



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN GEMUK BIO *FOODGRADE*
MENGUNAKAN *THICKENER* SABUN ALUMINIUM
KOMPLEKS**

SKRIPSI

**MONICA ANDRIANA
0405060458**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2009**

Universitas Indonesia



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN GEMUK BIO *FOODGRADE*
MENGUNAKAN *THICKENER* SABUN ALUMINIUM
KOMPLEKS**

SKRIPSI

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

**MONICA ANDRIANA
0405060458**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Monica Andriana
NPM : 0405060458
Tanda Tangan :
Tanggal : 6 Juli 2009**

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Monica Andriana
NPM : 0405060458
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pembuatan Gemuk Bio *Foodgrade* Menggunakan
Thickener Sabun Aluminium Kompleks

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sukirno, M.Eng ()
Penguji : Dr. Ir. Slamet, MT ()
Penguji : Ir. Setiadi, M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Baik, karena atas segala berkat dan penyertaan-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini tidak akan bisa terselesaikan tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih, kepada :

1. Ir. Sukirno, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan dan diskusi serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
2. Orang tua dan keluarga di rumah yang senantiasa selalu mendoakan dan memberikan dukungan, baik moril maupun materil.
3. Teman sepenelitian, Wulan yang selalu setia menemani dan membantu dalam pelaksanaan penelitian.
4. Mang Izal yang telah banyak membantu ketika peralatan yang digunakan bermasalah.
5. Teman-teman di GP'05, khususnya Isti, Letti, Venes, Dwi, Cindy, Rano dan Teguh atas bantuan dan hiburannya.
6. Teman-teman dari dansa UI, khususnya Kiat, Ade, Steve yang telah memberikan dukungan serta menjadi tempat berkeluh kesah.
7. Kang Jajat dan Mas Eko yang banyak memberikan bantuan serta informasi mengenai bahan kimia dan peralatan yang akan digunakan.
8. Pihak-pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Depok, Juli 2009

Monica Andriana

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

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

Nama : Monica Andriana
NPM : 0405060458
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 *Foodgrade* Menggunakan *Thickener* Sabun Aluminium Kompleks “

beserta semua 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 tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Di buat di : Depok
Pada Tanggal : 6 Juli 2009
Yang menyatakan

(Monica Andriana)

ABSTRAK

Nama : Monica Andriana
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pembuatan Gemuk Bio Foodgrade Menggunakan *Thickener* Sabun Aluminium Kompleks

Pada penelitian ini dibuat gemuk bio NLGI 2 *food grade* menggunakan *base oil* Epoksida RBDPO (*Refined Bleached Deodorized Palm Oil*) dan pengental sabun aluminium kompleks (Al-stearat dan Al-benzoat) yang komposisinya divariasikan. Gemuk dibuat dengan metode “saponifikasi dua tahap” pada reaktor *batch* tertutup, dilanjutkan pendinginan, kemudian dihomogenisasi. Gemuk yang terbentuk diuji nilai konsistensi, *dropping point* serta ketahanan aus dengan *four ball test*. Gemuk bio aluminium kompleks terbaik yang dihasilkan memiliki *dropping point* 218⁰C, diperoleh pada jumlah Al-Stearat 20%wt serta persen mol asam benzoat/ asam stearat 0.5%. Gemuk ini memiliki *tackiness* yang baik sehingga pada *four ball test*, jumlah keausannya sangat kecil.

Kata Kunci : Gemuk Bio Aluminium Kompleks, *Food grade*, Sabun Kompleks

ABSTRACT

Name : Monica Andriana
Study Program: Chemical Engineering
Title : Synthesis of Bio Foodgrade Grease Using Aluminium Complex Soap as the Thickening Agent

The focus in this study is synthesis of bio food grade grease with NLGI 2 using Epoxies of RBDPO (Refined Bleached Deodorized Palm Oil) as the base oil and aluminium complex soap (Al-stearic and Al-benzoic) as the thickener in the various compositions. Grease is made using “two stages saponification” in the closed batch reactor, continue with cooling and homogenization. The consistence, dropping point and anti wear of grease produced is tested. The best quality grease produced has dropping point 218⁰C, obtained at 20%wt Al-stearic composition and 0.5% mol benzoic acid/ stearic acid. This grease has good tackiness properties showed from the very small wear value in the four ball test.

Key Words: Bio Aluminium Complex Grease, Food grade, Complex Soap

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pelumas Gemuk.....	6
2.1.1 Fungsi Pelumas Gemuk.....	6
2.1.2 Parameter Mutu Pelumas Gemuk.....	7
2.1.2.1 Konsistensi	8
2.1.2.2 <i>Dropping Point</i>	9
2.1.2.3 Ketahanan Aus.....	10
2.1.2.4 <i>Bleeding</i>	11
2.1.2.5 Ketahanan terhadap Air.....	11
2.1.2.6 Kelengketan (<i>Tackiness</i>)	11
2.1.3 Bahan Dasar Pelumas Gemuk.....	12
2.1.3.1 Minyak Dasar (<i>Base Oil</i>).....	13
2.1.3.2 Bahan Pengental (<i>Thickening Agent</i>).....	17
2.1.3.3 Aditif	19
2.1.4 Jenis-jenis Pelumas Gemuk	19
2.2 Gemuk <i>Foodgrade</i>	21
2.3 Pelumas Gemuk Aluminium (<i>Aluminium Grease</i>).....	24
2.3.1 Senyawa Aluminium	25
2.3.1.1 Aluminium hidroksida	25
2.3.1.2 Aluminium alkoholat	25
2.3.2 Asam Lemak	26
2.4 Pelumas Gemuk Aluminium Kompleks (<i>Aluminium Complex Grease</i>)	28
2.4.1 Sabun Aluminium Kompleks.....	28
2.4.2 Pembuatan Gemuk Aluminium Kompleks.....	29
2.4.3 Karakteristik Gemuk Aluminium Kompleks.....	32
2.4.4 Aplikasi Gemuk Aluminium Kompleks.....	35
2.4.5 Penelitian Mengenai Gemuk Aluminium Kompleks	36
2.4.5.1 United State Patent 2,768,138	36
2.4.5.2 United State Patent 3,591,501	37

2.4.5.3	United State Patent 4,132,658	37
3.	METODOLOGI PENELITIAN	40
3.1	Variabel Bebas dan Terikat	40
3.2	Alat dan Bahan	41
3.2.1	Bahan.....	41
3.2.2	Peralatan	41
3.3	Prosedur Penelitian	41
3.3.1	Penentuan Kondisi Operasi dan Komposisi	41
3.3.2	Sintesa Produk.....	42
3.3.3	Pengujian Kualitas Pelumas Gemuk	44
3.3.2.1	<i>Penetration</i> (ASTM D-21)	44
3.3.2.2	<i>Dropping Point</i> (ASTM D-566)	45
3.3.2.3	<i>Four Ball Test</i> (ASTM D-4172)	45
3.3.4	Analisis Kualitas Produk	46
3.4	Pelaksanaan Penelitian	46
3.5	Alat Penelitian	46
3.6	Skema Alat Penelitian.....	46
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1	Tampilan Fisik Gemuk Bio Aluminium Kompleks.....	47
4.2	Hasil Pengujian Konsistensi Gemuk Bio Aluminium Kompleks.....	50
4.2.1	Pengaruh Jumlah Sabun Kompleks (Al-Stearat dan Al-Benzoat) Terhadap Konsistensi Gemuk Bio Aluminium Kompleks	50
4.2.2	Pengaruh Jumlah Asam Benzoat Terhadap Konsistensi Gemuk Bio Aluminium Kompleks	52
4.3	Hasil Pengujian <i>Dropping Point</i> Gemuk Bio Aluminium Kompleks	53
4.3.1	Pengaruh Jumlah Sabun Kompleks (Al-Stearat dan Al-Benzoat) Terhadap <i>Dropping Point</i> Gemuk Bio Aluminium Kompleks	53
4.3.2	Pengaruh Jumlah Asam Benzoat Terhadap <i>Dropping Point</i> Gemuk Bio Aluminium Kompleks.....	55
4.4	Hasil Pengujian Ketahanan Aus Gemuk Bio Aluminium Kompleks.....	59
4.4.1	Pengaruh Jumlah Sabun Kompleks (Al-Stearat dan Al-Benzoat) Terhadap Ketahanan Aus Gemuk Bio Aluminium Kompleks	59
4.4.2	Pengaruh Jumlah Asam Benzoat Terhadap Ketahanan Aus Gemuk Bio Aluminium Kompleks.....	60
4.5	Parameter Proses yang Mempengaruhi Proses Sintesis Gemuk Bio Aluminium Kompleks <i>Food Grade</i>	62
4.5.1	Pengaruh Temperatur Terhadap Kualitas Gemuk Bio Aluminium Kompleks.....	62
4.5.2	Pengaruh Tekanan Terhadap Kualitas Gemuk Bio Aluminium Kompleks.....	63
5.	KESIMPULAN.....	65
	DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Pelumas Gemuk secara Umum	6
Tabel 2.2	Pemilihan Jenis Pelumas Berdasarkan Kondisi Operasi Mesin	7
Tabel 2.3	Klasifikasi Gemuk menurut NLGI	8
Tabel 2.4	<i>Dropping point</i> beberapa Pelumas Gemuk	9
Tabel 2.5	Karakteristik Minyak Sawit	16
Tabel 2.6	Kandungan Trigliserida dari Beberapa Minyak Nabati	16
Tabel 2.7	Pengaruh Struktur Asam Lemak terhadap Pelumas Gemuk	18
Tabel 2.8	Jenis Aditif Pada Gemuk.....	19
Tabel 2.9	Jenis-jenis Pelumas Gemuk.....	20
Tabel 2.10	Hasil Penelitian Marius dan Dizy	24
Tabel 2.11	Karakteristik Gemuk <i>Foodgrade</i> Komersil.....	24
Tabel 2.12	Efek Struktur Asam Lemak terhadap Karakteristik Gemuk	27
Tabel 2.13	Karakteristik Gemuk Aluminium Kompleks yang Baik	29
Tabel 2.14	Perbandingan Karakteristik Aluminium complex grease dengan pelumas lain.....	35
Tabel 2.15	Perbandingan Kualitas Gemuk Aluminium Komplek Metode 1 dan 2	37
Tabel 2.16	Perbandingan Kualitas Gemuk Aluminium Komplek pada Variasi Komposisi.....	38
Tabel 3.1	Komposisi Bahan yang Digunakan dalam Pembuatan Gemuk Aluminium Kompleks pada Variasi Bahan Pengental	42
Tabel 3.2	Komposisi Bahan yang Digunakan dalam Pembuatan Gemuk Aluminium Kompleks pada Variasi Bahan Pengompleks	42
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Penetrasi Pada Gemuk dengan Variasi Sabun Kompleks.....	51
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Penetrasi Pada Gemuk dengan Variasi Asam Benzoat.....	52
Tabel 4.3	Nilai <i>Dropping Point</i> Gemuk dengan Variasi Sabun Kompleks.....	54
Tabel 4.4	Nilai <i>Dropping Point</i> Gemuk dengan Variasi Asam Benzoat.....	55
Tabel 4.5	Perbandingan Struktur Sabun Aluminium Kompleks dan Tanpa Kompleks.....	59
Tabel 4.6	Kondisi Operasi Proses Pembuatan Gemuk Bio Aluminium Kompleks	60
Tabel 4.7	Hasil Pengujian <i>Four Ball</i> Pada Gemuk dengan Variasi Sabun Kompleks....	60
Tabel 4.8	Hasil Pengujian <i>Four Ball</i> Pada Gemuk dengan Variasi Asam Benzoat.....	61
Tabel 4.9	Efek Temperatur Terhadap Struktur Gemuk.....	62
Tabel 4.10	Efek Tekanan Terhadap Struktur Gemuk.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Alat Uji Penetrometer.....	8
Gambar 2.2	Alat Uji <i>Dropping Point</i>	10
Gambar 2.3	Alat Uji <i>Four Ball Test</i>	10
Gambar 2.4	Peralatan Uji <i>Water Wash Out</i>	11
Gambar 2.5	Struktur Mikro Pelumas Gemuk pada Konsentrasi Sabun (a) 8% wt, (b) 14% wt, (c) 20% wt pada 40 °C	13
Gambar 2.6	Reaksi Saponifikasi	17
Gambar 2.7	Contoh Alat Pembuatan Mie.....	21
Gambar 2.8	Struktur Molekul Aluminium Hidroksida	25
Gambar 2.9	Struktur Aluminium isopropoksida.....	26
Gambar 2.10	StrukturAsam Stearat	26
Gambar 2.11	Reaksi Saponifikasi Aluminium isopropoksida dengan Asam stearat.....	27
Gambar 2.12	Struktur Molekul Asam Benzoat.....	30
Gambar 2.13	Reaksi Asam Benzoat dengan Aluminium Monostearat.....	31
Gambar 2.14	Produksi Pelumas Gemuk dari Tahun 1967 hingga 2005 di Amerika Utara	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	40
Gambar 3.2	Diagram Alir Sintesa Produk Gemuk Aluminium	43
Gambar 3.3	Diagram Kalibrasi <i>Penetrometer</i>	44
Gambar 3.4	Alat Penelitian.....	46
Gambar 3.5	Skema Alat Penelitian	46
Gambar 4.1	Tampilan Fisik Gemuk Bio Aluminium Kompleks	48
Gambar 4.2	Pengaruh Jumlah Al-Stearat terhadap Sifat Penetrasi Gemuk	51
Gambar 4.3	Pengaruh Jumlah Asam Benzoat terhadap Sifat Penetrasi Gemuk.....	52
Gambar 4.4	Pengaruh Jumlah Al-Stearat terhadap Nilai <i>Dropping Point</i>	54
Gambar 4.5	Pengaruh Jumlah Asam Benzoat terhadap <i>Dropping Point</i> Gemuk.....	55
Gambar 4.6	Ilustrasi Struktur Matriks Gemuk Bio Aluminium Tanpa Kompleks.....	57
Gambar 4.7	Ilustrasi Struktur Matriks Gemuk Bio Aluminium Kompleks	57
Gambar 4.8	Pengaruh Jumlah Al-Stearat terhadap Jumlah Keausan.....	60
Gambar 4.9	Pengaruh Jumlah Asam Benzoat terhadap Jumlah Keausan	61
Gambar 4.10	Ilustrasi Gerakan Atom pada Ikatan Kimia Aluminium Stearat.....	63



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gemuk merupakan bagian yang penting dalam mempertahankan kinerja dan umur mesin atau komponen bergerak, khususnya pada *gear* dan *bearing* yang tidak dapat dilumasi oleh pelumas cair dengan memberikan lapisan pada permukaan yang bergerak sehingga tidak mengalami gesekan secara langsung dan mencegah keausan. Gemuk yang diproduksi saat ini terbuat dari minyak mineral yang berasal dari minyak bumi, sementara minyak mineral merupakan bahan yang tidak mudah terdegradasi dan berbahaya bagi kesehatan. Pada Industri makanan dan obat-obatan, kesehatan dan kebersihan merupakan aspek yang penting, sehingga gemuk yang digunakan haruslah gemuk yang bersifat *foodgrade*. Sementara gemuk *foodgrade* yang dipakai di Indonesia kebanyakan diimpor dari luar negeri dengan harga yang tinggi. Sehingga seiring dengan kelangkaan minyak bumi saat ini, diperlukan suatu penelitian untuk membuat gemuk *foodgrade* dengan bahan lokal yang ketersediaannya besar, ramah lingkungan serta aman bagi kesehatan.

Gemuk adalah pelumas semipadat yang diperoleh dari hasil kombinasi bahan pengental (*thickening agent*) dan minyak dasar (*base oil*) (Caines, 1996). Mutu gemuk dapat diketahui dari beberapa parameter yaitu *dropping point*, konsistensi, dan ketahanan aus. *Dropping point* adalah temperatur kritis ketika struktur gemuk berubah fasa menjadi cair sedangkan konsistensi adalah ketahanan terhadap deformasi gaya dari luar. Ketahanan aus adalah kemampuan gemuk untuk memberikan perlindungan dari keausan. Gemuk yang berkualitas baik adalah gemuk yang memiliki nilai *dropping point* yang tinggi ($>500^{\circ}\text{F}$ untuk gemuk kompleks), ketahanan terhadap oksidasi yang baik, tingkat *water wash out*, *oil separation*, dan keausan yang rendah serta daya lengket yang baik pada permukaan logam.

Gemuk umumnya dibuat menggunakan minyak mineral dari minyak bumi. Tetapi penggunaan minyak mineral ini dalam pembuatan gemuk membahayakan konsumen terutama dalam produk makanan dan obat-obatan karena mengandung senyawa sulfur dan aromatik yang berbahaya. Selain itu ketersediaan minyak bumi sebagai bahan pembuatan minyak mineral semakin berkurang. Minyak mineral



juga memiliki sifat *degradibility* yang rendah sehingga menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, penelitian mengenai gemuk bio dan gemuk *foodgrade* semakin banyak dikembangkan.

Gemuk bio merupakan gemuk yang dibuat dengan menggunakan minyak nabati sebagai minyak dasar dan memiliki sifat yang mudah terdegradasi secara alami (*biodegradable*) oleh lingkungan sehingga tidak menimbulkan masalah pencemaran lingkungan serta mempunyai sifat *edible* (aman dikonsumsi) dan dapat digunakan sebagai gemuk *foodgrade*.

Gemuk *foodgrade* merupakan gemuk yang digunakan pada industri makanan dan obat-obatan yang harus memenuhi tuntutan yang besar dalam aspek kesehatan dan kebersihan. Pada industri makanan dan obat-obatan, kontak yang tidak sengaja dapat terjadi dengan produk, sehingga gemuk yang digunakan harus bersifat *edible*, tidak mengandung senyawa yang berbahaya atau beracun seperti sulfur dan aromatik.

Saat ini gemuk *foodgrade* telah dikembangkan dengan menggunakan minyak dasar *white oil* atau minyak sintetis, tetapi harga jual gemuk ini masih sangat mahal karena proses pengolahan minyak dasar yang sulit dan kompleks. Sementara kebutuhan gemuk *foodgrade* di Indonesia besar.

Pada tahun 2004, Atanu Adhvaryu dkk membuat gemuk bio menggunakan minyak kedelai dan sabun litium sebagai pengental dan memvariasikan rasio logam dengan asam lemak serta rasio sabun dengan minyak dasar. Gemuk yang diperoleh memiliki nomor NLGI 2, *dropping point* sekitar 170.11°C dengan rasio logam dan asam lemak, 1: 0.75 serta rasio sabun dan minyak dasar, 1: 3 (Atanu, 2004).

Komoditas pertanian Indonesia sangat besar, terutama perkebunan kelapa sawit dengan pertumbuhan produksi dan ekspor pada tahun 2006-2007 mencapai 15.9 MMT dan 11.6 MMT (73%) sehingga potensi pengembangan gemuk *foodgrade* dari bahan dasar minyak sawit di Indonesia sangat baik.

Penelitian mengenai pembuatan gemuk bio *foodgrade* dengan menggunakan minyak kelapa sawit yang telah dimodifikasi, yaitu pelumas bio EFAMEGLI telah dilakukan di Departemen teknik kimia Universitas Indonesia oleh Marius dan Dizy. Penelitian yang dilakukan oleh Marius menggunakan pengental sabun kalsium dan pembuatan gemuk bio dilakukan pada reaktor terbuka. Gemuk yang dihasilkan memiliki warna kehitaman karena teroksidasi, nomor NLGI 2 dan *dropping point*



109⁰C serta kelengketan yang rendah. *Dropping point* yang dihasilkan dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan gemuk *foodgrade* yang umum digunakan. Gemuk *foodgrade* yang umumnya digunakan pada industri makanan dan obat-obatan merupakan jenis gemuk dengan nomor NLGI 2, memiliki nilai *dropping point* 475-500⁰F, nilai *water wash out* dan *oil separation* < 5% serta diameter goresan < 0.6 mm.

Dari studi literatur diketahui bahwa gemuk Aluminium kompleks memiliki gaya adhesi yang baik sehingga dapat berikatan lebih kuat dengan permukaan logam sehingga memberikan fungsi pelumasan yang baik. Selain itu, pelumas aluminium kompleks juga memiliki *dropping point* yang tinggi, sekitar 200-260⁰C.

Penelitian sehubungan dengan pembuatan pelumas gemuk Aluminium kompleks telah dilakukan oleh Coleman dkk. Coleman dkk membuat gemuk dengan minyak dasar berupa minyak mineral dan bahan pengental berupa sabun aluminium kompleks. Sabun aluminium kompleks dibuat dengan menggunakan bahan pembental (sabun) berupa asam stearat dan agen pengompleks berupa asam benzoic. Gemuk aluminium kompleks yang dihasilkan memiliki nomor NLGI 1 pada komposisi bahan pengental sebesar 6.3%, daya tahan terhadap keausan baik dengan diameter goresan bola ketika dilakukan pengujian keausan hanya 0.4 mm dan *dropping point* tinggi berkisar 232.22-260⁰F untuk rasio mol benzoic azid/stearic acid/aluminium sebesar 1/1/1.2.

Houlton dkk melakukan penelitian lain untuk membuat *Aluminium grease* pada reaktor kontinu dengan menggunakan minyak mineral sebagai minyak dasar dan *stearic acid* sebagai asam lemak pembuat sabun. Gemuk yang dihasilkan memiliki nomor NLGI 2, bersifat stabil dengan persen *bleeding* minyak mineral sekitar 3-4%.

Beberapa produk pelumas gemuk aluminium kompleks juga telah dipatenkan misalnya FMGTM dan SafeTM, produk pelumas gemuk Aluminium kompleks di Kanada yang telah disetujui oleh USDA, asosiasi obat dan makanan sebagai gemuk *food grade* yang *biodegradable* dengan performa yang baik dan dapat diaplikasikan pada kondisi tekanan serta temperatur tinggi.

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibuat gemuk bio *foodgrade* dengan nomor NLGI 2 menggunakan pengental berupa sabun Aluminium kompleks serta



minyak dasar Epoksida minyak kelapa sawit. Komposisi bahan pengompleks akan divariasikan dengan rasio asam stearat dan *fatty acid* yang tetap kemudian akan dilakukan pengujian nilai konsistensinya, uji *dropping point*, dan *four ball test* untuk mengetahui kualitas gemuk bio yang dihasilkan.

