



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

**MARIA WULANDARI
0405060415**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM SARJANA
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

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

**MARIA WULANDARI
0405060415**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM SARJANA
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 : Maria Wulandari

NPM : 0405060415

Tanda Tangan : 

Tanggal : 14 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Maria Wulandari
NPM : 0405060415
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pembuatan Gemuk Bio Foodgrade Menggunakan
Thickener Sabun Kalsium Kompleks

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sukirno, M.Eng
Penguji : Ir. Dewi Tristantini, MT., PhD
Penguji : Ir. Setiadi, M.Eng



Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 14 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Baik atas segala berkat dan penyertaan-Nya dari awal pemilihan topik, konsultasi skripsi sampai skripsi ini disusun, dan sampai saat ini, detik ini.... Skripsi ini tidak 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. Mang Ijal sebagai teknisi lab, yang selalu bersedia membantu saya.
3. Teman-teman di TKim'05, khususnya: Geng Ubur-ubur (Monica, Dwi, Cindy, Isti) dan Letti atas bantuan dan hiburanya.
4. Rekan sepenelitian, sesama anak "pelumas" : Monica, Rano, Lutfhi dan Ivan Eka.
5. Teman-teman KUKTek yang selalu mendukung dan memberikan inspirasi, bahwa segalanya indah pada waktunya.
6. Pihak-pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

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

Depok, 6 Juli 2009



Penulis

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

LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

Nama : Maria Wulandari

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

NPM : 0405060415

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 Kalsium Kompleks”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 3 Juli 2009

Yang menyatakan



(Maria Wulandari)

ABSTRAK

Nama : Maria Wulandari
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pembuatan Gemuk Bio Food Grade Menggunakan *Thickener*
Sabun Kalsium Kompleks

Pada penelitian ini, telah dibuat gemuk *bio food grade* berbasis turunan minyak kelapa sawit menggunakan *thickener* sabun kalsium kompleks, yang merupakan campuran sabun Ca-asetat dan Ca-hidroksi stearat dengan variasi rasio mol sabun Ca-asetat/Ca-hidroksi stearat = (0-6). Gemuk tersebut dibuat dengan tahapan saponifikasi di reaktor batch tertutup skala pilot (5kg), pendinginan di *crystalizer* dan homogenisasi di *homogenizer*. Parameter uji pelumas gemuk yang dilakukan yaitu uji *dropping point* (ASTM D-566), uji penetrasi (ASTM D-217), dan uji anti aus *four ball* (ASTM D-4172). Gemuk terbaik yang dihasilkan memiliki *dropping point* 324°C, pada rasio mol Ca-asetat/Ca-hidroksi stearat 5:1.

Kata kunci:

Gemuk bio food grade, sabun kalsium kompleks, rasio mol sabun

ABSTRACT

Name : Maria Wulandari
Study Program: Chemical Engineering
Title : Synthesis of Bio Food grade Grease By Using Calcium Complex Soap As Thickening Agent

In this research, bio food grade grease based on derivative of palm oil by using calcium complex soap as thickening agent is synthesized. Grease thickener is a mixture of Ca-acetate and Ca-hydroxy stearate with mol ratio Ca-acetate/Ca-hydroxy stearate (0-6). Grease is synthesized in pilot scale closed batch reactor (5 kg), continued by cooling in crystalizer, and homogenizing in homogenizer. Grease performance tests done on greases in this research are dropping point test (ASTM D-566), penetration test (ASTM D-217), and four ball anti wear test (ASTM D-4172). The best grease product is resulted from mol ratio Ca-acetate/Ca-hydroxy stearate 5:1.

Key words:

Bio food grade grease, calcium complex soap, soap mol ratio

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK/ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pelumas Gemuk	6
2.1.1 Fungsi Gemuk	7
2.1.2 Gemuk Foodgrade	8
2.1.3 Bahan Dasar Pelumas Gemuk	11
2.1.3.1 <i>Base Oil (Lubricating Fluid)</i>	11
2.1.3.2 <i>Thickening agent</i>	13
2.2.3.3 Aditif	14
2.1.4 Jenis-jenis Gemuk	15
2.2 GEMUK KALSIUM	17
2.2.1 Gemuk Kalsium Tanpa kompleks	17
2.2.2 Gemuk Kalsium Kompleks	18
2.2.2.1 Gemuk Kalsium Sulfonat Kompleks	19
2.2.2.2 Gemuk Kalsium Kompleks Anhidrida	20

2.2.2.3	Gemuk Kalsium Kompleks Hidrida	20
2.3	Parameter Uji Pelumas Gemuk	22
2.3.1	Konsistensi	22
2.3.2	<i>Dropping point</i>	24
2.3.3	<i>Bleeding/Oil Separation</i>	25
2.3.4	<i>Water Wash Out</i>	26
2.3.5	<i>Four Ball Test</i>	27
2.4	Pembuatan Gemuk	29
3.	METODE PENELITIAN	31
3.1	Diagram Alir Penelitian	31
3.2	Sintesis Gemuk	32
3.2.1	Penentuan Komposisi Gemuk	32
3.2.2	Diagram Alir Sintesis Gemuk	32
3.2.3	Prosedur Sintesis Gemuk	33
3.2.4	Peralatan Dalam Sintesis Gemuk	34
3.3	Uji Karakteristik Gemuk	36
3.3.1	Penetration (ASTM D-217)	36
3.3.2	<i>Dropping point</i> (ASTM D-556)	37
3.3.5	<i>Four Ball Test</i> (ASTM D-4172)	37
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1	Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Tampilan Fisik Gemuk	39
4.2	Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji Penetrasi	45
4.3	Pengaruh Tekanan Terhadap Uji Penetrasi	46
4.4	Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap <i>Dropping Point</i>	49
4.5	Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji <i>Four Ball</i>	50
5.	KESIMPULAN	51
	DAFTAR REFERENSI	52
	LAMPIRAN	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Reaksi Saponifikasi Asam Lemak Dengan Alkali	11
Gambar 2.2 Reaksi Saponifikasi Pembentukan Sabun Kalsium Tanpa kompleks	17
Gambar 2.3 Reaksi Saponifikasi Pembentukan Sabun Kalsium Kompleks	18
Gambar 2.4 Uji Konsistensi Gemuk.....	23
Gambar 2.5 Uji <i>Dropping point</i>	25
Gambar 2.6 Uji <i>Bleeding</i>	26
Gambar 2.9 Uji <i>Water Wash Out</i>	27
Gambar 2.8 <i>Four Ball Test</i>	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2 Diagram Alir Sintesis Gemuk	34
Gambar 3.3 Reaktor <i>Batch</i> Tertutup Skala Pilot.....	36
Gambar 3.4 Crystalizer	36
Gambar 3.5 Homogenizer	37
Gambar 4.1 (a) Gemuk Tanpa Agen Pengkompleks	42
Gambar 4.1 (b) Gemuk 1:1	42
Gambar 4.1 (c) Gemuk 2:1.....	42
Gambar 4.1 (d) Gemuk 3:1	42
Gambar 4.1 (e) Gemuk 4:1.....	42
Gambar 4.1 (f) Gemuk 5:1	42
Gambar 4.1 (g) Gemuk 6:1	42
Gambar 4.2 Ilustrasi Interaksi Antar Sabun Ca-Hidroksi Stearat	43
Gambar 4.3 Ilustrasi Interaksi Antar Sabun Ca-Hidroksi Stearat dan Ca-Asetat	43
Gambar 4.4 Kurva Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji Penetrasi.....	44
Gambar 4.5 Ilustrasi Ikatan Hidrogen Ca-hidroksi Stearat Pada Tekanan Rendah	46
Gambar 4.6 Ilustrasi Ikatan Hidrogen Ca-hidroksi Stearat Pada Tekanan Tinggi.....	47
Gambar 4.7 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap <i>Dropping Point</i>	48
Gambar 4.8 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji Four Ball	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Spesifikasi Produk Foodgrade dan Penelitian Skala Lab DTK-UI.....	2
Tabel 1.2	Studi Literatur Gemuk Kalsium Kompleks	3
Tabel 2.1	Komposisi Gemuk Secara Umum	6
Tabel 2.2	Komponen Pembentuk Gemuk	6
Tabel 2.3	Spesifikasi Gemuk Foodgrade di Pasaran	10
Tabel 2.4	Kelebihan dan Kekurangan Minyak Mineral Sebagai <i>Base oil</i>	11
Tabel 2.5	Kelebihan dan Kekurangan Minyak Sintetis Sebagai <i>Base oil</i>	12
Tabel 2.6	Produksi (MMT) Minyak Nabati Dunia.....	12
Tabel 2.7	Produksi dan Ekspor Minyak Kelapa Sawit (MMT)	13
Tabel 2.8	Perbandingan Gemuk-gemuk.....	16
Tabel 2.9	Spesifikasi Penelitian Gemuk Bio-foodgrade.....	18
Tabel 2.10	Ringkasan Studi Literatur Komposisi Gemuk	23
Tabel 2.11	Klasifikasi Gemuk Menurut NLGI	24
Tabel 2.12	Kompatibilitas Campuran Gemuk Biner	29
Tabel 3.1	Komposisi Gemuk yang Akan Diteliti	33
Tabel 4.1	Tabel Tekanan Operasi & Penetrasi Gemuk Penelitian	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Komposisi Gemuk.....	56
Lampiran 2 Kurva Kalibrasi Penetrometer	58