Gemuk bio Aluminium yang akan dibuat pada penelitian ini diharapkan akan memiliki kualitas yang baik dalam memberikan efektifitas pelumasan (nilai ketahanan ausnya tinggi) karena daya kelengketan gemuk aluminium baik, dengan *dropping point* yang tinggi hingga 260⁰C serta dapat diaplikasikan pada industri makanan dan obat-obatan karena bersifat *biodegradable* dan *edible* (tidak beracun).

1.2 Rumusan Masalah

Secara garis besar, rumusan permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini yaitu bagaimana membuat gemuk Bio Foodgrade dengan memanfaatkan bahan lokal, yaitu minyak kelapa sawit serta sabun aluminium kompleks sebagai bahan pengentalnya untuk menghasilkan gemuk NLGI 2 yang memiliki daya kelengketan lebih baik serta nilai *dropping point* yang tinggi.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan gemuk bio *food grade* Aluminium kompleks dengan menggunakan minyak dasar Epoksida RBDPO (*Refined Bleached Deodorized Palm Oil*) dan bahan pengental sabun aluminium kompleks.
2. Mengetahui pengaruh komposisi sabun Aluminium kompleks sebagai bahan pengental terhadap kualitas gemuk Aluminium.
3. Mengetahui pengaruh komposisi bahan pengompleks terhadap kualitas gemuk Aluminium.
4. Mengetahui parameter proses yang mempengaruhi pembuatan gemuk bio *food grade* Aluminium kompleks.



1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian kualitas *foodgrade*. Kriteria gemuk *foodgrade* pada penelitian ini didasarkan pada sifat bahan penyusunnya yang *edible* dan tidak berbahaya bagi kesehatan.
2. Pelumas gemuk yang akan dibuat merupakan jenis pelumas gemuk dengan nomor NLGI 2 (pelumas gemuk umum).
3. *Base oil* yang digunakan dalam pembuatan gemuk adalah Epoksida RBDPO (*Refined Bleached Deodorized Palm Oil*).
4. Analisis *biodegradability* tidak dilakukan. Kriteria gemuk bio didasarkan dari bahan penyusun *base oil* yang berasal dari minyak nabati.
5. Karakterisasi kualitas gemuk yang dihasilkan dilakukan dengan uji penetrasi, *dropping point*, dan *four ball test*.

1.5 Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan penjelasan dari hasil studi pustaka mengenai teori-teori dasar pelumas, gemuk, sabun Aluminium kompleks, mekanisme pembuatan gemuk serta parameter pengujian kualitas gemuk.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menampilkan gambaran umum mengenai langkah-langkah dan prosedur penelitian yang dilakukan dalam proses pembuatan gemuk, bahan dan alat yang digunakan serta prosedur pengujian kualitas gemuk yang dihasilkan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil-hasil yang diperoleh selama penelitian serta pembahasan atas data-data dan hasil yang diperoleh.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dari permasalahan yang telah dirumuskan.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelumas Gemuk

Pada prinsipnya pelumas gemuk merupakan suatu dispersi koloidal dari *thickener* atau bahan pengental dalam minyak pelumas yang dibentuk melalui pemanasan dua komponen tersebut secara bersamaan hingga *thickener* mengembang dan mengabsorb minyak (Sharma dkk, 2005) seperti sponge.

Secara umum pelumas gemuk tersusun dari minyak dasar (*base oil*), bahan pengental (*thickening agent*) dan aditif. Minyak dasar (*base oil*) merupakan komponen utama dalam pelumas gemuk yang berperan untuk memberikan fungsi pelumasan pada gemuk. Komponen utama lain dalam pelumas gemuk yaitu bahan pengental (*thickening agent*). Bahan ini berperan untuk memberikan sifat konsistensi dan membangun struktur gel. Selain itu, juga berfungsi untuk memerangkap minyak (*base oil*) sehingga mengurangi minyak (*base oil*) yang hilang pada kondisi operasi tertentu (Gangule dkk, 2006). Perbandingan komposisi ketiga komponen penyusun pelumas gemuk umumnya yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.1 Komposisi Pelumas Gemuk secara Umum

Komponen	% Berat
Bahan dasar (<i>base oil</i>)	75-95
Bahan pengental (<i>thickening agent</i>)	5-20
Aditif	0-15

(Sumber : Adhvaryu, 2004)

2.1.1 Fungsi Pelumas Gemuk

Pelumas gemuk memiliki fungsi utama yang sama dengan pelumas pada umumnya yaitu berfungsi untuk mengurangi gesekan dan keausan antara dua bidang atau permukaan yang saling bersinggungan atau bergesekan. Selain itu, pelumas gemuk dapat berfungsi pula untuk :

1. Mencegah masuknya debu dan kotoran lain ke dalam komponen mesin karena memiliki struktur yang semi padat sehingga dapat menghalangi masuknya debu dan kotoran.
2. Mencegah terjadinya korosi akibat debu dan kotoran yang masuk.
3. Mengurangi kebisingan mekanis
4. Mengurangi proses *re-lubrication*. Gemuk memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelumas cair sehingga tidak mudah menguap pada kondisi



temperatur tinggi. Selain itu, gemuk juga tidak mudah terlepas atau hilang dari permukaan logam karena memiliki gaya adhesi yang lebih baik daripada pelumas cair.

Meskipun memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan pelumas cair, pelumas gemuk memiliki beberapa kekurangan yang terkait dengan kemampuan mengalir dan ketidakstabilan struktur gelnya antara lain :

1. Kemampuan transfer panas yang rendah sehingga tidak dapat berfungsi untuk mendinginkan komponen mesin.
2. Aplikasi pelumas gemuk terbatas pada kecepatan rendah karena pelumas gemuk memiliki viskositas yang lebih tinggi sehingga akan memberikan tahanan (friksi) yang lebih besar pada kecepatan tinggi.
3. Kestabilan pelumas gemuk kurang baik jika dibandingkan dengan pelumas cair.
4. Pelumas gemuk lebih mudah teroksidasi dibandingkan pelumas cair.
5. Pelumas gemuk lebih sulit dibersihkan dibandingkan dengan pelumas cair (Lansdown,1982).

Adanya keunggulan dan kekurangan pelumas gemuk dan pelumas cair, menyebabkan pengaplikasian yang berbeda antara kedua jenis pelumas tersebut. Berikut merupakan tabel yang menggambarkan perbedaan aplikasi pelumas cair dan pelumas gemuk :

Tabel 2.2 Pemilihan Jenis Pelumas Berdasarkan Kondisi Operasi Mesin

Kondisi Operasi	Jenis Pelumas yang dipilih	Catatan
Kecepatan tinggi	Pelumas cair	Gemuk memberikan tahanan yang tinggi sehingga temperatur akan meningkat
Kecepatan rendah	Pelumas gemuk	Gemuk memberikan <i>boundary lubrication</i> sedangkan pelumas cair tidak dapat
Beban tinggi	Pelumas Gemuk	Viskositas gemuk lebih tinggi sehingga memberikan lapisan film yang lebih tebal dalam mengatasi tekanan tinggi
Posisi vertikal	Pelumas gemuk	Gemuk tidak mengalir sehingga tidak tumpah
Lingkungan berdebu	Pelumas Gemuk	Gemuk dapat berfungsi sebagai penyekat

(Sumber : Stachowiak, 2005)

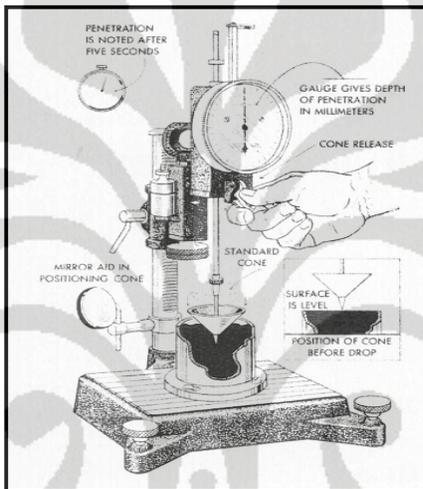
2.1.2 Parameter Mutu Pelumas Gemuk

Kualitas gemuk yang dihasilkan dapat dianalisis dengan mengetahui sifat-sifat dari pelumas gemuk yang baik (Herguth,2002).

2.1.2.1 Konsistensi

Konsistensi merupakan suatu keadaan yang menyatakan kekerasan atau kelunakan suatu pelumas gemuk. Suatu pelumas gemuk dapat bersifat sangat lunak atau bahkan keras.

Nilai konsistensi dapat diukur dengan uji Penetrasi (sesuai dengan uji ASTM D-217). Uji penetrasi ini dilakukan dengan membiarkan kerucut logam standar pada kondisi standar masuk ke dalam (penetrasi) struktur pelumas gemuk (Rush, 1997). Berikut merupakan contoh penetrometer yang digunakan :



Gambar 2.1 Alat Uji Penetrometer

(Sumber : Rush, 1997)

Kedalaman logam kerucut yang dapat masuk ke dalam struktur pelumas gemuk dicocokkan dengan tabel klasifikasi standar NLGI (*National Lubricating Grease Institute*). Dari tabel tersebut dapat diketahui tingkat kekerasan atau kelunakan gemuk. Berikut merupakan tabel klasifikasi tingkat kekerasan atau kelunakan gemuk menurut NLGI :

Tabel 2.3 Klasifikasi Gemuk Menurut NLGI

NLGI Number	Worked Penetration pada 25 ^o C (0,1 mm)	Keterangan
000	445 – 475	Semi fluida
00	400 – 430	Semi fluida
0	355 – 385	Sangat lunak
1	310 – 340	Lunak
2	265 – 295	Gemuk umum
3	220 – 250	Semi keras
4	175 – 205	Keras
5	130 – 160	Sangat keras
6	85 – 115	Padat

(Sumber : Lansdown, 1982)



Gemuk dengan angka penetrasi yang berbeda ini, memiliki aplikasi yang berbeda pula. Gemuk yang umum digunakan pada industri atau “Gemuk Multiguna” dengan aplikasi yang luas umumnya merupakan gemuk dengan nomor NLGI 2. Berikut merupakan beberapa contoh aplikasi gemuk :

- Kecepatan tinggi : Gemuk dengan NLGI 3 atau 4
- Ukuran *bearing* besar : Gemuk dengan NLGI 3 atau 4
- Beban sangat besar : Gemuk dengan NLGI 5 atau 6
- Temperatur sangat dingin : Gemuk dengan NLGI 000, 00 atau 1
- Industri makanan : Gemuk dengan NLGI 2 atau 3 (Lansdown, 1982)

Uji penetrasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

➤ *Unworked Penetration*

Yaitu uji penetrasi yang dilakukan dengan membiarkan penetrometer masuk ke dalam struktur gemuk tanpa adanya usaha.

➤ *Worked Penetration*

Yaitu uji penetrasi yang dilakukan dengan membiarkan penetrometer masuk ke dalam struktur gemuk setelah gemuk diberikan usaha terlebih dahulu yaitu dikocok atau ditekan.

2.1.2.2 Dropping Point

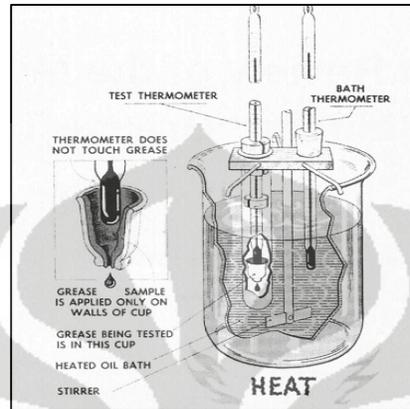
Dropping point merupakan temperatur kritis di mana struktur gel pada gemuk mulai mengalami perubahan fasa menjadi cair. Nilai *dropping point* menggambarkan temperatur kerja tertinggi dari pelumas gemuk tersebut. Semakin tinggi nilai *dropping point* suatu pelumas gemuk, maka semakin baik kualitasnya dan dapat diaplikasikan secara luas pada kondisi temperatur operasi yang tinggi. Berikut merupakan beberapa contoh nilai *dropping point* untuk beberapa jenis gemuk :

Tabel 2.4 *Dropping point* Beberapa Pelumas Gemuk

<i>Thickener</i>	<i>Dropping point</i> (⁰ C)
Sabun Sodium	150 – 200
Sabun Kalsium	60 – 100
Sabun Lithium	170 – 250
Sabun Aluminium kompleks	200 – 260
Bentonite clay (Organo-clay)	180 – 250

(Sumber : Lansdown, 1982)

Dropping point dapat diukur dengan menggunakan metode ASTM D-566 (Rush, 1997). Berikut merupakan contoh peralatan yang digunakan untuk menguji *dropping point* :



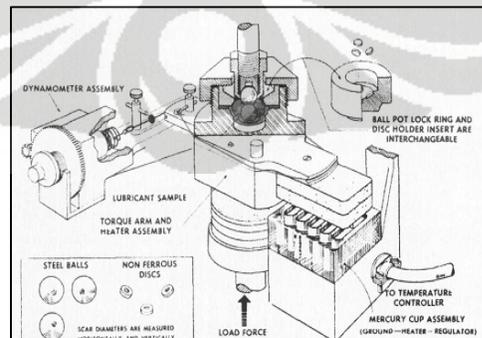
Gambar 2.2 Alat Uji *Dropping Point*

(Sumber : Rush, 1997)

2.1.2.3 Ketahanan Aus

Pelumas gemuk yang baik harus dapat memberikan perlindungan dari friksi dengan baik, meskipun pada tekanan yang tinggi. Untuk mengetahui performa pelumas gemuk dalam menahan friksi pada tekanan tinggi perlu dilakukan pengujian yaitu uji keausan.

Metode uji keausan dapat dilakukan dengan metode *Four Ball Test* sesuai dengan prosedur standar ASTM D-4172. Analisis dilakukan dengan membandingkan perubahan massa bola sebelum dan sesudah proses pengujian (Rush, 1997). Semakin kecil nilai koefisien friksinya maka akan semakin kecil pula keausan yang ditimbulkan. Peralatan yang digunakan untuk menguji ketahanan aus yaitu seperti berikut :



Gambar 2.3 Alat Uji *Four Ball Test*

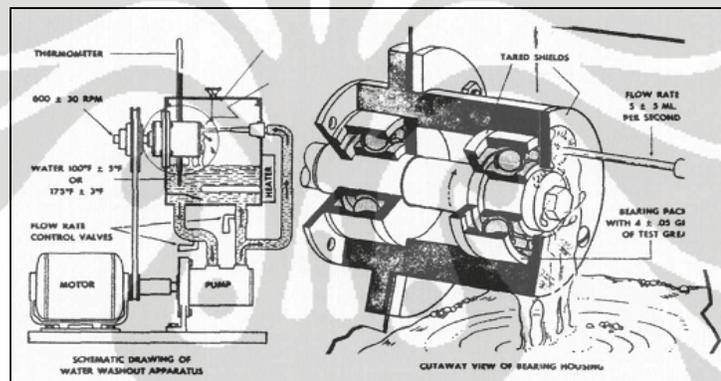
(Sumber : Rush, 1997)

2.1.2.4 Bleeding

Bleeding merupakan suatu kondisi ketika minyak pelumas terpisah dari *thickener*. Kondisi yang menyebabkan terjadinya *bleeding* yaitu kondisi temperatur tinggi atau terjadi karena masa penyimpanan yang lama. Pengujian dilakukan dengan memanaskan sampel pada oven, lalu didiamkan.

2.1.2.5 Ketahanan Terhadap Air (*Water Wash Out*)

Karakteristik ini merupakan kemampuan gemuk untuk bertahan terhadap efek keberadaan air tanpa mengalami perubahan kemampuan dalam pelumasan. Jika komponen gemuk dapat larut atau berinteraksi dengan air, maka akan terjadi perubahan struktur gemuk (konsistensi gemuk) yang menyebabkan penurunan fungsi pelumasan. Parameter ini dapat diuji dengan menggunakan metode ASTM D-1264 dengan contoh peralatan uji yaitu :



Gambar 2.4 Peralatan Uji *Water Wash Out*

(Sumber : Rush, 1997)

2.1.2.6 Kelengketan (*Tackiness*)

Pelumas gemuk harus bersifat kohesif artinya saling melekat satu sama lain, serta adhesif artinya melekat pada permukaan logam. Sifat kelekatan ini, terutama sifat adhesifnya mempengaruhi keefektifan pelumasan yang dilakukan. Jika sifat adhesif ini kurang baik, maka pelumas gemuk akan mudah meninggalkan permukaan logam. Akibatnya, permukaan logam tersebut menjadi tidak terlindungi. Dengan kata lain fungsi pelumasan yang diberikan kurang efektif.

Akan tetapi, sifat kohesif dan adhesif yang terlalu berlebihan juga tidak diharapkan karena akan memberikan tahanan yang besar bagi pelumas gemuk untuk



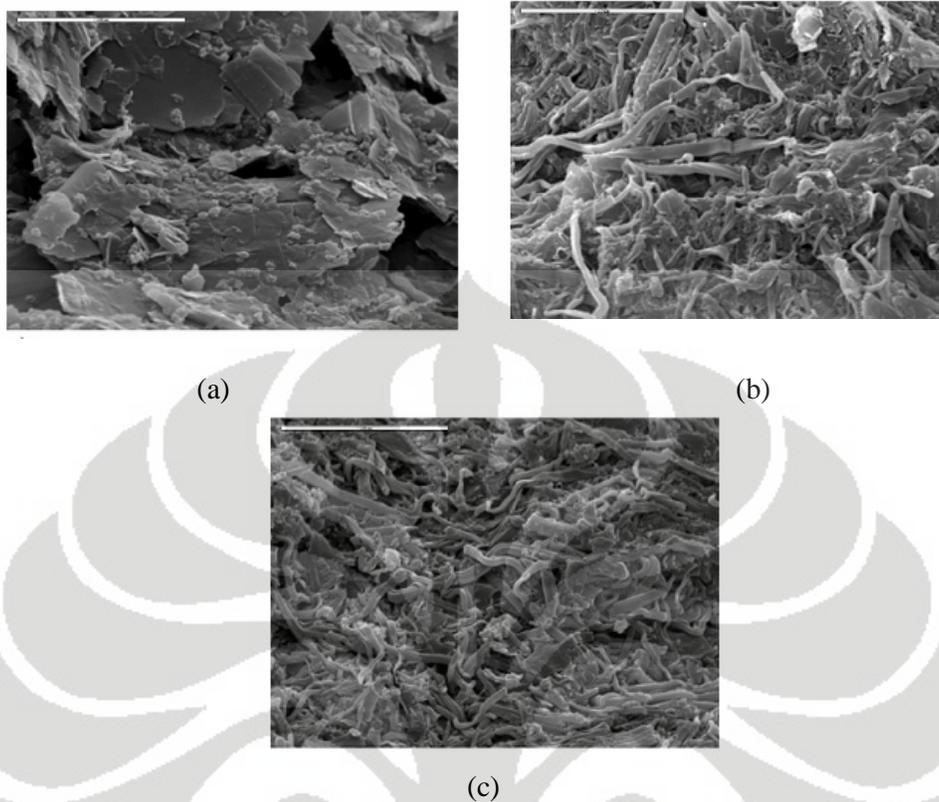
mengalir. Sifat kelengketan ini sangat dipengaruhi oleh tekstur dari pelumas gemuk. Tekstur ini bervariasi dan dapat diketahui dengan mengamati sejumlah kecil sampel gemuk yang ditekan dengan menggunakan ibu jari dan jari kelingking (Tambun, 2006). Dari perbedaan karakteristik gemuk tersebut ketika ditekan, tekstur gemuk dapat dibedakan menjadi :

- *Brittle*, yaitu tekstur ketika gemuk pecah atau hancur ketika ditekan.
- *Buttery*, yaitu tekstur ketika gemuk terpisah tanpa kelihatan seratnya.
- *Long fiber*, yaitu tekstur ketika gemuk terulur atau tertarik menjadi satu kumpulan serat
- *Resilient*, yaitu gemuk yang tidak mengalami deformasi permanen dengan kompresi pada tekanan menengah.
- *Short fiber*, yaitu gemuk yang terpisah dengan kelihatan seratnya.
- *Stringy*, yaitu gemuk yang tertarik menjadi suatu benang yang panjang tanpa kelihatan seratnya.

2.1.3 Bahan Dasar Pelumas Gemuk

Bahan dasar pelumas gemuk terdiri atas minyak dasar atau minyak pelumas (*base oil*), bahan pengental (*thickening agent*) dan aditif. Berdasarkan hasil penelitian, struktur dan karakteristik pelumas gemuk tergantung dari sifat alamiah komponen penyusun serta struktur mikro yang terbentuk dalam proses pembuatannya seperti tipe, ukuran dan distribusi serat sabun (Delgado, 2006).

Struktur mikro yang meliputi ukuran dan bentuk partikel fasa terdispersi dalam minyak pelumas sangat dipengaruhi oleh konsentrasi sabun yang dihasilkan. Semakin meningkat konsentrasi sabun, maka struktur mikro akan semakin kuat. Hal ini dipengaruhi oleh kesetimbangan kelarutan fasa terdispersi (*thickener*) dalam minyak pelumas (*base oil*). Berikut merupakan beberapa contoh struktur mikro yang terbentuk pada konsentrasi sabun yang berbeda-beda.



Gambar 2.5 Struktur Mikro Pelumas Gemuk pada Konsentrasi Sabun (a) 8% wt, (b) 14% wt, (c) 20% wt pada 40 °C

(Sumber : Delgado, 2006)

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa pada konsentrasi sabun yang rendah, struktur mikro yang terbentuk berupa piringan yang lebar. Pada konsentrasi yang semakin tinggi, struktur mikro semakin berbentuk serat-serat. Semakin besar konsentrasi sabun yang digunakan juga menyebabkan peningkatan densitas pelumas gemuk yang dihasilkan.

2.1.3.1 Minyak Dasar (*Base Oil*)

Minyak dasar merupakan komponen yang sangat penting dalam pembentukan pelumas gemuk karena memberikan sifat pelumasan pada gemuk. Hal penting yang harus diperhatikan sehubungan dengan pemilihan minyak dasar adalah viskositasnya pada temperatur normal untuk operasi di industri secara umum.

a. Minyak Mineral

Minyak mineral secara umum dapat diartikan sebagai minyak yang diperoleh dari *petroleum* (lansdown, 1982). Minyak mineral sebagai minyak dasar dalam pembuatan pelumas gemuk dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu parafinik,



naftenik dan aromatik. Jenis minyak mineral yang lebih cocok digunakan sebagai bahan dasar pelumas adalah minyak mineral parafinik karena memiliki perubahan viskositas terhadap suhu yang relatif rendah dibandingkan dengan jenis lain (dapat dilihat nilai indeks viskositasnya). Selain itu, jenis ini memiliki kecenderungan untuk menguap yang lebih kecil serta tidak mudah teroksidasi.

Minyak mineral merupakan bahan dasar yang paling banyak digunakan sebagai minyak dasar dalam pembuatan pelumas gemuk saat ini. Hal ini disebabkan oleh karakteristik minyak mineral sendiri yang memiliki segala kemampuan dasar yang dibutuhkan dalam pelumasan. Kemampuan dasar dalam pelumasan antara lain :

- Merupakan penghantar panas yang baik
- Dapat mengurangi gesekan
- Dapat memberikan perlindungan dari korosi

Selain itu, minyak mineral juga memiliki banyak kelebihan di antaranya :

1. Jangkauan temperatur operasinya relatif luas
2. Sifat fisika dan kimianya mudah dikontrol.
3. Mudah bercampur dengan aditif.
4. Tidak membentuk emulsi dengan air, tidak merusak sekat dan saluran
5. Tidak beracun dan waktu pelumasan cepat (Marius,2007)

b. Minyak Sintetis (Lansdown,1982)

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

Pelumas dari minyak sintetis memiliki keunggulan dibandingkan dengan pelumas dari minyak mineral dan jenis lain. Hal ini dikarenakan pelumas sintetis merupakan pelumas buatan manusia yang dirancang sedemikian rupa sehingga struktur molekul dari campuran yang dibentuk dapat diatur untuk menghasilkan pelumas dengan sifat-sifat yang diinginkan. Dengan demikian, penggunaan pelumas dari minyak sintetis ini dapat meminimalkan biaya tambahan yang harus dikeluarkan apabila menggunakan pelumas dari minyak mineral untuk memperoleh sifat pelumasan yang diinginkan.

Selain itu, pelumas dari minyak sintetis memiliki kestabilan yang lebih baik terhadap temperatur tinggi dan memiliki karakteristik aliran yang menonjol pada



temperatur rendah. Minyak sintetis yang umum digunakan sebagai minyak pelumas yaitu: *Organic Esters, Phosphate esters, Silicones*, dan *Polyglycols*.

Meskipun pelumas dari minyak sintetis ini memiliki karakteristik yang baik, tetapi harga pelumas sintetis ini masih cukup mahal di pasaran.

c. Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan minyak yang dihasilkan dari tumbuh-tumbuhan berupa senyawa ester dari gliserin dan campuran dari berbagai jenis asam lemak, tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut organik (Tambun, 2006).

Minyak nabati memiliki beberapa kekurangan dibandingkan dengan minyak mineral dan minyak sintetis, yaitu struktur rantainya yang banyak mengandung ikatan tidak jenuh sehingga mudah teroksidasi dan membentuk asam lemak yang dapat menyebabkan korosi pada komponen mesin yang terbuat dari logam. Selain itu, minyak nabati sangat mudah membentuk emulsi dengan air sehingga sulit dalam hal pemisahannya.

Terlepas dari kelemahan-kelemahan tersebut jika dibandingkan dengan minyak mineral, minyak nabati memiliki beberapa keunggulan yaitu :

1. Mudah terdegradasi oleh lingkungan sehingga lebih ramah lingkungan.
2. Tidak beracun karena berasal dari bahan alam.
3. Aman, tidak mudah terbakar karena memiliki *flash point* yang sangat tinggi yaitu lebih dari 290⁰C.
4. Dapat diperbaharui (dapat diregenerasi).
5. Mengurangi emisi mesin karena sifat volatilitasnya yang rendah dan titik didihnya yang tinggi sehingga pelumas yang hilang dalam emisi buangan dan sebagai partikulat lebih sedikit (Tambun, 2006).

Salah satu sumber minyak nabati yang dimiliki oleh Indonesia adalah minyak yang berasal dari kelapa sawit. Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas yang pertumbuhannya paling pesat pada dua dekade terakhir. Pada awal tahun 2001-2006, luas areal kelapa sawit mengalami peningkatan dengan laju 3,97% per tahun dan laju pertumbuhan produksinya 7,25% per tahun dengan laju ekspor meningkat 13,05% per tahun (Gunstone, 2007). Peningkatan yang pesat menjadikan kelapa sawit menjadi komoditas utama dalam subsektor perkebunan Indonesia saat ini. Oleh



karena itu, pemanfaatan minyak kelapa sawit sebagai bahan pelumas merupakan suatu potensi yang baik.

- **Minyak Kelapa Sawit**

Kelapa sawit dapat menghasilkan dua macam minyak yang sangat berlainan sifatnya, yaitu :

1. Minyak sawit (CPO atau *Crude Palm Oil*), yaitu minyak yang berasal dari sabut kelapa sawit
2. Minyak inti sawit (CPKO atau *Crude Palm Kernel Oil*), 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. Selain itu, dari proses ekstraksi dapat dihasilkan minyak sawit sebesar 59% sedangkan minyak inti kelapa sawit lebih sedikit yaitu hanya sekitar 4%. Kandungan rantai karbon pada minyak sawit lebih panjang, yaitu 16-18, sedangkan minyak inti kelapa sawit sekitar 12-14 (Tambun, 2006). Karakteristik minyak kelapa sawit secara umum dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.5 Karakteristik Minyak Sawit

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

(Sumber : Tambun, 2006)

Kandungan trigliserida dalam minyak sawit, minyak inti kelapa sawit dan minyak lainnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.6 Kandungan Trigeliserida dari Beberapa Minyak Nabati

Asam Lemak	Rumus Molekul	Minyak Kelapa (%)	Minyak Inti Sawit (%)	Minyak Sawit (%)	Minyak Kedelai (%)	Minyak Kacang (%)
Kaprilat	$C_8H_{16}O_2$	8	2,5	-	-	-
Kaprat	$C_{10}H_{20}O_2$	7	7	-	-	-
Laurat	$C_{12}H_{24}O_2$	48	49,6	-	-	-
Misristat	$C_{14}H_{28}O_2$	17,5	14,1	1	-	95
Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	8,8	8,8	42,5	6,5	-
Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	2	1,3	4	4,2	-
Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	6	18,5	43	28	4
Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	2,5	0,7	9,5	52,6	-

(Sumber : Tambun, 2006)



Minyak kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan pelumas karena memiliki keunggulan-keunggulan sebagai berikut :

- Memiliki daya tahan yang tinggi terhadap oksidasi karena mengandung bahan antioksidan alami (tocopherol atau vitamin E).
- Lapisan film yang dibentuk sulit diputus sehingga sanggup mencegah gesekan langsung antara logam dengan logam.
- Mudah dibersihkan dan bersifat *biodegradable*
- Tidak mengganggu kesehatan manusia sebagai konsumen.
- CPO tersedia dalam jumlah yang melimpah di Indonesia (Tambun, 2006).

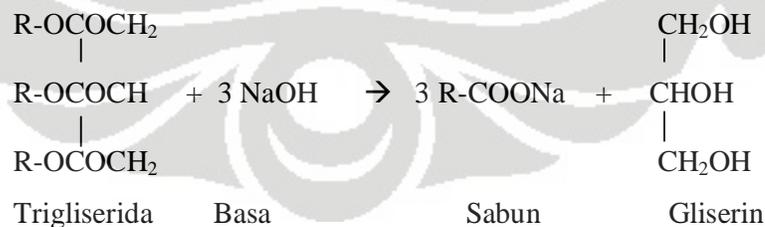
Meskipun kelapa sawit memiliki ketahanan oksidasi yang baik dibanding minyak nabati lain, tetapi ketahanan oksidasinya masih kurang sebagai bahan dasar pelumas dibandingkan dengan minyak mineral dan sintetis. Oleh sebab itu, minyak kelapa sawit ini dimodifikasi ikatan rangkapnya. Salah satu yang telah berhasil dilakukan yaitu dengan memodifikasi minyak kepala sawit menjadi EFAMEGLI (*Epoxidized Fatty Acid Methyl Ester Gliserol*) (Yunita Fenjery, 2006).

2.1.3.2 Bahan Pengental (*Thickening Agent*)

Beberapa bahan pengental yang digunakan dalam pembuatan gemuk dapat digolongkan ke dalam dua kelompok, yaitu sabun dan non-sabun.

a. Sabun

terdapat dua metode pembuatan sabun dari minyak alami (nabati dan hewani), yaitu metode saponifikasi dan netralisasi. Pada proses saponifikasi, reaktan yang digunakan yaitu minyak alami. Reaksi saponifikasi adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 Reaksi Saponifikasi

(Sumber : Tambun, 2006)

Sedangkan pada proses netralisasi, bahan baku yang digunakan berupa campuran asam lemak (Tambun, 2006).



Kualitas sabun yang terbentuk sangat tergantung dari karakteristik asam lemak dan logam hidroksida pembentuknya sehingga gemuk yang terbuat dari sabun yang sama belum tentu memiliki karakteristik yang sama. Selain karakteristik reaktan pembentuknya, variabel operasi seperti temperatur, tekanan dan kecepatan pengaduk juga mempengaruhi kualitas hasil. Beberapa pengaruh karakteristik asam lemak terhadap kualitas gemuk dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.7 Pengaruh Struktur Asam Lemak terhadap Pelumas Gemuk

Struktur Asam Lemak	Pengaruh terhadap Pelumas Gemuk
Rantai Panjang	Kekerasan bervariasi
Ikatan tak jenuh	<i>Dropping point</i> bervariasi
Ikatan bercabang	Bentuk struktur kristal tidak seragam
Terdapat ikatan polar	Interaksi molekul bervariasi

(Sumber : Adhvaryu, 2004)

Sabun yang umum digunakan dalam pembuatan gemuk dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok yaitu sabun konvensional (sabun biasa), sabun campuran, sabun kompleks.

➤ **Sabun Konvensional (Sabun Biasa)**

Sabun ini dihasilkan dari reaksi saponifikasi antara asam lemak dan alkali seperti yang telah dijelaskan di atas. Jenis alkali yang berbeda akan menghasilkan kualitas gemuk yang berbeda. Beberapa jenis sabun seperti sabun Sodium, Barium, lithium, kalsium dan Aluminium.

➤ **Sabun Campuran (*Mixed Soap*)**

Sabun jenis ini merupakan sabun yang terbentuk dari campuran dua atau lebih alkali yang berbeda untuk meningkatkan kualitas gemuk yang dihasilkan karena kedua jenis sabun tersebut akan memberikan sifat dan karakteristik yang saling memperbaiki. Contoh gemuk pelumas dengan jenis sabun ini yaitu *Sodium-Calsium Grease*, *Lithium-plumbum grease* dan *Calsium-Sodium grease*.

➤ **Sabun Kompleks**

Sabun kompleks terbentuk dari reaksi saponifikasi maupun netralisasi sama seperti pada sabun biasa. Hanya saja dalam reaktannya terdapat *complexing agent* selain reaktan pembuat sabun yang utama yaitu asam lemak atau minyak nabati dan alkali. Kelebihan sabun ini terletak pada *dropping point*nya yang lebih tinggi



dibandingkan dengan sabun biasa. Umumnya sekitar 38°C (100°F) lebih tinggi dari sabun biasa. Sehingga gemuk yang dihasilkan dari sabun lebih dapat diaplikasikan pada temperatur yang tinggi.

b. Non-sabun

Gemuk yang dibuat dari senyawa non-sabun memiliki karakteristik yang khas yaitu tidak terjadinya perubahan fasa menjadi fasa cair pada temperatur kritisnya. Berbeda dengan gemuk dengan *thickening agent* berupa sabun di mana pada temperatur yang tinggi, struktur gemuk menjadi lembek dan ketika melebihi *dropping point* akan mencair. Selain itu, tekstur gemuk ini sangat lembut. Beberapa contoh bahan pengental non-sabun yaitu : poliurea dan Organo-clay (Lansdown,1982).

2.1.3.3 Aditif

Aditif merupakan senyawa yang ditambahkan ke dalam pelumas gemuk untuk memberikan sifat-sifat tertentu agar kemampuan pelumas gemuk dalam memberikan fungsi pelumasan semakin meningkat sesuai dengan yang diinginkan.

Beberapa jenis aditif yang sering digunakan dalam pelumas gemuk untuk meningkatkan karakteristik tertentu dari gemuk, yaitu antara lain :

Tabel 2.8 Jenis Aditif pada Gemuk

Jenis Aditif	Kegunaan	Contoh Aditif
1. Anti Oksidan	Mencegah atau memperkecil oksidasi pelumas gemuk	Senyawa fosfat, amine, fenol dan turunannya
2. <i>Metal Deactivator</i>	Mencegah oksidasi pelumas gemuk dengan bereaksi dengan logam	Senyawa <i>heterocyclic sulfur-nitrogen</i>
3. <i>Extreme Pressure</i>	Mencegah keausan pada tekanan yang sangat tinggi	<i>Lead oleat</i>
4. <i>Anti Wear</i>	Mencegah keausan akibat senyawa asam	Turunan alkil dari 2-5 mercaptan 1-3-4 thiadiazole
5. <i>Corrosion Inhibitor</i>	Mencegah korosi akibat keberadaan senyawa asam	Senyawa <i>heterocyclic sulfur-nitrogen</i> .

(Sumber : Lansdown,1982)

2.1.4 Jenis-jenis Pelumas Gemuk

Pelumas gemuk dapat dibedakan berdasarkan jenis bahan pengental penyusunnya. Berikut merupakan beberapa jenis pelumas gemuk berdasarkan bahan pengentalnya :



Tabel 2.9 Jenis-jenis Pelumas Gemuk

Karakteristik	Jenis Gemuk							
	Sodium	Barium	Lithium		Calsium		Aluminium	
			Biasa	Komplek	Biasa	Komplek	Biasa	Komplek
<i>Dropping point</i> (⁰ F)	300-350	350	350	500	175-200	200-240	90-120	200-260
Tekstur/ warna	<i>Spongy</i> , kuning atau hijau	kuning kemerahan/ hijau	-		-		Putih	
Kelebihan	Stabilitas kerja baik	Aplikasi luas	Dapat digunakan pada T rendah dan tinggi, ketabilan mekanis baik		Ketahanan air tinggi	Ketahanan air tinggi, tahan P tinggi	Ketahanan air, oksidasi tinggi	Tahan T dan P tinggi, ketahanan air baik
Kekurangan	<i>Water wash</i> <i>out</i> rendah	Tidak cocok pada T rendah dan V stinggi	Tidak dapat memberikan perlindungan dari debu secara alami		Sulit dipompa pada P tinggi	-	Sulit dipompa	Waktu pakai singkat

(Sumber : Lansdown, 1982)

2.2 Gemuk *Food Grade*

Gemuk berdasarkan tujuan pemakaiannya dapat dibagi atas gemuk untuk industri otomotif, sistem transportasi dan industri non-otomotif seperti pangan dan pertanian. Pemakaian gemuk untuk masing-masing tujuan ini dibedakan oleh sifat dan karakteristik gemuk. Untuk tujuan industri pangan misalnya, karakteristik pelumas gemuk yang digunakan lebih khusus dibanding dengan karakteristik pelumas gemuk yang digunakan pada industri otomotif. Industri pangan mempunyai persyaratan tambahan, tidak hanya aspek pelumasannya saja tetapi juga memperhatikan aspek keamanan pangannya (Tambun, 2006). Untuk keperluan tersebut, maka dikenal suatu jenis gemuk yaitu gemuk *food grade*.

Gemuk *food grade* merupakan gemuk yang digunakan pada industri makanan dan obat-obatan di mana kontak yang tidak sengaja terjadi antara gemuk dengan produk mungkin terjadi. Sehingga gemuk ini diharapkan bersifat *edible* atau aman jika masuk ke tubuh manusia. Contoh aplikasi gemuk *food grade* misalnya pada berbagai jenis *bearing*, seperti *roller*, *needle*, *ball*, *journal*, dan *sliding bearings* yang terdapat pada pompa, mixer, *conveyer belt*, mesin press yang digunakan pada industri makanan. Dalam proses pembuatannya pada industri pembuatan minuman seperti juice atau susu, produk mengalami proses pemompaan, sehingga terdapat kemungkinan gemuk yang terdapat pada bearing pompa dapat mengkontaminasi produk. Selain itu, pada proses pembuatan mie instan, terdapat proses pencetakan atau pemotongan mie dengan menggunakan *ginder* yang di dalamnya terdapat *bearing*, sehingga terdapat kemungkinan terjadi kontaminasi dengan produk. Berikut merupakan contoh *ginder* dalam pembuatan mie :



Gambar 2.7 Contoh Alat Pembuatan Mie

(Sumber : www.kosain.com)



Fungsi dari gemuk *food grade* sama dengan pelumas pada umumnya yaitu dapat memberi perlindungan terhadap keausan, gesekan, korosi, oksidasi, serta sebagai transfer panas. Perbedaannya terletak pada karakteristik gemuk *food grade* yang dituntut untuk tahan terhadap makanan, bahan kimia, air/ uap, tidak merusak plastik dan elastomer serta memenuhi standar kesehatan dan keamanan internasional seperti tidak beracun, tidak berasa dan tidak berbau.

Gemuk *food grade* sebagaimana gemuk pada umumnya harus memiliki sifat-sifat pelumasan yang baik. Namun, gemuk *food grade* harus memiliki ketahanan oksidasi yang lebih tinggi serta sifat anti toksik yang baik sehingga bila terkontaminasi dengan makanan tidak beracun dan ramah lingkungan (USDA dan National Sanitation Foundation).

Sesuai dengan ketentuan tersebut, maka gemuk *food grade* dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis sebagai berikut :

- H-1 *Lubricant* : digunakan pada keadaan di mana kontak dengan produk makanan sangat mungkin terjadi.
- H-2 *Lubricant* : digunakan pada peralatan operasi yang vital dalam pabrik manufaktur tetapi tidak terjadi kontak dengan produk makanan.
- H-3 *Soluble Oils* : digunakan pada peralatan seperti *hook*, *trolley* dan sebagainya untuk membersihkan dan mencegah terjadinya korosi.
- 3-H *Lubricant* : digunakan pada keadaan di mana kontak dengan produk makanan sangat sering terjadi. Gemuk jenis ini juga dapat digunakan sebagai aditif makanan.

Selain itu, bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan gemuk *food grade* harus memenuhi kriteria-kriteria yang ditetapkan oleh USDA-NSF sebagai berikut :

1. Tidak mengandung senyawa sulfur (S)
2. Tidak mengandung senyawa aromatik
3. Tidak mengandung logam
4. Tidak berbau dan lebih baik bening.

Selain kriteria tersebut, karakteristik lain yang penting yang harus dimiliki oleh gemuk *foodgrade* yaitu :



1. Ketahanan terhadap air yang tinggi, sehingga tidak larut dalam air ketika terjadi kontak dan tidak mencemari produk. Selain itu, jika gemuk gemuk tumpah tidak akan mencemari air tanah.
2. Tahan terhadap temperatur tinggi sehingga tidak mudah teroksidasi menjadi senyawa asam atau senyawa lain yang dapat mencemari produk. Terutama juga karena kondisi operasi pada industri makanan, minuman dan obat-obatan yang banyak beroperasi pada temperatur tinggi (James A. Stuart, 2002).

Pembuatan gemuk *food grade* ini sebenarnya telah dimulai pada tahun 2000 semenjak adanya permintaan dan ketetapan dari USDA dan NSF agar produk makanan yang dihasilkan oleh industri tidak tercemar oleh bahan-bahan yang berbahaya. Gemuk *food grade* yang telah digunakan pada saat ini terdaftar sebagai *H-1 Lubricant*. Gemuk ini terbuat dari minyak sintetis yang dikenal dengan *white mineral oil*, tetapi gemuk ini harganya masih tergolong mahal.

Sementara itu, kebutuhan industri makanan dan obat-obatan akan gemuk *foodgrade* semakin meningkat seiring dengan peningkatan industri makanan dan obat-obatan. Kebutuhan ini diperoleh dengan mengimpor dari negara lain. Harga gemuk *foodgrade* yang tinggi ini menyebabkan penelitian lebih lanjut untuk membuat gemuk *foodgrade* dari bahan lokal penting dilakukan.

Penelitian mengenai pembuatan gemuk bio *foodgrade* dengan menggunakan minyak kelapa sawit yang telah dimodifikasi, yaitu pelumas bio EFAMEGLI telah dilakukan di Departemen teknik kimia Universitas Indonesia oleh Marius dan Dizy. Penelitian yang dilakukan oleh Marius menggunakan pengental sabun kalsium dan pembuatan gemuk bio dilakukan pada reaktor terbuka. Sedangkan Dizy melakukan pembuatan gemuk bio pada reaktor tertutup dengan menggunakan pengental sabun kalsium dan sabun litium. Gemuk bio dengan sabun litium dibuat dari campuran *base oil* minyak mineral dan EFAMELI yang divariasi. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :



Tabel 2.10 Hasil Penelitian Marius dan Dizy

Parameter	Gemuk Bio kalsium (Marius)	Gemuk Bio Kalsium (Dizy)
Komposisi bahan pengental (%)	15	10
Warna	Berwarna kehitaman karena teroksidasi	Putih Kekuningan
Penetration value (x 0.1 mm)	265,3	276
Dropping point (°C)	109	130
Nomor NLGI	2	2
Water Wash Out (%)	11,3	-
Oil Separation (%)	18,4	-
Four Ball Test (mg)	-	1.2

(Sumber : Marius, 2006 dan Dizy, 2006)

Dropping point yang dihasilkan dalam penelitian ini masih cukup rendah dibandingkan dengan gemuk *foodgrade* yang umum digunakan. Selain itu, daya kelengketan gemuk bio kalsium yang dihasilkan juga masih rendah dibandingkan dengan gemuk *foodgrade* komersil. Sehingga penelitian lanjutan mengenai gemuk *foodgrade* dari bahan EFAMEGLI perlu dilakukan.

Beberapa karakteristik gemuk *foodgrade* yang komersil digunakan pada industri makanan dan obat-obatan antara lain :

Tabel 2.11 Karakteristik Gemuk *Foodgrade* Komersil

Parameter	Gemuk <i>foodgrade</i> Komersial
Jenis <i>thickener</i>	Sabun Aluminium Komplek
Komposisi bahan pengental	6-9 %
Warna	Putih
Penetration value (x 0.1 mm)	265-295
Dropping point (min)	475 °F
Nomor NLGI	2
Water Wash Out (@175°F)	2.5%

Gemuk *foodgrade* komersil yang banyak digunakan menggunakan pengental berupa sabun aluminium kompleks. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan gemuk aluminium kompleks *foodgrade* dengan menggunakan EFAMEGLI.

2.3 Gemuk Aluminium (*Aluminum Grease*)

Gemuk Aluminium pertama kali diperkenalkan oleh Lederer pada tahun 1933 (Theo Mang, 2007) dan merupakan gemuk yang terbuat dari bahan pengental berupa sabun aluminium. Sabun aluminium dalam pembentukan gemuk aluminium dapat diperoleh dengan dua cara, yaitu dari sabun aluminium kemasan (*preformed soap*)

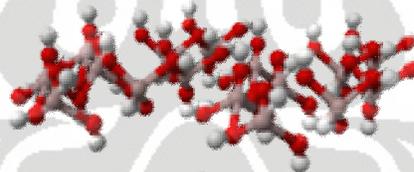
dan sabun aluminium yang dibuat selama proses pembuatan gemuk (proses in situ). Sabun aluminium yang umumnya digunakan berupa aluminium stearat. Sabun aluminium stearat terbuat dari reaksi saponifikasi antara senyawa aluminium serta asam lemak.

2.3.1 Senyawa Aluminium

Senyawa aluminium yang umum digunakan pada proses pembuatan sabun aluminium adalah aluminium alkoholat. Hal ini berbeda dengan sabun jenis lain yang umumnya terbuat dari senyawa hidroksidanya. Perbedaan ini disebabkan oleh sifat kereaktifan yang berbeda antara senyawa-senyawa tersebut.

2.3.1.1 Aluminium Hidroksida

Aluminium hidroksida merupakan senyawa dengan rumus molekul $\text{Al}(\text{OH})_3$. Senyawa ini merupakan senyawa aluminium yang paling stabil. Kestabilan struktur aluminium hidroksida menyebabkan kereaktifan senyawa ini rendah. Faktor inilah yang menyebabkan sabun aluminium tidak dibuat dari aluminium hidroksida. Selain itu, berbeda dengan senyawa sabun lain, aluminium hidroksida merupakan senyawa yang bersifat basa lemah sehingga reaksi saponifikasi akan sulit berlangsung dan membutuhkan waktu yang lama. Struktur molekul aluminium hidroksida yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.8 Struktur Molekul Aluminium Hidroksida

(Sumber : www.wikipedia.com)

2.3.1.2 Aluminium Alkoholat

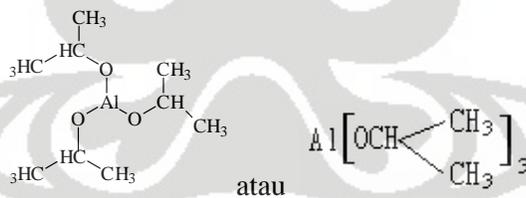
Aluminium alkoholat atau disebut juga aluminium alkoksida merupakan senyawa aluminium yang mengandung gugus alkoksida. Gugus alkoksida merupakan suatu basa konjugasi dari alkohol yang terdiri dari gugus organik yang berikatan dengan atom oksigen bermuatan negatif ($\text{R}-\text{O}^-$). Senyawa alkoksida bersifat basa kuat jika gugus organik yang berikatan tidak terlalu besar dan merupakan nukleofilik yang baik.

Senyawa alkoksida dapat dibuat dengan mereaksikan alkohol dengan suatu logam yang reaktif. Senyawa aluminium yang direaksikan dengan alkohol akan menghasilkan aluminium alkoholat (Al—OR) (www.wikipedia.com).

Aluminium alkoholat yang sering digunakan dalam pembuatan sabun aluminium adalah aluminium isopropoksida dan tri-oxo aluminium triisopropoksida untuk pembuatan gemuk secara komersil (Caines, 1996). Akan tetapi, tri-oxo aluminium triisopropoksida memiliki harga yang mahal dan ketersediaannya di Indonesia sulit diperoleh.

Aluminium isopropoksida

Aluminium isopropoksida merupakan senyawa aluminium alkoksida yang gugus organiknya merupakan isopropil. Gugus isopropil ini merupakan basa konjugasi dari senyawa isopropil alkohol. Aluminium isopropoksida dibuat dengan mereaksikan senyawa aluminium dengan isopropil alkohol. Aluminium isopropoksida merupakan senyawa basa kuat karena gugus organik yang berikatan, yaitu isopropil alkohol tidak terlalu besar dan berantai pendek. Aluminium isopropoksida juga bersifat reaktif. Sehingga penggunaan aluminium isopropoksida untuk membuat sabun aluminium lebih disukai daripada dengan menggunakan aluminium hidroksida. Struktur senyawa aluminium isopropoksida yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.9 Struktur Aluminium isopropoksida

(Sumber : www.wikipedia.com)

2.3.2 Asam Lemak

Asam lemak yang digunakan umumnya adalah asam stearat atau asam oktadekanoin. Asam stearat merupakan senyawa jenuh dengan rumus molekul $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$. Struktur senyawa ini yaitu :



Gambar 2.10 Struktur Asam Stearat

(Sumber : www.wikipedia.com)

Atanu Adhvaryu dkk pada tahun 2004 melakukan penelitian mengenai efek struktur dan panjang rantai asam lemak terhadap kualitas gemuk. Hasil penelitian yang dilakukannya menunjukkan bahwa semakin panjang rantai, gemuk yang dihasilkan akan semakin keras. Panjang rantai asam lemak yang menghasilkan gemuk dengan nomor NLGI 2 dan *dropping point* 120.39⁰C adalah asam lemak jenis stearat dengan panjang rantai C18 (Atanu dkk, 2004). Berikut data hasil percobaan yang dilakukan :

Tabel 2.12 Efek Struktur Asam Lemak terhadap Karakteristik Gemuk

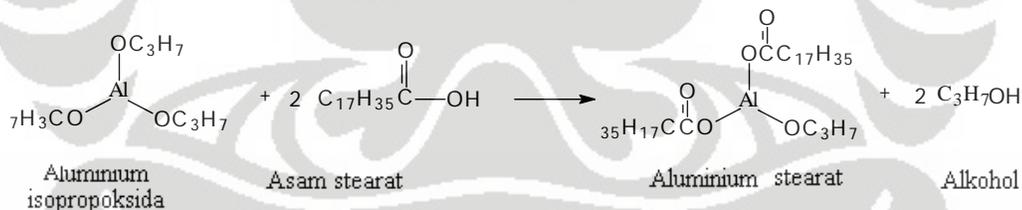
Asam lemak	Logam : Asam lemak	Sabun : minyak dasar	Nomor NLGI	<i>Dropping point</i> (°C)
Lauric (C12)	1 : 1	1 : 3	00	117.84
Myristic (C14)	1 : 1	1 : 3	0	118.52
Palmitic (C16)	1 : 1	1 : 3	2	118.82
Stearic (C18)	1 : 1	1 : 3	2-3	120.39
Linoleic (C18)	1 : 1	1 : 3	1	124.34

(Sumber : Atanu dkk, 2004)

Dengan membandingkan karakteristik dari bahan-bahan tersebut, maka dalam penelitian ini akan digunakan aluminium isopropoksida dan asam stearat sebagai bahan pembuat sabun aluminium.

Reaksi saponifikasi yang terjadi untuk menghasilkan sabun aluminium yaitu sebagai berikut :

- Aluminium isopropoksida dengan asam stearat



Gambar 2.11 Reaksi Saponifikasi Aluminium Isopropoksida dengan Asam Stearat

Gemuk Aluminium memiliki *dropping point* hingga 120⁰C dengan batas temperatur tertinggi di mana gemuk ini masih dapat digunakan yaitu sekitar 80-90⁰C. Pada temperatur di atas 90⁰C, gemuk ini cenderung akan bersifat seperti karet.

Salah satu karakteristik sabun Aluminium adalah ukuran partikelnya yang sangat kecil yaitu < 0.1 x 0.1 μm sehingga gemuk yang dihasilkan memiliki kestabilan mekanis yang rendah serta cenderung menghasilkan produk gemuk yang



bersifat *thixotropic* yaitu gemuk yang cenderung akan meningkat viskositasnya pada temperatur rendah (Theo Mang, 2007).

Gemuk aluminium merupakan salah satu pelumas yang memenuhi syarat sebagai pelumas *food grade*. Gemuk ini memiliki warna yang bening atau transparan, dengan tekstur yang lembut. Gemuk ini sendiri telah lama digunakan pada industri makanan karena memiliki ketahanan terhadap air yang sangat baik serta memiliki sifat adhesif yang baik. Sehingga gemuk ini memiliki daya kerekatan pada permukaan logam dengan baik. Seiring dengan perkembangan dunia, saat ini industri makanan kebanyakan beroperasi pada temperatur yang tinggi. Sehingga pelumas gemuk Aluminium konvensional tidak dapat digunakan. Namun, karakteristiknya yang *foodgrade* sangat cocok pada industri makanan (Drake, 1992). Oleh karena itu, dilakukan pengembangan gemuk Aluminium kompleks dari sabun aluminium kompleks.

2.4 Gemuk Aluminium Kompleks (*Aluminum Complex Grease*)

Aluminum Complex grease merupakan suatu gemuk yang dibuat dengan menggunakan bahan pengental sabun aluminium kompleks.

2.4.1 Sabun Aluminium Komplek (Arthur, 1971; Hotten, 1956)

Sabun aluminium kompleks merupakan campuran sabun aluminium yang setiap atom aluminiumnya berikatan dengan paling sedikit satu anion hidroksil dan dua anion asam karboksil yang diharapkan berasal dari dua anion asam yang berbeda, misalnya anion aromatik dan anion alifatik. Hal ini dikarenakan anion asam karboksil yang berbeda akan memberikan kelarutan yang berbeda dalam minyak. Anion asam karboksil yang satu akan memiliki kelarutan yang lebih baik dalam minyak dibanding anion asam lain. Umumnya anion yang kelarutannya lebih baik dalam minyak disebut organophilik seperti senyawa asam stearat. Sedangkan senyawa yang kelarutannya lebih rendah disebut organophobic seperti asam benzoat. Sehingga karakteristik setiap molekul sabun dalam aluminium kompleks ini berbeda. Misalnya, terdapat sabun dengan dua anion hidroksil dan satu anion karboksil, sabun dengan satu anion hidroksil dan dua anion karboksil dari asam yang berbeda, atau sabun dengan satu anion hidroksil dan dua anion karboksil dari asam yang sama. Dalam setiap pembuatan sabun aluminium kompleks akan terdapat ketiga jenis sabun tersebut.



Berdasarkan hasil penelitian Polishuk dkk, gemuk aluminium kompleks dengan kualitas yang baik akan dihasilkan jika jumlah sabun aluminium dalam sabun aluminium kompleks yang mengandung dua jenis anion asam karboksil yang berbeda terdapat dalam jumlah yang banyak sementara jumlah sabun jenis lain sedikit. Sabun dengan karakteristik seperti ini dapat diperoleh dengan prosedur pembuatan sabun yang tepat.

Untuk menghasilkan sabun dengan karakteristik tersebut, proses pencampuran bahan atau reaksi harus dilakukan dalam dua tahap dan digunakan dua jenis asam karboksil dengan reaktivitas yang berbeda. Pertama kali dilakukan pencampuran atau mereaksikan senyawa aluminium dengan asam yang kurang reaktif. Setelah itu baru ditambahkan asam yang lebih reaktif.

Jika semua asam ditambahkan secara bersamaan dalam reaktor, maka terdapat kemungkinan akan terjadi substitusi 2 gugus alkoksida pada aluminium oleh anion dari asam yang lebih reaktif dalam jumlah yang besar sehingga terbentuk *di-soap* atau aluminium di-benzoat. Sedangkan jumlah substitusi oleh dua anion asam yang berbeda pada 2 gugus alkoksida akan lebih sedikit. Akan tetapi jika asam pertama yang kurang reaktif dicampurkan dahulu dengan aluminium alkoksida, maka semua gugus alkoksida akan disubstitusi oleh anion asam pertama. Sehingga pada saat penambahan asam kedua, akan terjadi substitusi salah satu gugus oleh anion dari asam tersebut. Dengan demikian aluminium akan memiliki dua anion dari asam yang berbeda dalam jumlah yang besar dan pembentukan *di-soap* dapat dihindari (Arthur,1971).

Kualitas gemuk aluminium kompleks yang baik yaitu gemuk yang memenuhi spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2.13 Karakteristik Gemuk Aluminium Kompleks yang Baik

Parameter	Kuantitas
<i>Dropping point</i>	$\geq 500^{\circ}\text{F}$ (260°C)
<i>Roll stability</i> (% change)	< 10
<i>Wheel bearing leakage</i>	< 10 gram

(Sumber : Polishuk dkk)

2.4.2 Pembuatan Gemuk Aluminium Kompleks

Pada pembuatan *Aluminum Complex grease*, material yang digunakan yaitu senyawa aluminium, asam lemak, asam organik sebagai agen pengompleks, dan

minyak dasar. Metode pembuatan gemuk aluminium kompleks yang akan dilakukan pada penelitian ini akan mengikuti metode pembuatan gemuk aluminium kompleks yang dilakukan pada penelitian Arthur dkk karena hasil penelitiannya menunjukkan karakteristik gemuk aluminium kompleks yang baik seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Proses pembuatan sabun aluminium terjadi dalam dua tahap, yaitu pembuatan sabun aluminium serta pengomplekan oleh agen pengompleks. Senyawa aluminium serta asam lemak akan membentuk sabun aluminium. Proses yang terjadi serta bahan yang digunakan sama seperti dalam pembuatan gemuk aluminium yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu dengan menggunakan aluminium isopropoksida atau tri-oxo aluminium triisopropoksida dan asam stearat, dalam penelitian ini yang digunakan adalah aluminium isopropoksida.

Proses yang kedua yaitu proses pengomplekan dilakukan oleh agen pengompleks berupa asam organik. Berdasarkan hasil penelitian, asam organik yang dipilih sebagai bahan pembuatan gemuk aluminium adalah asam organik yang mengandung cincin aromatik (fenil) dengan jumlah atom C dari 7-9. Asam organik yang umum digunakan dalam pembuatan sabun aluminium kompleks adalah asam benzoat.

- **Asam Benzoat**

Asam benzoat merupakan asam karboksilat dengan gugus aromatik. Rumus molekul senyawa ini $C_7H_6O_2$. Struktur molekulnya yaitu :



Gambar 2.12 Struktur Molekul Asam Benzoat

(Sumber : www.wikipedia.com)

Asam ini terutama digunakan dalam pembuatan gemuk aluminium yang bersifat *foodgrade*. Asam benzoat telah lama digunakan dalam industri makanan sebagai bahan pengawet. Asam ini tidak beracun bagi kesehatan dan terdapat dalam tubuh

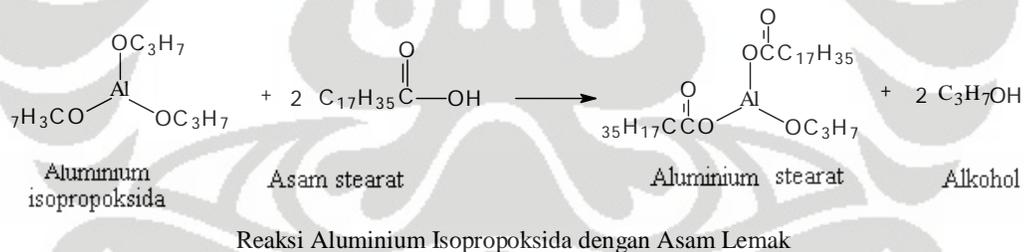
mahluk hidup secara alamiah. Sehingga asam benzoat dapat digunakan dalam pembuatan gemuk *foodgrade* (www.wikipedia.com)

Selain itu, berdasarkan hasil penelitian Max Fisher diketahui bahwa asam benzoate merupakan agen pengompleks yang paling baik dalam pembuatan sabun aluminium kompleks. Max Fisher melakukan percobaan dengan 17 asam organik dengan berat molekul yang berbeda-beda dan melakukan pengujian efisiensi pengentalan serta *dropping point*. Hasil percobaannya menunjukkan bahwa sabun aluminium benzoat kompleks memberikan nilai efisiensi pengentalan yang paling baik serta nilai *dropping point* tertinggi. Penggunaan asam benzoate sebagai agen pengompleks dalam pembuatan sabun kompleks juga akan menghasilkan gemuk dengan kestabilan yang tinggi (Polishuk, dkk).

Reaksi yang terjadi dalam pembentukan *Aluminium Complex soap* dari senyawa aluminium isopropoksida dan asam benzoat berlangsung dalam dua tahap reaksi yaitu sebagai berikut:

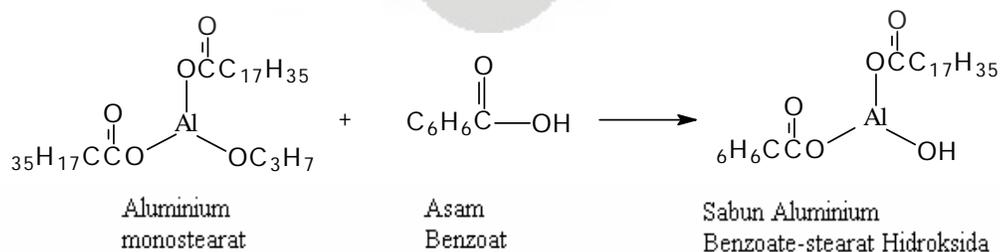
Tahap Pertama

Pada tahap ini terjadi reaksi antara aluminium isopropoksida dengan asam lemak. Asam lemak menggantikan dua posisi alkohol yang berikatan dengan aluminium untuk membentuk kristal sabun aluminium. Reaksi yang terjadi yaitu :



Tahap Kedua

Pada tahap ini terjadi reaksi antara asam benzoik dengan aluminium monostearat membentuk sabun aluminium kompleks. Reaksi yang terjadi yaitu :



Gambar 2.13 Reaksi Asam Benzoik dengan Aluminium Monostearat



Setelah pembentukan sabun Aluminium kompleks tersebut terjadi yaitu berupa *aluminum benzoyl stearoyl hydroxide soap* (sabun aluminium benzoate-stearat hidroksida), lalu dilakukan proses pembuatan gemuk seperti pada proses pembuatan gemuk umumnya yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Pendinginan untuk membuat pelumas gemuk ini harus dilakukan dengan cepat untuk membentuk struktur semifluida.

Pelumas aluminium kompleks akan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan pelumas aluminium biasa dalam hal :

- *Dropping point* (260 °C)
- Ketahanan yang baik terhadap tekanan tinggi
- Ketahanan yang baik terhadap keausan
- *Pumpability* yang baik pada Temperatur rendah

Struktur sabun aluminium kompleks seperti yang dapat dilihat pada gambar di atas merupakan sabun dengan panjang rantai yang lebih pendek dibanding sabun aluminium biasa dan menghasilkan molekul yang lebih banyak. Akibatnya struktur pelumas gemuk yang dihasilkan akan lebih rapat dan padat sehingga kualitas pelumas gemuk akan meningkat, terutama sekali *dropping point* karena struktur yang lebih rapat ini maka ikatan antarmolekul akan semakin erat sehingga tidak mudah putus dan berubah fasa menjadi cair. Selain itu, ketahanan terhadap tekanan tinggi dan keausan juga akan bertambah karena kekuatan strukturnya yang lebih besar.

Komposisi senyawa aluminium yang digunakan dalam pembuatan pelumas gemuk Aluminium biasanya memiliki rasio mol yang berlebih daripada mol stoikiometriknya. Hal ini bertujuan untuk memberikan sifat basa pada gemuk yang dihasilkan sehingga akan menetralkan asam korosif yang dibentuk oleh gemuk yang terdegradasi selama penggunaan, selain itu sifat basa memberikan stabilitas *grease* yang lebih baik.

2.4.3 Karakteristik Gemuk Aluminium kompleks

Gemuk Aluminium kompleks merupakan gemuk yang multifungsi karena memiliki berbagai kelebihan. Karakteristik gemuk ini yaitu :



1. Ketahanan terhadap air (*Water wash out*) yang sangat baik

Gemuk Aluminium kompleks memiliki ketahanan terhadap air yang sangat baik. Hal ini disebabkan oleh ketidaklarutan gemuk ini dalam air dan tidak terjadi ikatan antara gemuk dengan air, sehingga keberadaan air tidak akan merubah struktur gemuk dan tidak berpengaruh terhadap pelumas gemuk.

Sifat ini sangat diperlukan untuk mencegah terjadinya pencemaran air tanah akibat kebocoran gemuk atau masuknya air pencuci yang bercampur dengan gemuk yang larut ke dalam tanah. Hal ini juga menyebabkan konsumsi gemuk atau proses *re-lubrication* dapat dikurangi (Phipps, 2007).

2. Stabilitas termal dan mekanis yang baik

Gemuk Aluminium kompleks memiliki stabilitas termal dan mekanis yang baik. Karakteristik ini disebabkan oleh pemerataan atau kehomogenan molekul-molekul sabun aluminium terdispersi pada minyak dasar dan susunan molekul sabun yang lebih rapat sehingga ikatan antarmolekul sabun kuat dan menghasilkan struktur yang kuat atau stabil.

3. *Pumpability* yang baik

Gemuk Aluminium kompleks mudah dipompa pada temperatur rendah karena kandungan sabunya yang rendah dan kandungan minyak pelumasnya tinggi. Kemudahan dalam pemompaan sangat diperlukan terutama ketika proses *re-lubrication*. Jika gemuk sulit dipompa, maka gemuk akan sulit dialirkan ke bagian mesin yang membutuhkan perlindungan. Akibatnya bagian mesin tersebut menjadi tidak terlindungi.

4. Kompatibilitas yang baik

Gemuk aluminium kompleks memiliki kompatibilitas yang baik dengan penambahan aditif karena struktur gel gemuk yang bersifat semipadat. Oleh karena itu, penambahan aditif untuk meningkatkan ketahanan terhadap tekanan yang ekstrem dapat dilakukan.



5. Dropping point tinggi

Gemuk aluminium kompleks memiliki nilai *dropping point* pada 450°F hingga 475°F (232°C-246°C) sehingga dapat diaplikasikan pada jangkauan temperatur yang luas. Artinya gemuk aluminium kompleks dapat diaplikasikan pada berbagai industri yang berbeda (multifungsi). Nilai *dropping point* yang tinggi disebabkan oleh ikatan antar molekul dalam struktur gemuk yang kuat sehingga ikatan antarmolekul akibat pemanasan tidak mudah putus (Phipps, 2007).

6. Sifat Heat Reversion yang tinggi

Sifat *heat reversion* merupakan kemampuan gemuk untuk kembali ke keadaan konsistensi normalnya setelah dipanaskan maupun didinginkan. Karakteristik ini penting karena perubahan sifat (konsistensi) akibat mendapat perlakuan panas menyebabkan efisiensi pelumasan grease akan mengalami penurunan.

Gemuk aluminium kompleks memiliki sifat *heat reversion* yang tinggi, artinya setelah dipanaskan atau didinginkan, grease mudah kembali ke sifat (konsistensi) semula. Sehingga pengaruh perubahan temperatur (pemanasan atau pendinginan) kurang berpengaruh terhadap sifat fisis pelumas. Berdasarkan hasil penelitian Bruce W Hotten dkk, gemuk aluminium kompleks memiliki perubahan konsistensi yang sangat kecil pada temperatur antara temperatur ruang hingga 400°F.

Sifat ini merupakan karakteristik yang membedakan gemuk aluminium dengan pelumas lain.

7. Adhesi permukaan yang sangat baik

Gemuk aluminium kompleks memiliki sifat adhesi permukaan yang sangat baik. Adhesi merupakan gaya tarik-menarik antara dua material yang berbeda, dalam hal ini gaya tarik-menarik antara logam dengan gemuk. Sifat adhesi ini mempengaruhi daya lengket gemuk pada permukaan logam. Oleh karena itu, gemuk aluminium kompleks memiliki daya lengket yang baik pada permukaan logam sehingga dapat memberikan fungsi pelumasan dan perlindungan yang efektif.



8. Sifat anti oksidasi, anti aus dan anti debu yang sangat baik

Gemuk aluminium kompleks memiliki ketahanan yang baik terhadap oksidasi, keausan serta dapat mencegah masuknya debu sehingga dalam pembuatan gemuk ini aditif untuk meningkatkan ketahanan oksidasi, aus, dan debu tidak diperlukan (Lubrications Engineer,1997).

Beberapa perbandingan karakteristik *Aluminum complex grease* dengan pelumas gemuk lain dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.14 Perbandingan Karakteristik Aluminum Complex Grease dengan Pelumas Lain

	<i>Aluminum complex</i>	<i>Lithium</i>	<i>Calcium</i>	<i>Bentone</i>	<i>Lithium complex</i>
Ketahanan terhadap air	Luar biasa	Baik-Luar biasa	Baik	Luar biasa	Luar biasa
Stabilitas mekanis	Baik-Luar biasa	Luar biasa	Buruk	Baik	Baik
Kompatibilitas	Cukup	Baik-Cukup	Baik-Cukup	Baik-Cukup	Baik-Cukup
<i>Dropping point</i>	475°F (246°C)	360°F (182°C)	350°F (177°C)	500°F (260°C)	500°F (260°C)
<i>Heat reversion</i>	Luar biasa	Baik	Buruk	Baik	Baik
<i>Pumpability</i> pada T rendah	Baik-Luar biasa	Baik	Buruk	Buruk	Buruk

(Sumber : Lansdown, 1982)

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa gemuk aluminium kompleks memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan gemuk kalsium, yaitu nilai *dropping point*-nya yang tinggi, kestabilan mekanis, *heat reversion* serta *pumpability*-nya yang baik.

2.4.4 Aplikasi *Aluminum Complex grease*

Secara umum, *Aluminum Complex grease* dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang yang sama dengan jenis pelumas gemuk lain, tetapi *Aluminum Complex grease* memiliki suatu sifat yang istimewa yaitu bahwa pelumas gemuk ini bersifat *food grade*. Produk *Aluminum Complex grease* sebagai pelumas *foodgrade* telah banyak dipasarkan. Produk *Aluminum Complex grease* yang telah teruji *foodgrade* antara lain FMG™ yang merupakan produk *Aluminum Complex grease* dari Jet-lube yang telah disetujui oleh USDA Kanada sebagai pelumas *food grade* yang termasuk dalam golongan H-1 *lubricant*. Produk ini dibuat dengan minyak dasar berupa *white*



oil dan juga minyak sintetik. Produk gemuk ini dapat diaplikasikan pada temperatur sekitar -18°C hingga 204°C (0°F - 400°F).

Produk lain yaitu Safe, dari Chem and lube company yang dapat beroperasi pada temperatur -10° hingga 350°F yang merupakan kondisi operasi pada kebanyakan industri makanan. Produk ini memiliki sifat *pumpability* yang baik pada temperatur yang rendah. Produk ini tahan terhadap tekanan yang ekstrim dan telah disetujui oleh *US Food and Drug Administration* (USDA) sebagai pelumas gemuk *food grade* kategori H-1 *lubricant*.

Dari berbagai produk yang telah teruji dan dipasarkan di negara tersebut, maka dapat diketahui bahwa pelumas gemuk aluminium kompleks juga dapat diaplikasikan pada industri pemrosesan makanan dan obat-obatan serta memberikan fungsi pelumasan yang efektif.

2.4.5 PENELITIAN MENGENAI GEMUK ALUMINIUM KOMPLEKS

2.4.5.1 United State Patent 2,768,138

Pada paten ini, Bruce W Hotten, dkk membuat gemuk aluminium kompleks dasar. Pada percobaan ini dibuat 15 jenis gemuk aluminium dasar dengan memvariasikan asam organik alifatik dan asam organik aromatik, yaitu Aluminium azelat stearat, aluminium toluena stearat, aluminium benzoat stearat, aluminium 12-hidroksi stearat, aluminium benzoate naftenat, aluminium benzoat alkil benzena sulfonat dan aluminium benzoat fosfat stearat. Dari gemuk yang diperoleh kemudian dilakukan pengujian konsistensi pada temperatur yang bervariasi dan pengujian kestabilan.

Hasil yang diperoleh dari pengujiannya menunjukkan bahwa gemuk yang memiliki kualitas paling baik adalah aluminium benzoat stearat. Konsistensi gemuk ini relatif konstan (perubahannya sangat kecil) pada temperatur di antara suhu ruang dan 400°F . Selain itu, kestabilan gemuk ini tinggi yang ditandai dengan tidak terjadinya *oil separation* pada rentang temperatur 120 - 372°F serta tidak terjadinya perubahan fasa dan perubahan pada tekstur gemuk.

Dari hasil penelitiannya, Bruce W. Hotten mendapatkan komposisi pembuatan gemuk aluminium kompleks yang optimum yaitu rasio asam benzoat dengan asam stearat $0.2 : 5$ (atau $1 : 25$).



2.4.5.2 United State Patent 3,591,501

Pada paten ini, Arthur dkk membandingkan dua metode dalam pembuatan gemuk aluminium kompleks. Metode yang pertama yaitu dengan melakukan pencampuran semua bahan (2 asam organik, senyawa aluminium dan minyak dasar) dalam satu tahap. Semua bahan dicampurkan pada reaktor lalu dilakukan proses pembuatan seperti pada proses pembuatan gemuk umumnya. Sedangkan metode yang kedua yaitu dengan melakukan pencampuran asam dengan minyak dasar dalam dua tahap. Pertama-tama, dilakukan pencampuran asam yang kurang reaktif dan senyawa aluminium dalam minyak dasar. Setelah terjadi reaksi dan reaksi berlangsung dengan sempurna, dilakukan pencampuran tahap kedua yaitu pencampuran hasil reaksi dengan asam organik lain yang lebih reaktif.

Hasil yang diperoleh dari penelitian Arthur dkk yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.15 Perbandingan Kualitas Gemuk Aluminium Kompleks dengan Metode 1 dan 2

Uji	Metode ASTM	Gemuk dengan Metode :	
		1	2
Penetrasi pada 77 ⁰ F			
60 Stokes (x 0.1 mm)	D-217	330	309
5000 Stroke (x 0.1 mm)	D-217	310	312
10.000 Stroke (x 0.1 mm)	D-217	305	314
<i>Dropping Point</i> , ⁰ F	D-2265	500	521
<i>Roll Stability</i> , % Change	D-1831	2.8	1.9
<i>Wheel Bearing Leakage</i> , gms	D-1263	31.5	5.4

(Sumber : Arthur, 1971)

Data hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa gemuk aluminium kompleks yang memiliki kualitas yang lebih baik adalah gemuk yang dihasilkan dengan metode 2. Gemuk dengan metode 2 memiliki *dropping point* yang lebih tinggi, 521 ⁰F dan kestabilan mekanis yang lebih baik, yaitu 1.9% dan daya lekat yang baik di mana massa yang hilang dari *bearing* hanya 10 gms.

Dari hasil penelitiannya, Arthur memperoleh komposisi pembuatan gemuk aluminium kompleks yang optimum yaitu rasio asam benzoat : asam stearat : aluminium adalah 1:1:1.

2.4.5.3 United State Patent 4,132,658

Pada paten ini, Coleman dkk melakukan variasi komposisi asam organik dan aluminium yang dibutuhkan dalam pembuatan gemuk aluminium kompleks untuk memperoleh komposisi yang paling baik untuk memperoleh gemuk aluminium



kompleks dengan kualitas yang baik. Komposisi yang divariasikan oleh Coleman adalah rasio mol asam stearat : aluminium, yaitu 1:0.8, 1:1 dan 1:1.2. Hasil penelitian Coleman menunjukkan bahwa komposisi yang paling baik adalah rasio mol asam stearat : aluminium, 1:1.2.

Komposisi aluminium yang berlebih akan memberikan sifat basa pada gemuk yang dihasilkan sehingga asam korosif yang terbentuk akibat terdegradasi selama penggunaan dapat dinetralkan, selain itu sifat basa memberikan stabilitas *grease* yang lebih baik. Berikut merupakan data hasil pengujian kualitas gemuk yang dihasilkan pada berbagai variasi rasio mol :

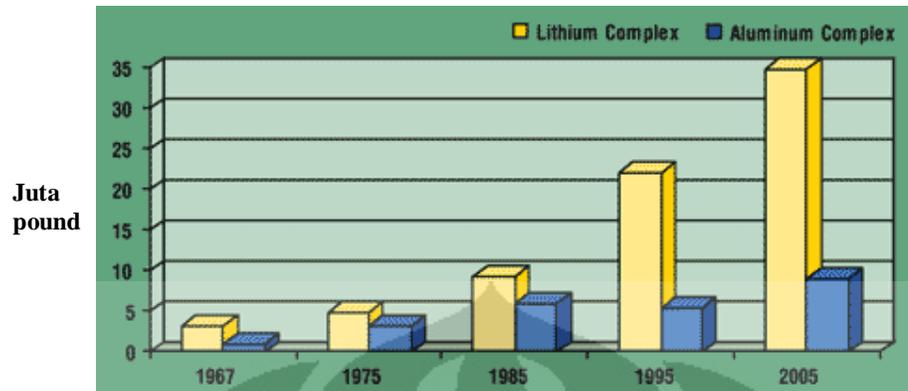
Tabel 2.16 Perbandingan Kualitas Gemuk Aluminium Kompleks pada Variasi Komposisi

SAMPEL GEMUK	A	B	C
Rasio mol As. Stearat : Aluminium	1:1.2	1:1	1:0.8
% Sabun	6.3	7.1	6.3
<i>Worked Penetration</i> pada 77 ⁰ F (x 0.1 mm)	330	324	312
Diameter Goresan (mm), 4 ball test, 130 ⁰ F, 1800 RPM, 20 kg	0.4	0.5	0.58

(Sumber : Coleman, 1979)

Dari studi literatur mengenai karakteristik gemuk aluminium kompleks serta penelitian-penelitian yang telah dilakukan mengenai gemuk aluminium kompleks, diharapkan gemuk aluminium kompleks yang dihasilkan dapat memberikan fungsi pelumasan yang baik terutama sebagai gemuk *foodgrade* dalam industri pengolahan makanan dan obat-obatan. Fungsi pelumasan yang baik yang dimaksud yaitu dapat memberikan perlindungan terhadap komponen mesin pada kondisi operasi temperatur dan tekanan tinggi serta kondisi lingkungan yang basah, tidak berbahaya jika mengalami kontak dengan produk makanan atau obat-obatan serta mampu memberikan fungsi pelumasan pada kondisi operasi dengan *range* temperatur yang besar, seperti perubahan temperatur dari temperatur tinggi ke temperatur rendah secara tiba-tiba.

Potensi pengembangan gemuk aluminium kompleks juga terlihat dari kondisi produksinya di beberapa negara yang terus berkembang tiap tahunnya khususnya di Amerika utara, meskipun belum menggantikan gemuk litium.



Gambar 2.14 Produksi Pelumas Gemuk dari Tahun 1967 hingga 2005 di Amerika Utara

(Sumber : NLGI)

Peningkatan ini terutama karena adanya peningkatan industri pemrosesan makanan kemasan, sehingga kebutuhan akan gemuk *foodgrade* pun meningkat, yaitu gemuk aluminium kompleks.



BAB 3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk menetapkan langkah-langkah yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini.

Diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan yaitu :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Variabel Bebas dan Terikat

Terdapat dua variabel bebas atau variabel yang divariasikan dalam penelitian ini yaitu komposisi bahan pengental pada rasio mol asam benzoat dan asam stearat yang tetap dan komposisi bahan pengompleks atau asam benzoat pada komposisi bahan pengental yang tetap. Variasi komposisi bahan pengental yang dilakukan yaitu 12%, 14%, 18% dan 20%. Sedangkan variasi komposisi bahan pengompleks yang dilakukan yaitu 0%, 0.5%, 1% dan 2%. Parameter yang ingin diketahui dari penelitian ini yaitu :

1. *Penetration value*
2. *Dropping point*
3. Ketahanan aus



3.2 Alat Dan Bahan

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Epoksida RBDPO (*Refined Bleached Deodorized Palm Oil*) sebagai minyak dasar.
2. Aluminium isopropoksida sebagai alkali dalam pembuatan bahan pengental.
3. Asam stearat sebagai asam lemak dalam pembuatan bahan pengental.
4. Asam benzoat sebagai agen pengompleks dalam pembuatan sabun aluminium kompleks.

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- Peralatan utama
 1. Kontaktor berpengaduk (*Autoclave*) : 1 unit
 2. *Mixer* : 1 unit
- Peralatan penunjang
Oil heater : 1 unit.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Penentuan Kondisi Operasi dan Komposisi

Langkah awal dari penelitian ini yaitu penentuan kondisi operasi dan komposisi awal bahan-bahan yang akan digunakan. Pada tahap ini juga dilakukan penentuan variasi komposisi yang akan dilakukan.

Komposisi awal untuk pembuatan pelumas gemuk aluminium kompleks ini ditentukan dari hasil studi berbagai literatur yang kemudian dilakukan analisis dengan mempertimbangkan hal-hal berikut :

- Kesesuaian dengan produk pelumas gemuk yang akan dibuat, yaitu pelumas gemuk dengan nomor NLGI 2
- Kesesuaian dengan bahan baku yang akan digunakan, yaitu aluminium isopropoksida
- Kesesuaian dengan kuantitas produk pelumas gemuk yang akan dibuat atau skala pembuatan, yaitu skala lab dengan kuantitas produksi 1000 gram.



Komposisi bahan yang diperlukan dalam penelitian ini untuk membuat 1000 gr gemuk aluminium kompleks yaitu :

Tabel 3.1 Komposisi Bahan yang digunakan dalam Pembuatan Gemuk Aluminium Kompleks pada Variasi Bahan Pengental

GEMUK	A	B	C	D
Komposisi Sabun	12%	14%	18%	20%
Komposisi Epoksida RBDPO	88%	86%	82%	80%
Berat Epoksida RBDPO	880 gr	860 gr	820 gr	800 gr
Aluminium isopropoksida	43.62 gr	54.5 gr	71 gr	81.764 gr
Asam Stearat	104.54 gr	126.5 gr	165 gr	189.712 gr
Asam Benzoat	45.04 gr	27.4 gr	36 gr	41.082 gr

Tabel 3.2 Komposisi Bahan yang digunakan dalam Pembuatan Gemuk Aluminium Kompleks pada Variasi Bahan Pengompleks

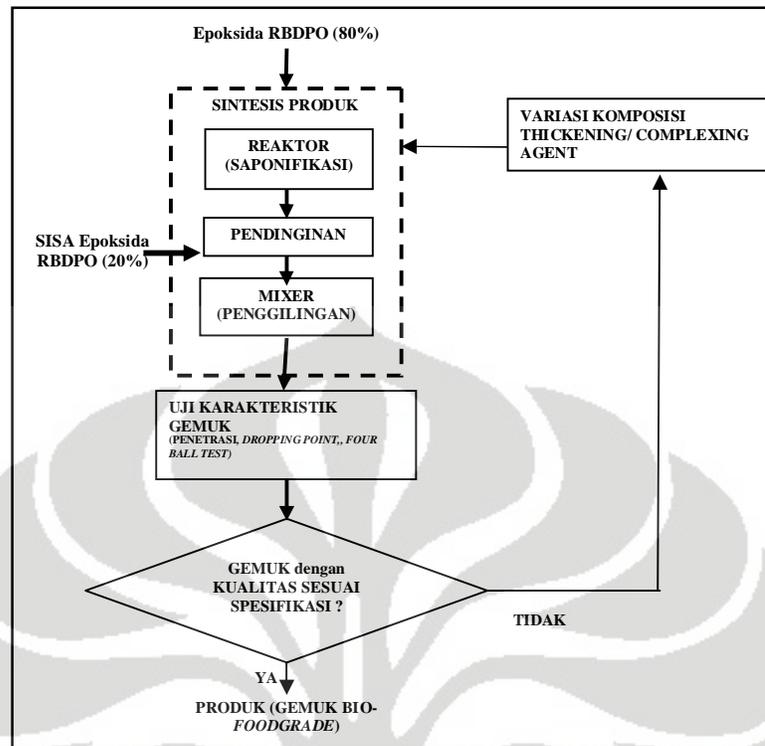
GEMUK	A	B	C	D
Komposisi <i>Complexing agent</i>	0%	0.5%	1%	2%
Berat Epoksida RBDPO	800 gr	800 gr	800 gr	800 gr
Aluminium isopropoksida	75.09 gr	75.41 gr	75.72 gr	76.34 gr
Asam Stearat	174.23 gr	174.23 gr	174.23 gr	174.23 gr
Asam Benzoat	0 gr	0.377 gr	0.75 gr	1.51 gr

Proses perhitungan untuk mendapatkan komposisi tersebut dapat dilihat pada bagian lampiran.

3.3.2 Sintesa Produk

Dalam sintesa produk ini, terdapat beberapa tahap yang akan dilakukan. Tahap sintesa produk dimulai dengan tahap pembentukan *thickening agent*, yaitu sabun aluminium kompleks pada reaktor atau kontaktor berpengaduk melalui reaksi saponifikasi. Lalu tahap selanjutnya yaitu proses pendinginan di dalam reaktor. Tahap terakhir yaitu proses penggilingan dalam *mixer*.

Metode pembuatan gemuk aluminium kompleks yang dilakukan dalam penelitian ini akan mengikuti metode penelitian Arthur dkk yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut merupakan diagram alir sintesa produk gemuk Aluminium kompleks:



Gambar 3.2 Diagram Alir Sintesa Produk Gemuk Aluminium

Untuk lebih jelasnya, berikut merupakan prosedur pembuatan pelumas gemuk aluminium kompleks yang akan dilakukan pada penelitian ini :

1. Memasukkan Epoksida RBDPO (sebanyak 80% berat dari jumlah Epoksida RBDPO total) dan aluminium isopropoksida ke dalam reaktor. Lalu pengaduk dinyalakan dan dilakukan pemanasan hingga 72°C selama 20 menit agar aluminium isopropoksida larut dalam Epoksida minyak kelapa sawit.
2. Memasukkan asam stearat secara perlahan-lahan sehingga akan terjadi reaksi saponifikasi antara aluminium isopropoksida dengan asam stearat yang diindikasikan dengan terbentuknya uap isopropil alkohol. Temperatur dinaikkan hingga 104.5°C selama 1 jam.
3. Setelah 1 jam, Asam benzoat dimasukkan ke dalam reaktor hingga terjadi reaksi saponifikasi tahap dua. Setelah 15 menit, air dimasukkan. Lalu temperatur dinaikkan hingga 204°C selama 1 jam.
4. Mendinginkan produk gemuk yang dihasilkan dalam reaktor hingga temperatur ruang.
5. Setelah produk dingin dan dihasilkan produk gemuk Aluminium, lalu produk dimasukkan ke *mixer*.

6. Dalam *mixer*, produk digiling selama ± 2 kali untuk menghasilkan produk pelumas gemuk dengan ukuran partikel yang kecil dan homogen.

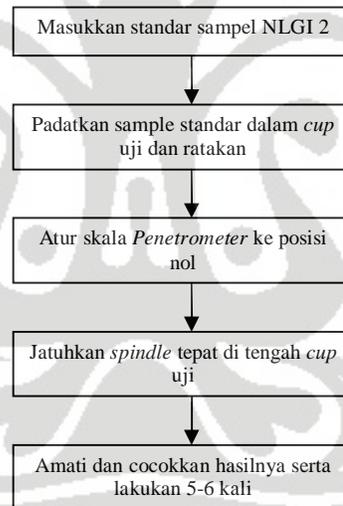
3.3.3 Pengujian Kualitas Gemuk

Pelumas gemuk Aluminium kompleks yang dihasilkan, lalu diuji untuk mengetahui kualitasnya. Beberapa pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu : *Penetration*, *Dropping point*, dan *Four Ball Test*.

3.3.3.1 *Penetration* (ASTM D-217)

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sifat konsistensi produk *grease* yang berkaitan dengan kekerasan *grease*. Alat yang digunakan yaitu *Penetrometer*. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian *Worked Penetration*.

Sebelum dilakukan pengujian, perlu dilakukan kalibrasi peralatan terlebih dahulu agar hasil pengujian yang dilakukan cukup akurat. Prosedur kalibrasi dilakukan sebagai berikut :



Gambar 3.3 Diagram Kalibrasi *Penetrometer*

Setelah dilakukan kalibrasi, maka dilakukan pengujian kualitas pelumas gemuk. Prosedur pengujian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut :

- a. *Cup* penguji dibersihkan
- b. *Grease* diaduk atau dikocok terlebih dahulu
- c. *Grease* diletakkan ke dalam wadah penguji berbentuk *cup*
- d. Ujung kerucut dari penetrometer dibiarkan menyentuh dan jatuh ke permukaan *grease*, lalu dibiarkan berpenetrasi ke dalam *grease* selama 5 detik.



- e. Nilai penetrasi, yaitu kedalaman masuknya penetrometer lalu dapat diketahui

3.3.3.2 *Dropping point* (ASTM D-566)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui temperatur kritis di mana struktur gel *grease* berubah fasa menjadi *liquid*. Peralatan yang digunakan terdiri atas termometer, *heated oil batch*, dan *cup* penguji. Prosedur pengujian *dropping point* yang dilakukan pada penelitian ini yaitu :

- *Cup* penguji dibersihkan
- *Grease* dimasukkan ke dalam *cup*, lalu dipadatkan ke dinding *cup* dengan menggunakan batangan pematik
- Termometer dimasukkan ke dalam *cup*, tetapi tidak menyentuh *grease* yang akan diuji.
- Masukkan perangkat tersebut ke dalam *heated oil batch* yang di dalamnya juga terpasang termometer
- Setelah semua peralatan terpasang, panaskan *batch* hingga temperaturnya naik secara perlahan-lahan hingga terjadi tetesan *grease*
- Mencatat temperatur yang ditunjukkan kedua termometer ketika terjadi tetesan pertama. Lalu temperatur tersebut dirata-ratakan.

3.3.3.3 *Four Ball Test* (D-4172)

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui performa *grease* dalam hal ketahanan aus. Prosedur pengujian yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Membersihkan mesin *four ball test* beserta bola yang digunakan dengan toluena, lalu dikeringkan
2. Menimbang berat bola
2. Meletakkan bola pada alat penguji. 3 bola diletakkan dibawah dan dipasang statis, sedangkan 1 bola diletakkan di atas ketiga bola lain dan dipasang pada bagian yang berputar.
3. Memasukkan *grease* pada tempat yang tersedia hingga bola terendam (± 2.5 ml)
4. Memasang beban dan bola diputar pada 1150 rpm.
5. Setelah 1 jam, berat bola ditimbang.

- Mengulangi percobaan pada beberapa nilai rpm dengan periode waktu istirahat selama 5 menit sebelum melakukan percobaan lagi.

3.3.4 Analisis kualitas produk

Hasil dari percobaan ini akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara komposisi bahan pengental dengan parameter uji, yaitu angka penetrasi, *dropping point*, dan jumlah keausan.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Keseluruhan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Dasar Proses Operasi Teknik, Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

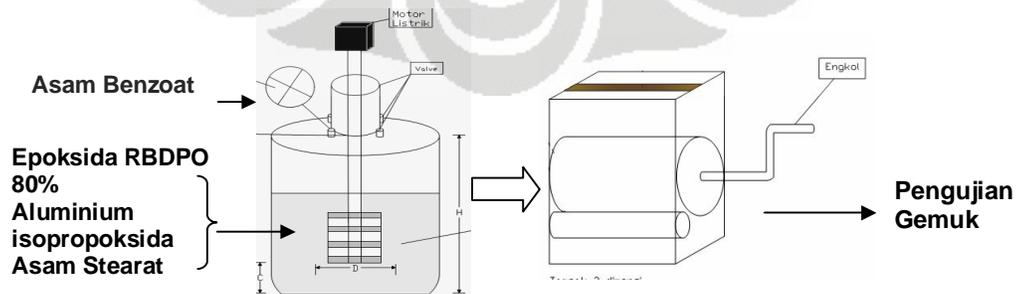
3.5 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam pembuatan gemuk bio Aluminium kompleks ini yaitu sebagai berikut :



Gambar 3.4 Alat Penelitian

3.6 Skema Alat Penelitian



Gambar 3.5 Skema Alat Penelitian



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan ditampilkan hasil pembuatan gemuk bio aluminium kompleks dan akan disampaikan hasil pengujian kualitas gemuk yang dihasilkan, yaitu pengujian penetrasi, *dropping point*, dan *four ball test* serta analisis pengaruh sabun aluminium kompleks, Al-stearat serta Al-benzoat terhadap hasil pengujian tersebut. Pada bab ini juga akan dibahas beberapa parameter proses yang mempengaruhi proses pembuatan gemuk bio aluminium kompleks.

4.1 Tampilan Fisik Gemuk Bio Aluminium Kompleks

Gemuk bio aluminium kompleks pada penelitian ini, dibuat pada dua variasi komposisi. Gemuk bio aluminium kompleks pertama kali dibuat pada variasi sabun kompleks, yaitu Al-stearat dan Al-benzoat pada rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat yang tetap sesuai dengan mol stoikiometrinya yaitu 2:1 atau 50% mol. Akan tetapi, pemvariasian sabun kompleks ini belum menghasilkan gemuk yang diinginkan sehingga dilakukan proses pembuatan gemuk dengan pemvariasian asam benzoat pada komposisi Al-stearat yang tetap yaitu 20%. Gemuk bio aluminium kompleks yang dihasilkan memiliki tampilan fisik seperti pada **Gambar 4.1** berikut:



(a)

- Sabun Al-stearat : 12%
- Warna : Kuning
- Tekstur : Encer



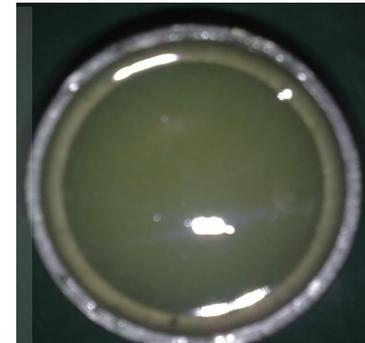
(b)

- Sabun Al-stearat : 14%
- Warna : Kuning
- Tekstur : Agak encer



(c)

- Sabun Al-stearat : 18%
- Warna : Putih kecoklatan
- Tekstur : Agak kental



(d)

- Sabun Al-stearat : 20%
- Warna : Putih kecoklatan
- Tekstur : Kental



(e)

- Complexing Agent : 0%
- Warna : Putih
- Tekstur : Lembut



(f)

- Complexing Agent : 0.5%
- Warna : Kuning kecoklatan
- Tekstur : *Stringly*



(g)

- Complexing Agent : 1%
- Warna : Kuning kecoklatan
- Tekstur : *Stringly*



(h)

- Complexing Agent : 2%
- Warna : Coklat
- Tekstur : *Rubbery*

Gambar 4.1 Tampilan Fisik Gemuk Bio Aluminium Komplek



Aroma

Gemuk bio Aluminium kompleks yang berhasil dibuat pada penelitian ini secara umum memiliki aroma minyak kelapa sawit seperti aroma *base oil* yang digunakan. Meskipun dalam pembuatan Epoksida RBDPO sebagai minyak dasarnya digunakan katalis berupa asam, gemuk yang dihasilkan tidak beraroma asam. Hal ini menandakan telah ternetralisasinya sisa asam pada gemuk yang dihasilkan.

Warna

Secara umum dari **Gambar 4.1** di atas dapat diketahui bahwa penambahan sabun kompleks (Al-stearat dan Al-benzoat) dari 12% hingga 20% maupun penambahan Asam Benzoat dari 0% hingga 2% akan menyebabkan warna gemuk yang dihasilkan cenderung berwarna kecoklatan.

Tekstur

Dari **Gambar 4.1** dapat diketahui bahwa penambahan Asam Benzoat dari komposisi 0 hingga 0.5% akan menyebabkan tekstur gemuk yang terbentuk berubah dari struktur yang lembut menjadi *stringly*. Tekstur gemuk ini menyatakan kemampuan ‘mulur’ gemuk ketika gemuk ditekan antara ibu jari dan jari keliling dan dilepaskan secara perlahan. Gemuk dengan tekstur yang lembut memiliki kemampuan mulur yang kurang dibandingkan dengan gemuk dengan tekstur *stringly*.

Berdasarkan teori, tekstur gemuk dipengaruhi oleh struktur matriks yang terbentuk. Dalam matriks gemuk, molekul-molekul sabun membentuk jaringan-jaringan berpori yang dapat memerangkap minyak (Stachowiak, 2005).

Pada gemuk tanpa pengompleks, jaringan berpori dalam matriks gemuk hanya terbentuk dari ikatan antarsabun Al-stearat sehingga dihasilkan gemuk yang berserat pendek.

Sedangkan pada gemuk dengan pengompleks, terdapat tiga jenis sabun yang mungkin terbentuk dalam proses sintesisnya. Ketiga jenis sabun ini memiliki panjang rantai yang berbeda yang akan menghasilkan *cross link* atau interaksi antarmolekul sabun yang beragam pada matriks gemuk. Interaksi yang terjadi ini lebih kuat dibandingkan dengan interaksi antarsabun pada gemuk tanpa pengompleks karena terdapatnya ikatan hidrogen pada interaksi ini. *Cross link* inilah yang mempengaruhi kemampuan ‘mulur’ gemuk sehingga dihasilkan struktur yang lebih kuat dan *stringly*.



Penambahan komposisi Asam benzoat lebih lanjut akan menyebabkan tekstur gemuk menjadi *rubbery*. Semakin banyak jumlah Asam benzoat, interaksi *cross link* yang dihasilkan akan semakin banyak dan rapat sehingga meningkatkan viskositas matriks gemuk. Gemuk dengan komposisi Asam benzoat 1% memiliki tekstur yang agak berbeda dengan apa yang telah dijelaskan sebelumnya. Tekstur gemuk 1% agak encer. Hal ini mungkin diakibatkan oleh temperatur operasi yang terlalu tinggi sehingga gemuk yang terbentuk encer.

Dari **Gambar 4.1 (a)** hingga **(d)** dapat diketahui bahwa gemuk yang dihasilkan dari pemvariasian sabun kompleks (Al-stearat dan Al-benzoat) dengan rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat yang tetap, yaitu 50% menghasilkan gemuk yang cenderung encer. Penyebab hal ini diduga karena rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat yang digunakan terlalu besar, yaitu 50%. Dugaan ini didasarkan dengan membandingkan hasil gemuk yang diperoleh pada **Gambar 4.1 (a)** hingga **(d)** dengan **Gambar 4.1 (e)** hingga **(h)**. Pada **Gambar 4.1 (e)** hingga **(h)**, dapat dilihat bahwa gemuk yang dihasilkan pada rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat yang rendah telah memiliki konsistensi yang semisolid, sementara pada rasio mol yang tinggi, gemuk yang dihasilkan encer.

Selain rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat yang digunakan, parameter operasi seperti kondisi tekanan dan temperatur yang terlalu tinggi dalam proses pembuatannya juga diduga menjadi penyebab encernya gemuk yang dihasilkan.

4.2 Hasil Pengujian Konsistensi Gemuk Bio Aluminium Kompleks

4.2.1 Pengaruh Jumlah Sabun Kompleks (Al-stearat dan Al-benzoat) Terhadap Konsistensi Gemuk Bio Aluminium Kompleks

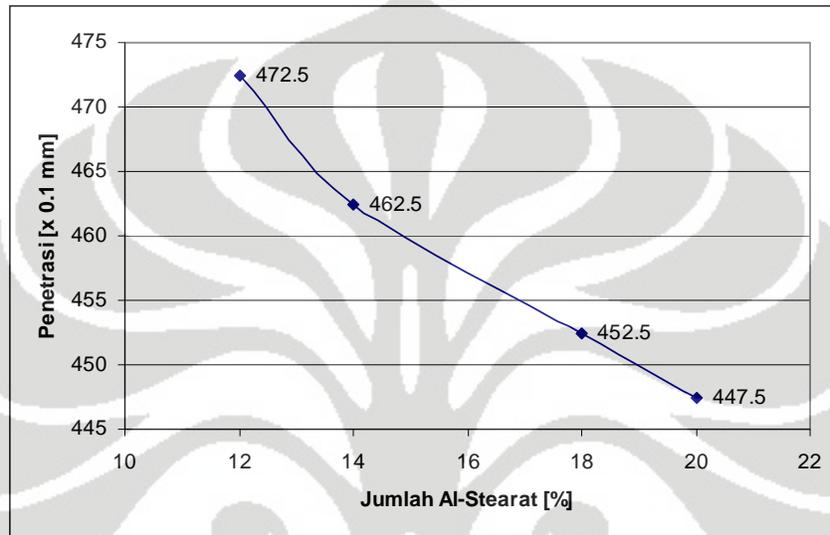
Konsistensi merupakan sifat yang menyatakan kekerasan gemuk dan dapat diketahui dengan pengujian penetrasi. Gemuk yang diuji merupakan gemuk yang dibuat pada variasi jumlah sabun kompleks dengan rasio mol Asam benzoat terhadap Asam stearat yang tetap yaitu 50%.

Hasil pengujian penetrasi gemuk yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Penetrasi pada Gemuk dengan Variasi Jumlah Sabun Kompleks

Jumlah Al-stearat (%)	Jumlah Asam Benzoat (%)	Penetrasi (x 0.1 mm)	NLGI
12	2.2	472.5	000
14	2.5	462.5	000
18	3.2	452.5	000
20	3.5	447.5	000

Data tersebut dapat disajikan dalam grafik sebagai berikut :

**Gambar 4.2** Pengaruh Jumlah Al-stearat terhadap Sifat Penetrasi Gemuk

Dari grafik ini dapat dilihat bahwa penambahan Al-stearat serta Al-benzoat akan menyebabkan nilai penetrasi semakin menurun atau dengan kata lain konsistensi gemuk akan semakin bertambah.

Semakin banyak jumlah Al-stearat dan Al-benzoat maka jumlah serat-serat sabun dalam matriks juga akan semakin banyak dan membentuk jaringan-jaringan yang semakin rapat sehingga akan terbentuk struktur yang lebih kuat dengan konsistensi yang semakin bertambah. Akibatnya, nilai penetrasi akan semakin kecil.

Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti lain yang menyatakan bahwa kekerasan atau konsistensi gemuk sangat bergantung pada strukturmikro dan dimensi sabun logamnya (Adhvaryu, 2004). Semakin meningkat konsentrasi sabun kompleks, maka struktur mikro akan semakin kuat serta semakin kecil dan rapat matriks yang terbentuk sehingga gemuk yang dihasilkan akan semakin keras seperti yang telah dijelaskan pada **subbab 2.1.3.2** mengenai bahan pengental (Delgado, 2006).

Hasil pengujian penetrasi ini menunjukkan bahwa penambahan sabun kompleks akan meningkatkan konsistensi, tetapi gemuk yang dihasilkan masih encer dan belum mendekati konsistensi gemuk umum, yaitu gemuk dengan NLGI 2. Untuk memperoleh gemuk dengan NLGI 2 dengan variasi ini, dibutuhkan penambahan sabun kompleks yang cukup banyak.

4.2.2 Pengaruh Jumlah Asam Benzoat Terhadap Konsistensi Gemuk Bio Aluminium Kompleks

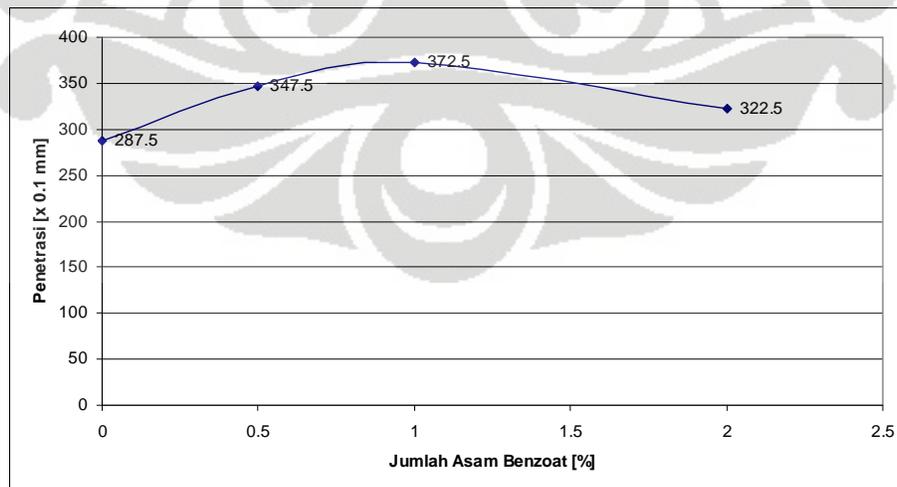
Data sebelumnya menunjukkan bahwa konsistensi gemuk yang dihasilkan pada rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat, 50% belum memberikan konsistensi yang diinginkan. Oleh karena itu, selanjutnya dilakukan pembuatan gemuk bio aluminium pada rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat yang rendah.

Gemuk yang diperoleh pada pemvariasian rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat ini juga diuji sifat konsistensinya. Hasil uji penetrasi gemuk dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Penetrasi pada Gemuk dengan Variasi Asam Benzoat

Jumlah Asam Benzoat (%)	Penetrasi (x 0.1 mm)	NLGI
0	287.5	2
0.5	347.5	1
1	372.5	0
2	322.5	1

Data di atas dapat disajikan dalam grafik sebagai berikut :



Gambar 4.3 Pengaruh Jumlah Asam Benzoat terhadap Sifat Penetrasi Gemuk



Dari data di atas dapat dilihat bahwa pada penelitian ini telah berhasil dibuat gemuk bio aluminium yang memiliki angka NLGI 2, yaitu pada komposisi pengompleks 0% atau tanpa menggunakan pengompleks.

Grafik di atas menunjukkan bahwa peningkatan Asam Benzoat menyebabkan peningkatan angka penetrasi yang berarti bahwa gemuk yang dihasilkan semakin lembek atau semakin bersifat semifluida. Akan tetapi, pada komposisi Asam Benzoat mencapai 1%, nilai penetrasi semakin menurun dengan peningkatan komposisi Asam Benzoat.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa terdapat penyimpangan dari teori yang telah dijelaskan sebelumnya. Berdasarkan teori, semakin banyak Asam Benzoat, jumlah sabun Al-benzoat stearat, Al-distearat dan Al-dibenzoat yang terbentuk juga akan semakin banyak. Hal ini mengakibatkan interaksi yang terjadi antarmolekul sabun juga akan semakin banyak dan membentuk jaringan-jaringan yang kompleks sehingga terbentuk struktur matriks gemuk yang semakin kuat dan rapat. Struktur gemuk seperti ini berakibat pada peningkatan konsistensi gemuk.

Dari grafik ini dapat dilihat bahwa penambahan Asam Benzoat pada gemuk aluminium kompleks meskipun hanya sedikit, akan menyebabkan konsistensi gemuk menurun. Dengan kata lain, penambahan asam benzoat menyebabkan gemuk yang terbentuk menjadi encer. Gemuk aluminium tanpa kompleks yang dihasilkan telah memiliki NLGI 2, yaitu konsistensi gemuk yang digunakan secara luas. Akan tetapi, penambahan 0.5% mol Asam Benzoat menyebabkan gemuk yang dihasilkan menjadi memiliki NLGI 1.

4.3 Hasil Pengujian *Dropping Point* Gemuk Bio Aluminium Kompleks

4.3.1 Pengaruh Jumlah Sabun Kompleks (Al-stearat dan Al-benzoat) Terhadap *Dropping Point* Gemuk Bio Aluminium Kompleks

Dropping point merupakan temperatur kritis di mana struktur gel pada gemuk mulai mengalami perubahan fasa menjadi cair. *Dropping point* menggambarkan temperatur tertinggi dimana gemuk dapat mempertahankan strukturnya (Landsdown, 1982). Ketika mencapai *dropping point*, struktur gemuk akan rusak sehingga tidak dapat memerangkap *base oil* didalam matriksnya lagi. Atau dengan kata lain, sabun kompleks mengalami perubahan fasa menjadi cair.

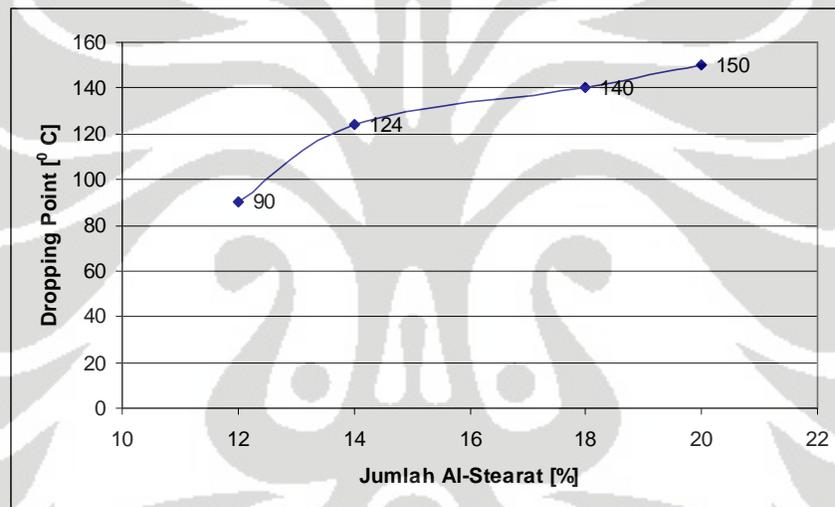
Perubahan fasa ini terjadi ketika ikatan antara logam alkali aluminium isopropoksida dengan asam stearat menjadi rusak akibat temperatur yang terlalu tinggi.

Nilai *dropping point* gemuk yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3 Nilai *DroppingPoint* Gemuk pada Variasi Sabun Kompleks

Jumlah Al-stearat (%)	Jumlah Asam Benzoat (%)	Dropping point ($^{\circ}\text{C}$)
12	2.2	90
14	2.5	124
18	3.2	140
20	3.5	150

Data di atas, dapat disajikan dalam grafik berikut :



Gambar 4.4 Pengaruh Jumlah Al-stearat terhadap Nilai *Dropping Point*

Data di atas menunjukkan bahwa gemuk bio aluminium kompleks yang dihasilkan dengan variasi sabun kompleks telah berhasil memiliki *dropping point* di atas gemuk aluminium konvensional yang bernilai 90°C . Dari grafik di atas, juga dapat diketahui bahwa nilai *dropping point* gemuk akan semakin meningkat dengan peningkatan jumlah Al-stearat dan Al-benzoat.

Peningkatan *dropping point* yang seiring dengan peningkatan komposisi Al-stearat ini berkaitan erat dengan struktur matriks gemuk. Peningkatan jumlah Al-stearat akan menyebabkan jaringan yang terbentuk melalui interaksi antarmolekul sabun dalam matriks gemuk menjadi lebih banyak dan lebih rapat sehingga ikatan antarmolekul sabunya menjadi lebih kuat. Semakin kuat ikatan antar molekul

sabunnya, dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskan ikatan yang terjadi sehingga nilai *dropping point*-nya juga semakin tinggi.

Nilai *dropping point* yang dihasilkan dengan pemvariasian jumlah sabun kompleks belum memberikan nilai yang tinggi seperti gemuk aluminium kompleks komersil. Hal ini disebabkan oleh konsistensi gemuk yang dihasilkan masih encer. Nilai *dropping point* tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu 150°C pada komposisi Al-stearat 20%. Akan tetapi dari tren yang terlihat, jika komposisi sabun kompleks ditingkatkan, nilai *dropping point* masih bisa meningkat.

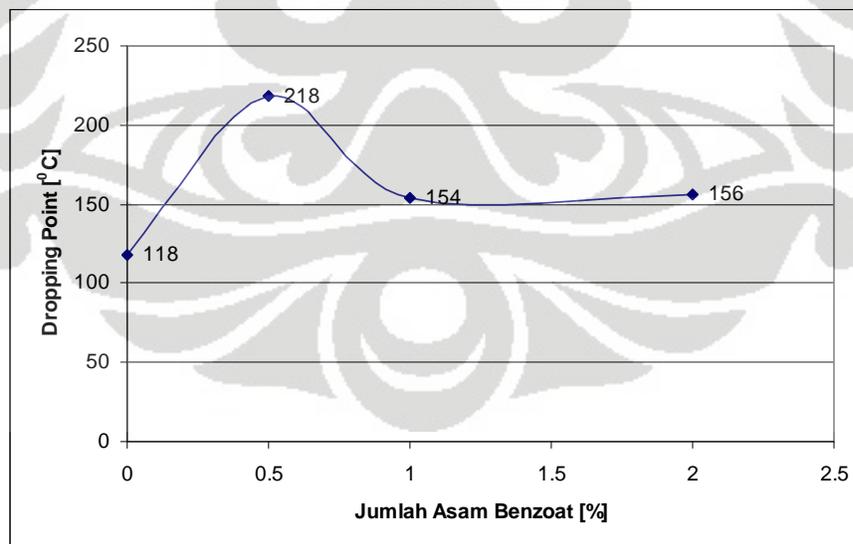
4.3.2 Pengaruh Jumlah Asam Benzoat Terhadap Dropping Point Gemuk Bio Aluminium Kompleks

Hasil pengujian nilai *dropping point* terhadap gemuk yang dihasilkan pada variasi asam benzoat dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.4 Nilai *Dropping Point* Gemuk pada Variasi Asam benzoat

Jumlah Asam Benzoat (%)	Dropping point (°C)
0	118
0.5	218
1	128
2	156

Data di atas dapat disajikan dalam grafik berikut :



Gambar 4.5 Pengaruh Jumlah Asam Benzoat terhadap *Dropping Point* Gemuk

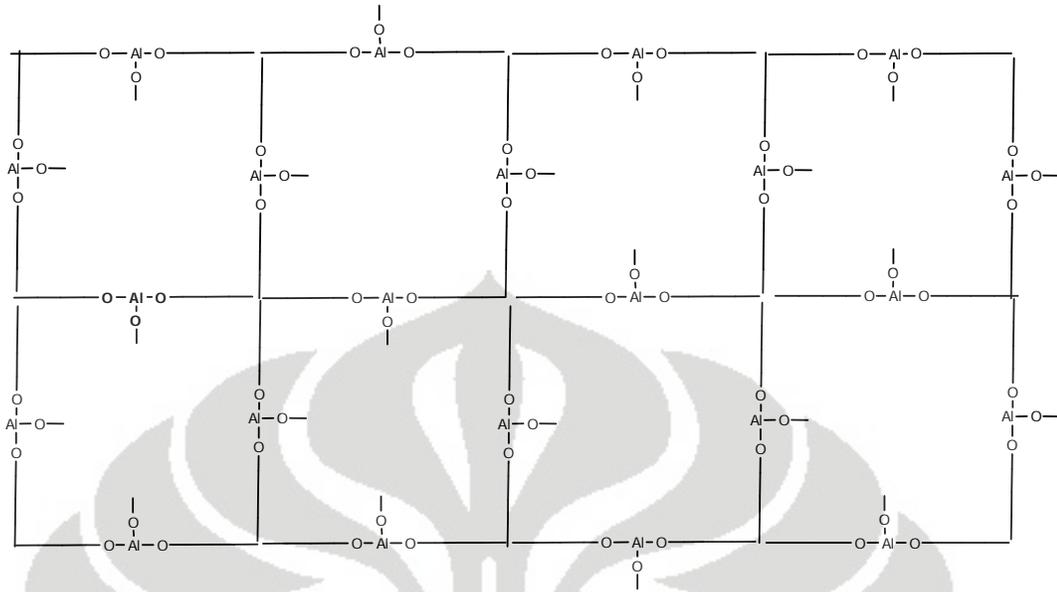


Data di atas menunjukkan bahwa penambahan Asam benzoat sebagai agen pengompleks telah berhasil membuat gemuk bio aluminium kompleks yang memiliki nilai *dropping point* di atas 200⁰C, yaitu 218⁰C pada komposisi Asam benzoat sebesar 0.5 %.

Dari grafik di atas, juga dapat diketahui bahwa efek keberadaan Asam benzoat pada jumlah Al-stearat yang sama memberikan kecenderungan yang sama dengan efek komposisi Al-stearat terhadap nilai *dropping point*. Penambahan jumlah Asam Benzoat juga menyebabkan peningkatan *dropping point*. Peningkatan ini terus terjadi hingga jumlah Asam benzoat 0.5%. Setelah itu, penambahan Asam Benzoat lebih lanjut akan menyebabkan penurunan nilai *dropping point*.

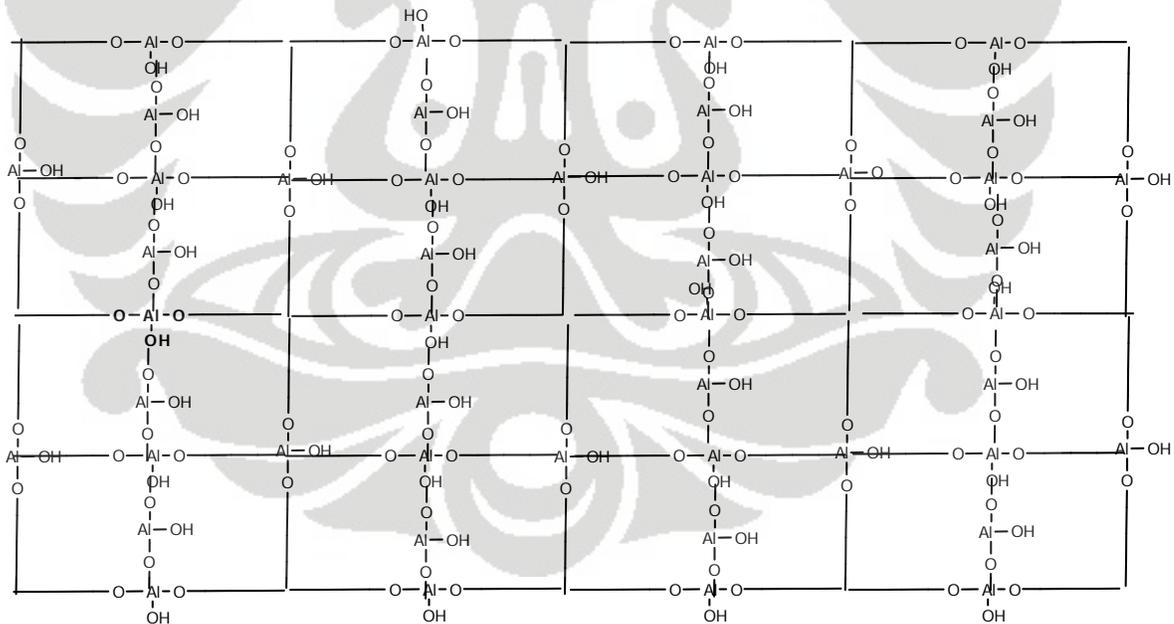
Peningkatan jumlah Asam benzoat akan meningkatkan jumlah sabun Al-benzoat stearat, Al-distearat dan Al-dibenzoat yang terbentuk sehingga jumlah interaksi serta *cross link* yang terjadi antara molekul sabun akan semakin kompleks dan kuat seperti yang terlihat pada **Gambar 4.7**. Interaksi antar molekul sabun yang kuat ini akan membentuk struktur matriks gemuk yang kuat sehingga dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskan ikatannya. Oleh karena itu, nilai *dropping point*nya juga semakin meningkat.

Hal ini berbeda dengan gemuk bio aluminium tanpa kompleks di mana hanya terbentuk satu jenis sabun sehingga matriks gemuk hanya tersusun dari interaksi *cross link* antar satu jenis sabun. Sebagai ilustrasi struktur gemuk bio aluminium tanpa pengompleks dapat dilihat pada **Gambar 4.6** berikut :



Gambar 4.6 Ilustrasi Struktur Matriks Gemuk Bio Aluminium tanpa Kompleks

Sedangkan ilustrasi struktur matriks yang terbentuk pada gemuk bio aluminium kompleks dapat dilihat pada gambar berikut ini :



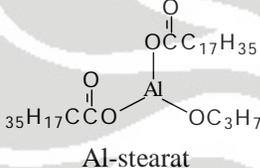
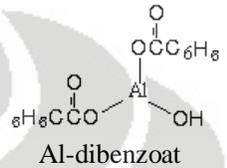
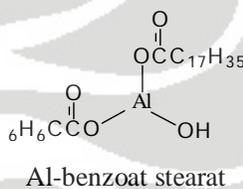
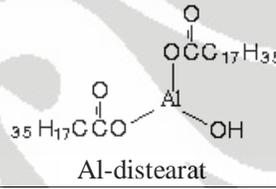
Gambar 4.7 Struktur Matriks Gemuk Bio Aluminium Kompleks

Dari grafik di atas juga terlihat bahwa penambahan Asam benzoat dapat meningkatkan nilai *dropping point* dari gemuk aluminium tanpa kompleks. Selain

disebabkan oleh kekomplekan strukturnya, hal ini juga dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antarmolekul sabunya.

Kekuatan ikatan antarmolekul sabun ini dapat diidentifikasi dari struktur sabun yang terbentuk dari reaksi saponifikasinya. Perbandingan struktur sabun yang terbentuk dalam pembuatan gemuk yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.5 Perbandingan Struktur Sabun Aluminium Kompleks dan Tanpa Kompleks

Sabun Aluminium Tanpa Kompleks	Sabun Aluminium dengan Kompleks
 <p>Al-stearat</p>	 <p>Al-dibenzoat</p>
	 <p>Al-benzoat stearat</p>
	 <p>Al-distearat</p>

(Sumber : Polishuk, 1971)

Dari perbandingan struktur tersebut dapat dilihat bahwa pada molekul sabun aluminium kompleks terdapat gugus -OH yang dapat menghasilkan ikatan hidrogen antarmolekul sabunya sehingga akan membentuk ikatan yang lebih kuat daripada molekul sabun aluminium tanpa kompleks yang tidak memiliki ikatan hidrogen. Oleh karena itu, energi yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan intermolekular dalam gemuk aluminium kompleks akan lebih besar daripada gemuk aluminium tanpa kompleks.

Akan tetapi, pada grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa nilai *dropping point* tidak selalu meningkat seiring dengan kenaikan jumlah Asam benzoat. *Dropping point* optimum diperoleh pada komposisi Asam benzoat 0.5%. Penurunan *dropping point* ini mungkin dipengaruhi oleh konsistensi gemuk yang dihasilkan pada jumlah Asam benzoat 1% dan 2% yang lebih encer dibanding gemuk pada komposisi Asam benzoat 0.5%. Hal ini mungkin dipengaruhi oleh kondisi operasi



pada proses sintesisnya. Berikut merupakan kondisi operasi yang terjadi selama proses pembuatan gemuk :

Tabel 4.6 Kondisi Operasi Proses Pembuatan Gemuk Bio Aluminium Kompleks

No	Jumlah Asam Benzoat	Temperatur Maksimum ($^{\circ}\text{C}$)	Tekanan (bar)
1	0	180	0.5
2	0.5	204	1
3	1	250	3
4	2	220	2.5

Dari tabel di atas, terlihat bahwa temperatur operasi maksimum serta tekanan operasi dalam proses pembuatan gemuk dengan komposisi Asam benzoat 1% dan 2% lebih tinggi dibandingkan dengan 0.5% sehingga gemuk yang dihasilkan lebih encer.

Dari hasil pengujian penetrasi serta *dropping point* dapat dilihat bahwa penambahan Asam benzoat akan menurunkan angka penetrasi, tetapi dapat meningkatkan nilai *dropping point*. Selain itu, dari pengujian penetrasi gemuk dengan variasi sabun kompleks juga diketahui bahwa penambahan sabun Al-stearat akan meningkatkan konsistensi. Oleh karena itu untuk memperoleh gemuk dengan nilai NLGI 2 serta *dropping point* tinggi, dapat dilakukan peningkatan jumlah sabun Al-stearat pada rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat 0.5% mol.

4.4 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Gemuk Bio Aluminium Kompleks

4.4.1 Pengaruh Jumlah Sabun Kompleks (Al-stearat dan Al-benzoat) Terhadap Ketahanan Aus Gemuk Bio Aluminium Kompleks

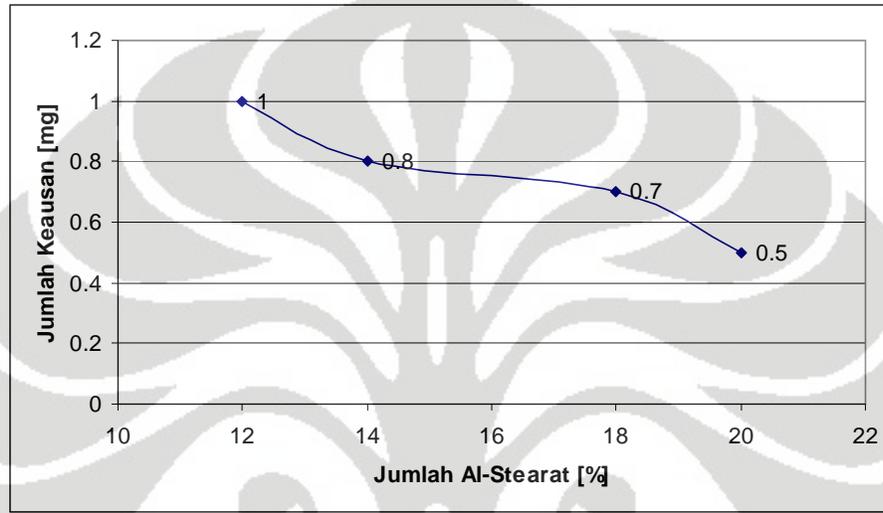
Ketahanan aus dilakukan untuk mengetahui kemampuan gemuk yang dihasilkan untuk memberikan perlindungan dari friksi. Pengujian ketahanan aus ini dapat dilakukan dengan *four ball test*. Pada pengujian *four ball* ini dilakukan pengukuran massa bola baja yang hilang selama terjadi friksi (jumlah keausan). Semakin kecil massa bola yang hilang yang menggambarkan tingkat keausan bola, semakin baik sifat ketahanan aus gemuk.

Pengujian *four ball test* ini dilakukan pada 1150 rpm selama 1 jam. Hasil pengujian *four ball test* dari gemuk yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Four Ball* Pada Gemuk dengan Variasi Sabun Kompleks

Jumlah Al-stearat (%)	Jumlah Asam Benzoat (%)	Jumlah Keausan (mg)
12	2.2	1.0
14	2.5	0.8
18	3.2	0.7
20	3.5	0.5

Dari data tersebut dapat dibuat grafik sebagai berikut:

**Gambar 4.8** Pengaruh Jumlah Al-stearat terhadap Jumlah Keausan

Grafik di atas menunjukkan kecenderungan yang menurun. Seiring dengan penambahan Al-stearat dan Al-benzoat, massa bola yang hilang akibat friksi akan semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya ikatan antar molekul sabun seiring dengan peningkatan jumlah Asam benzoat sehingga akan memberikan lapisan film yang lebih tebal pada permukaan bola-bola baja yang melindunginya dari friksi atau keausan. Dengan kata lain, penambahan sabun kompleks akan meningkatkan ketahanan aus gemuk bio aluminium kompleks yang dihasilkan.

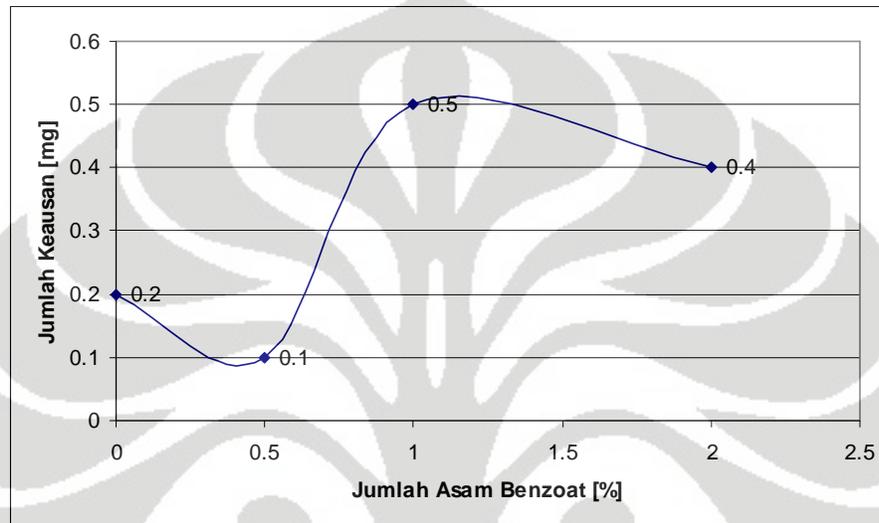
4.4.2 Pengaruh Jumlah Asam Benzoat Terhadap Ketahanan Aus Gemuk Bio Aluminium Kompleks

Pengujian *four ball test* ini dilakukan pada 1150 rpm selama 1 jam. Hasil pengujian *four ball test* dari gemuk yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.8 Hasil Pengujian *Four Ball* Pada Gemuk dengan Variasi Asam Benzoat

Jumlah Asam Benzoat (%)	Jumlah Keausan (mg)
0	0.2
0.5	0.1
1	0.5
2	0.4

Data di atas dapat disajikan dalam grafik berikut:



Gambar 4.9 Pengaruh Jumlah Asam Benzoat terhadap Jumlah Keausan

Dari grafik terlihat bahwa penambahan Asam Benzoat pada gemuk bio aluminium biasa akan meningkatkan sifat ketahanan ausnya. Berdasarkan teori, penambahan Asam benzoat akan menyebabkan struktur matriks gemuk menjadi lebih kuat karena interaksi *cross link* yang kuat antar molekul sabunya sehingga gemuk aluminium kompleks akan dapat memberikan lapisan film yang cukup untuk melindungi bola baja dari friksi. Selain itu, interaksi yang kuat ini akan meningkatkan kelengkatan gemuk pada permukaan logam bola baja sehingga gemuk dapat memberikan fungsi pelumasan yang baik.

Akan tetapi, dari hasil penelitian diperoleh ketidaksesuaian dengan teori tersebut di mana gemuk dengan komposisi *complexing agent* 1% dan 2% memberikan sifat ketahanan aus yang lebih buruk daripada gemuk dengan Asam benzoat 0.5% ataupun gemuk tanpa kompleks. Hal ini mungkin karena gemuk yang terbentuk kurang sempurna karena pengaruh ketidakstabilan parameter proses dalam pembuatannya.



Dari grafik di atas juga dapat diketahui bahwa sifat ketahanan aus gemuk bio aluminium kompleks yang paling baik, diperoleh pada rasio mol asam benzoat terhadap asam stearat sebesar 0.5%. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian *dropping point* yang telah disampaikan sebelumnya di mana nilai *dropping point* mencapai optimum pada komposisi yang sama. Akan tetapi pada komposisi tersebut, konsistensi gemuk masih agak encer dengan nomor NLGI 1.

Dari hasil pengujian dan tren data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa untuk membuat gemuk NLGI 2 dengan kualitas *dropping point* dan ketahanan aus yang baik dapat dilakukan dengan membuat gemuk pada komposisi rasio asam benzoat terhadap asam stearat 0.5% mol dengan melakukan penambahan jumlah sabun Al-stearat yang jumlahnya lebih dari 20%.

4.5 Parameter Proses yang Mempengaruhi Proses Sintesis Gemuk Bio Aluminium Kompleks *Food Grade*

Dari hasil gemuk yang terbentuk dalam penelitian ini seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1** dapat diketahui bahwa parameter proses juga mempengaruhi keberhasilan dalam pembuatan gemuk. Beberapa parameter proses yang mempengaruhi pembuatan gemuk bio aluminium kompleks antara lain temperatur dan tekanan.

4.5.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Kualitas Gemuk Bio Aluminium Kompleks

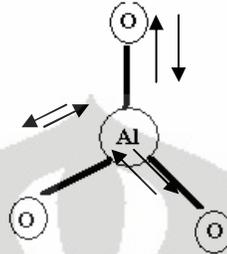
Dari proses sintesis gemuk bio aluminium yang dilakukan, dapat diketahui bahwa temperatur sangat mempengaruhi proses sintesis gemuk bio aluminium. **Tabel 4.9** berikut merupakan hasil yang diperoleh selama proses sintesis gemuk bio aluminium :

Tabel 4.9 Efek Temperatur terhadap Struktur Gemuk

No	Temperatur	Struktur
1	$> 180^{\circ}\text{C}$	Encer
2	$180^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$	Lembut
3	$< 100^{\circ}\text{C}$	Padat, seperti bongkahan-bongkahan

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa temperatur yang terlalu tinggi, yaitu di atas 180°C akan menyebabkan produk gemuk yang dihasilkan cenderung encer. Hal ini disebabkan ikatan antara aluminium isopropoksida dan asam stearat

yang sudah terbentuk selama proses saponifikasi menjadi rusak. Setiap ikatan kimia memiliki frekuensi osilasi alami di mana atom-atom bergerak mendekat dan menjauh satu sama lain.



Gambar 4.10 Ilustrasi Gerakan Atom pada Ikatan Kimia Aluminium Stearat

Frekuensi osilasi ini dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur, energi kinetik atom-atom yang berikatan semakin tinggi sehingga frekuensi osilasi semakin besar. Frekuensi osilasi yang besar ini dapat menyebabkan rusaknya ikatan kimia yang terbentuk (Conrad, 2001). Rusaknya ikatan tersebut menyebabkan tidak terbentuknya struktur matriks lemak sehingga *base oil* tidak dapat terperangkap di dalamnya. Akibatnya produk yang terbentuk merupakan produk yang encer.

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa temperatur yang paling ideal dalam proses sintesis lemak bio aluminium kompleks yaitu antara 100 hingga 180⁰C.

4.5.2 Pengaruh Tekanan Terhadap Kualitas Lemak Bio Aluminium Kompleks

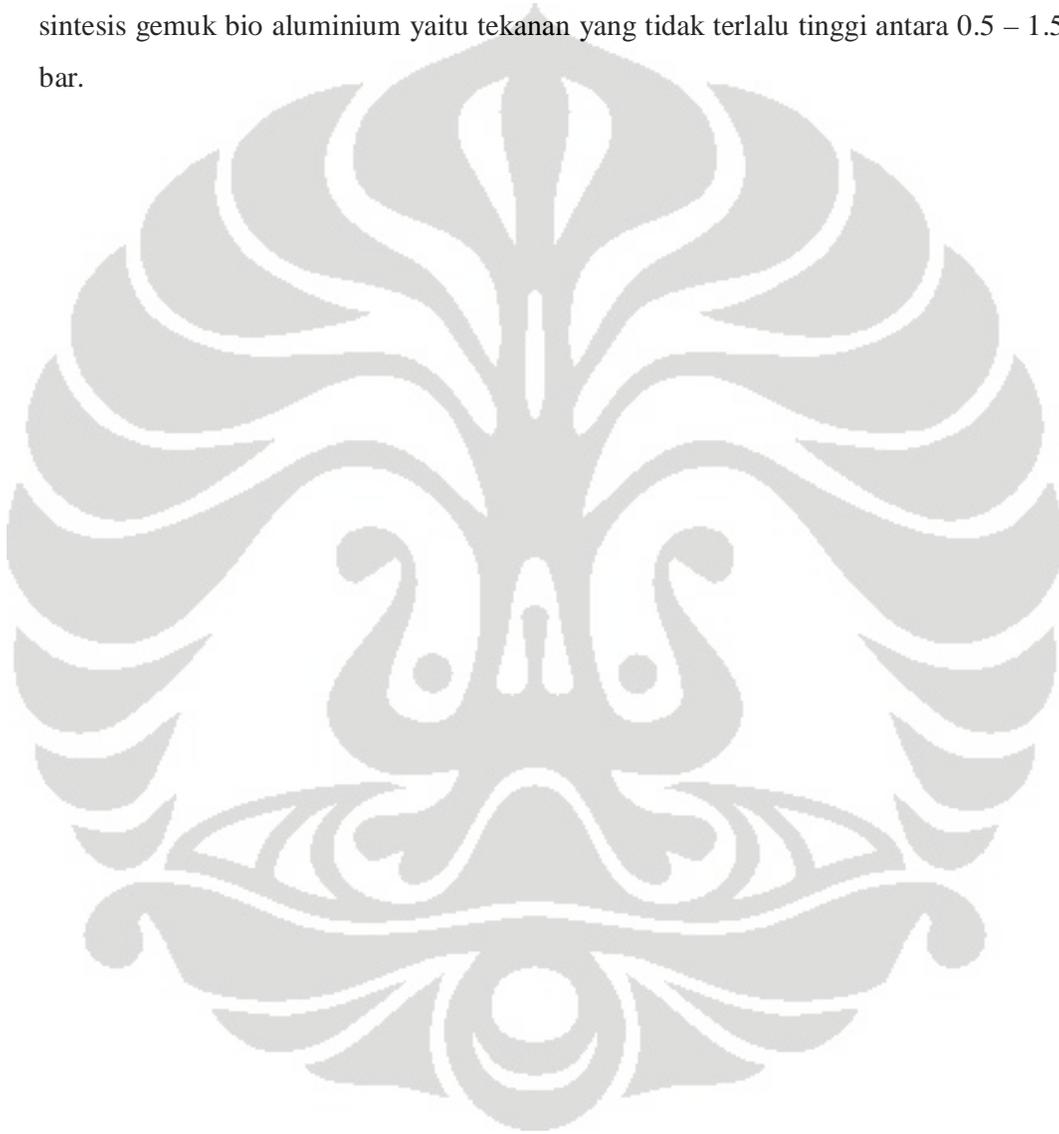
Faktor lain yang juga berpengaruh dalam proses pembentukan lemak bio aluminium yaitu tekanan. Selama proses sintesis lemak, terjadi reaksi saponifikasi yang menghasilkan sabun Al-stearat serta produk samping berupa isopropil alkohol. Di dalam reaktor, isopropil alkohol berada dalam kesetimbangan uap-cair. Peningkatan tekanan akan menyebabkan pergeseran kesetimbangan isopropil alkohol sehingga kebanyakan isopropil alkohol akan berada dalam fasa cair yang akan melarutkan molekul sabun yang terbentuk sehingga produk yang dihasilkan encer.

Selama proses sintesis lemak bio aluminium, dapat disimpulkan pengaruh tekanan terhadap struktur lemak yang terbentuk sebagai berikut :

**Tabel 4.10** Efek tekanan Terhadap Struktur Gemuk

No	Tekanan	Struktur Gemuk
1	0 bar (tidak ada tekanan)	Padat, seperti bongkahan-bongkahan
2	0.5 bar- 1.5 bar	Lembut
3	> 1.5 bar	Encer

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa tekanan yang ideal untuk proses sintesis gemuk bio aluminium yaitu tekanan yang tidak terlalu tinggi antara 0.5 – 1.5 bar.





BAB 5 KESIMPULAN

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

1. Gemuk Bio Aluminium kompleks yang dibuat dari minyak dasar Epoksida RBDPO (*Refined Bleached Deodorized Palm Oil*) memiliki daya lengket yang baik dengan jumlah keausan yang rendah yaitu 0.1 mg.
2. Semakin banyak jumlah sabun kompleks (Al-Stearat dan Al-Benzoat), semakin tinggi angka penetrasi, nilai *dropping point* serta sifat ketahanan aus gemuk.
3. Penambahan Asam Benzoat dalam pembuatan gemuk bio aluminium kompleks akan menurunkan angka penetrasi gemuk serta meningkatkan nilai *dropping point*.
4. Gemuk terbaik dari penelitian ini memiliki *dropping point* 218⁰C, jumlah keausan 0.1 mg dengan kondisi operasi pada 180⁰C dan tekanan 1.5 bar diperoleh pada komposisi *base oil* 80%wt, *thickener* 20%wt dengan persen mol asam benzoat terhadap asam stearat dalam sabun kompleks sebesar 0.5%.



DAFTAR PUSTAKA

- Adhvaryu, Atanu., Erhan, Sevim Z., & Perez, Joseph M. (2004). Preparation of Soybean Oil-Based Greases : Effect of Composition and Structure on Physical Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52.
- Alexander, A. E., & Gray, V. R. *Aluminium Soaps, their Nature and Gelling Properties*. Ed. Royal Society. 1950. 6 Jan. 1950 <<http://www.jstor.org>>
- Aluminium Alcoholate*. Mei 28, 2008. <http://www.wikipedia.com>
- Aluminium Hidroksida*. Mei 28, 2008. <http://www.wikipedia.com>
- Aluminium Isopropoxide*. Mei 28, 2008. <http://www.wikipedia.com>
- Benzoic Acid*. Mei 28, 2008. <http://www.wikipedia.com>
- Caines, A., & Haycock, R. (1996). *Automotive Lubricants Reference Book*. United States: United Society of Automotive Engineer, Inc.
- Chtourou, M., Trabelsi, M., & Frikha, M.H. (2004). Utilization of Olive Oil in the Formulation of Lubricating Calcium Greases. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 81.
- Coleman, R. L., Witte Jr., Arnold C., & Stone, A. L. (1979). Process for Manufacturing Aluminum Complex Soap Thickened Grease. *United States Patent 4132658*.
- Cowan, S. (2007, Juli). Grease Industry Trends. *Machinery Lubrication Magazine*.
- Delgado, M. A., Valencia, C., Sa´nchez, M. C., Franco, J. M., & Gallegos, C. (2006). Influence of Soap Concentration and Oil Viscosity on the Rheology and Microstructure of Lubricating Greases. *American Chemical Society*, 45.
- Drake, D. A., & Wulfers, T. F. (1992). Environmentally Friendly Grease Compositions. *United States Patent 5154840*.
- Fenjerry, Y. (2006). *Pembuatan dan Karakterisasi EPOME Gliserol dan EPOME Monoalkohol Sebagai Pelumas Foodgrade*. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Gangule, N. G., & Dwivedi, M. C. (2006). Total vegetable oil greases. *Journal of Synthetic Lubrication*. 17, 333-349.
- Gunstone, F. (2007). Market Update: Palm Oil. *International News on Fats, Oils and Related Materials*, 835-836.



- Herguth, Bill. (2002, March). Grease Analysis: Monitoring Grease Serviceability and Bearing Condition. *Practicing Oil Analysis*, 18-25.
- Hotten, B. W., Orinda, Echols, Robert E., El Carlito, & Calif. (1956). Complex Basic Aluminium Soap Grease. *United States Patent 2768138*.
- Houlton, H. G., Miller, B. D., Lenton, F. A., Taylor, J. A., & Adams, B. E. (1944). Continuous Lithium and Aluminium Stearat Grease Manufacture. *Journal of Oil and Soap*, 258-263.
- Stuart, James A., WI, Harland., Wallace, Douglas A., IL, & Mount Prospect. (2002). Lubricating Grease Composition. *United States Patent 6429175*.
- Kolates. Mei 28, 2008. <http://www.kolate.com>
- Landsdown, A. R. (1982). *Lubrication A Practical Guide to Lubricant Selection*. United Kingdom : Pergamon Press.
- Lubrications Engineer, Inc. (1997). LE's Aluminum Complex Grease An Excellent Multi-Functional Lubricant. *Leaders In Lubricants*, 89.
- Mang, Theo, & Wilfried, Dresel. (2007). *Lubricants and Lubrication*. Willey : Germany.
- Marius. (2007). *Pembuatan Grease Calcium dan Grease Lithium Berbahan Dasar EPOME Gliserol*. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Material safety data sheet Aluminium Isopropoxide MSDS. Mei 3, 2008. <http://sciencelab.com>
- Militec-1. Mei 10, 2008. <http://www.militec-1.com>
- NIIR Board. (2003). Modern Technology of Petroleum, Greases, Lubricants & Petro Chemicals. *National Institute of Industrial Research*.
- Noodle Processing Plant. Juni 23, 2008. <http://www.kosain.com>
- Phipps, K. M. (2007, April). 20 Minutes With Hank Kruschwitz. *Tribology & Lubrication Technology*, 16-19.
- Polishuk, A. T. (1971). Aluminium Complex Soap Grease. *United States Patent 3591505*.
- Rush, R. E. (1997). A Review of the More Common Standard Grease Tests in Use Today. *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, 17-26.

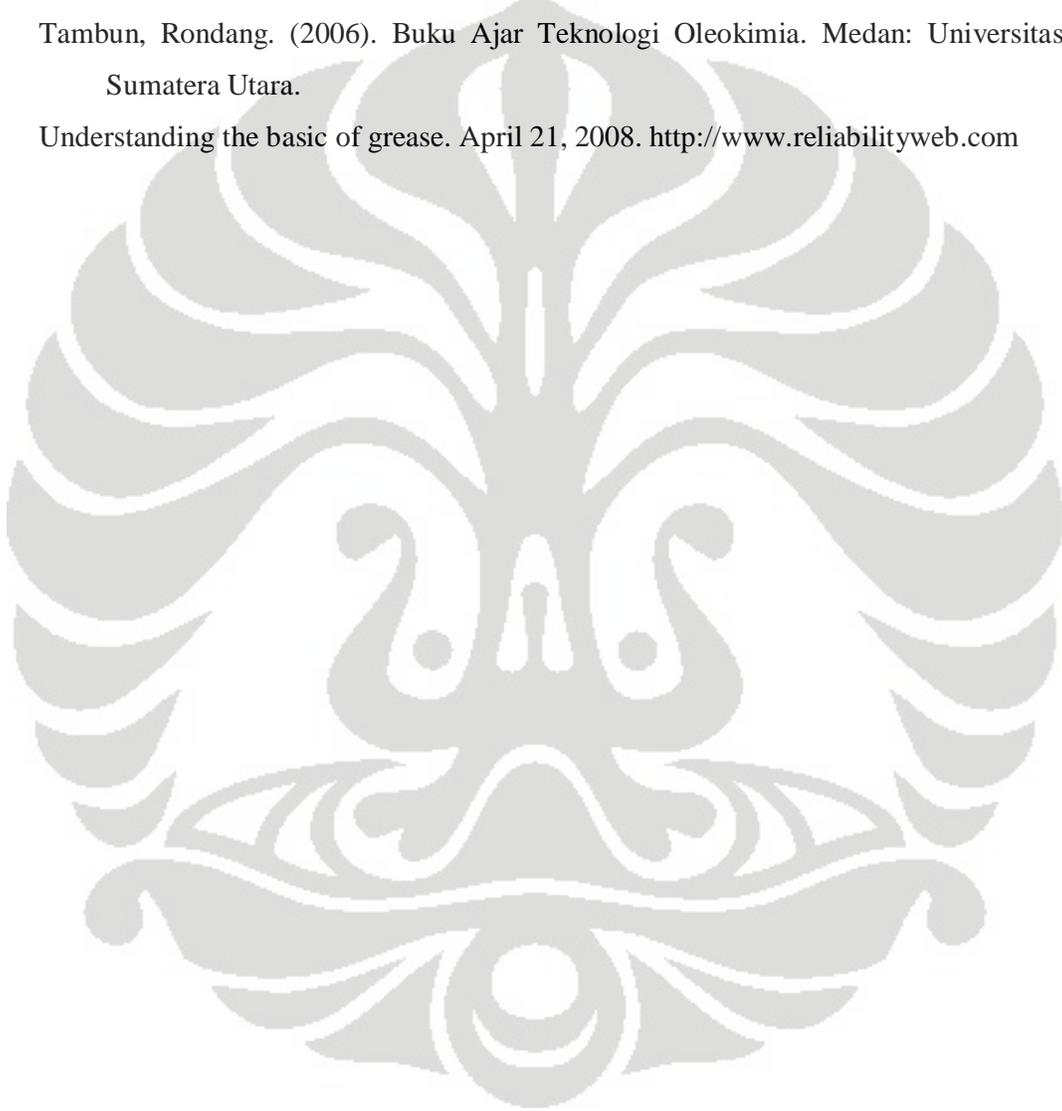


Sharma, Brajendra K., Adhvaryu, Atanu., Perez , Joseph M., & Erhan, Sevim Z. (2005). Soybean Oil Based Greases: Influence of Composition on Thermo-oxidative and Tribochemical Behavior. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53.

Stachowiak, Gwidon W., & Batchelor, Andrew W. (2005). *Engineering Tribology. Stearic Acid*. Mei 28, 2008. <http://www.wikipedia.com>

Tambun, Rondang. (2006). *Buku Ajar Teknologi Oleokimia*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Understanding the basic of grease. April 21, 2008. <http://www.reliabilityweb.com>



Lampiran 1. Lanjutan

Mr aluminium isopropoksida = 204 gr/gmol

Sehingga, mol sabun dapat diperoleh :

$$\text{mol sabun} = \frac{\text{berat sabun}}{\text{Mr Sabun}} = \frac{120\text{gr}}{652\text{gr/gmol}} = 0.184\text{gmol}$$

Berdasarkan reaksi stoikiometri pembentukan *thickening agent* di atas, dapat dihitung :

- mol asam stearat = 2 x mol sabun = 2 x 0.184 = 0.3681 gmol
- mol aluminium isopropoksida = mol sabun = 0.184 gmol
- mol aluminium = mol aluminium isopropoksida = 0.184 mol
- mol aluminium yang digunakan = mol aluminium bereaksi + 20% ekse aluminium
= 0.184 + (0.2 x 0.184)
= 0.2208 gmol
- mol asam benzoat = 0.5 x mol asam stearat = 0.5 x 0.3681 = 0.184 gmol

Dari nilai mol di atas, dapat dihitung berat bahan yang digunakan dengan persamaan:

$$\boxed{\text{beratA} = \text{molA} \times \text{MrA}}$$

- berat asam benzoat = 0.184 x 123 = 22.632 gr
- berat asam stearat = 0.3681 x 284 = 104.5404 gr
- berat aluminium isopropoksida = 0.06682 x 204 = 45.0432 gr

Penentuan komposisi bahan yang digunakan pada komposisi sabun aluminium kompleks (bahan pengental) 14%, 18%, dan 20% dilakukan dengan cara yang sama dan diperoleh hasil seperti yang disajikan dalam tabel pada bagian metode penelitian.

B. Komposisi Gemuk dengan Variasi *Complexing Agent* Pada Jumlah *Thickening Agent* Tetap

Perhitungan komposisi gemuk ini sama dengan perhitungan komposisi sebelumnya, hanya saja di sini dilakukan pemvariasian rasio *complexing agent*. Pada penelitian ini, akan di buat gemuk dengan jumlah *thickening agent* tetap yaitu 20%.

Lampiran 1. Lanjutan

Berikut merupakan contoh perhitungan komposisi gemuk yang dibuat :

Komposisi Gemuk dengan Rasio mol Complexing Agent 0.5%

$$\text{Berat sabun} = 20 \% \times 1000 \text{ gr} = 200 \text{ gr}$$

$$\text{Berat EFAMEGLI} = 1000 - 200 = 800 \text{ gr}$$

$$\text{Mr sabun} = 652 \text{ gr/gmol}$$

$$\text{Mr asam benzoat} = 123 \text{ gr/gmol}$$

$$\text{Mr asam stearat} = 284 \text{ gr/gmol}$$

$$\text{Mr aluminium isopropoksida} = 204 \text{ gr/gmol}$$

Sehingga, mol sabun dapat diperoleh :

$$\text{mol sabun} = \frac{\text{berat sabun}}{\text{Mr Sabun}} = \frac{200 \text{ gr}}{652 \text{ gr/gmol}} = 0.307 \text{ gmol}$$

Berdasarkan reaksi stoikiometri pembentukan *thickening agent* di atas, dapat dihitung :

$$\text{➤ mol asam stearat} = 2 \times \text{mol sabun} = 2 \times 0.307 = 0.614 \text{ gmol}$$

$$\text{➤ mol aluminium isopropoksida} = \text{mol sabun} = 0.307 \text{ gmol}$$

$$\text{➤ mol aluminium} = \text{mol aluminium isopropoksida} = 0.307 \text{ mol}$$

$$\text{➤ mol aluminium yang digunakan} = \text{mol aluminium bereaksi} + 20\% \text{ eksese aluminium}$$

$$= 0.307 + (0.2 \times 0.307)$$

$$= 0.3684 \text{ gmol}$$

$$\text{➤ mol asam benzoat} = 0.005 \times \text{mol asam stearat} = 0.5 \times 0.3681 = 0.00307 \text{ gmol}$$

Dari nilai mol di atas, dapat dihitung berat bahan yang digunakan dengan persamaan:

$$\boxed{\text{beratA} = \text{molA} \times \text{MrA}}$$

$$\text{➤ berat asam benzoat} = 0.00307 \times 123 = 0.3776 \text{ gr}$$

$$\text{➤ berat asam stearat} = 0.614 \times 284 = 174.376 \text{ gr}$$

$$\text{➤ berat aluminium isopropoksida} = 0.3684 \times 204 = 75.1536 \text{ gr}$$

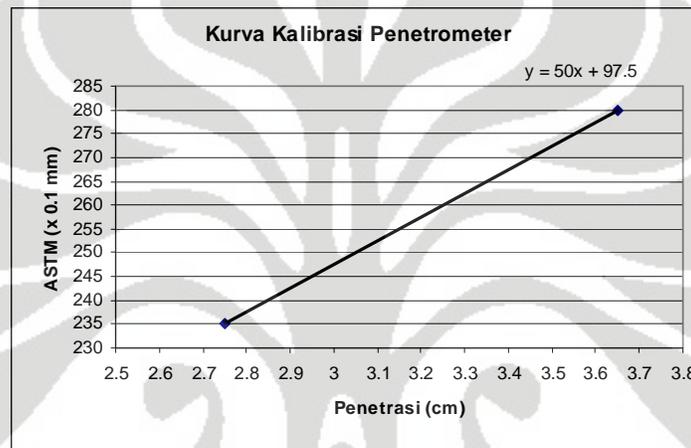
Penentuan komposisi bahan yang digunakan pada komposisi *complexing agent* 0%, 1%, dan 2% dilakukan dengan cara yang sama dan diperoleh hasil seperti yang disajikan dalam tabel pada bagian metode penelitian.

Lampiran 2. Kalibrasi Penetrasi

Sebelum melakukan pengujian penetrasi, dilakukan kalibrasi skala pengukuran penetrasi dengan menggunakan gemuk standar yang telah diketahui nomor NLGI-nya. Berikut merupakan data kalibrasi yang diperoleh :

Penetrasi Standar (x 0.1 mm)	Penetrasi Alat (cm)
235	2.75
280	3.65

Data di atas, dapat disajikan dalam grafik sebagai berikut :



Dari grafik di atas, diperoleh hubungan penetrasi pengukuran alat dengan penetrasi standar, yaitu : $\text{Penetrasi Standar} = 50 \times \text{Penetrasi Alat} + 97.5$

Data-data kalibrasi penetrasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Kalibrasi Penetrasi pada Variasi Sabun Kompleks (Al-Stearat dan Al-Benzotat)

% Al-Stearat	% Asam Benzoat	Penetrasi Alat	Penetrasi Kalibrasi
12	2.2	7.5	472.5
14	2.5	7.3	462.5
18	3.2	7.1	452.5
20	3.5	7	447.5

Kalibrasi Penetrasi pada Variasi Asam Benzoat

% Asam Benzoat	Penetrasi Alat	Penetrasi Kalibrasi
0	3.8	287.5
0.5	5	347.5
1	5.5	372.5
2	4.5	322.5