BAB I PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang Masalah

Gemuk adalah pelumas semi-solid yang dihasilkan dari dispersi *thickening agent* dalam minyak pelumas (Caines & Roger, 1996). Gemuk banyak dijual di pasaran terutama untuk digunakan dalam aplikasi di mana penggunaan minyak pelumas tidak praktis lagi, contohnya pada *ball bearing*, *electric motor bearing*, *plain bearing*, dan *coupling*.

Gemuk, berdasarkan penggunaannya dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu : gemuk *non food grade (technical grade)* dan gemuk *food grade*. Gemuk *technical grade* adalah gemuk yang digunakan pada aplikasi keteknikan biasa, namun tidak memenuhi syarat untuk digunakan pada industri makanan (*food processing*) karena umumnya beracun (toksik). Gemuk *food grade* adalah gemuk yang dapat digunakan pada aplikasi industri makanan (*food processing*) yang memiliki syarat kesehatan seperti tidak beracun, tidak berasa, dan tidak berbau.

Gemuk *food grade* yang beredar di pasaran umumnya berasal dari *base oil* minyak sintetis ataupun *white mineral oil*. Minyak sintetis adalah minyak yang dibuat melalui sintesis kimiawi antara senyawa-senyawa yang memenuhi syarat untuk digunakan sebagai *base oil*. *White mineral oil* diperoleh melalui penyulingan minyak mentah dengan banyak tahapan hingga menghasilkan *white oil* dengan kemurnian sangat tinggi. Baik gemuk *food grade* dari minyak sintetis maupun dari *white mineral oil* memiliki harga yang sangat mahal.

Gemuk *food grade*, selain dapat dibuat dari minyak sintetis dan *white oil*, juga dapat dibuat dari minyak nabati. Gemuk *food grade* dari minyak nabati (gemuk *bio food grade*) memiliki harga yang lebih murah dengan tingkat *biodegradability* yang tinggi bila dibandingkan dengan gemuk dari *base oil* minyak sintetis ataupun *white mineral oil*. Dengan berkembangnya kepedulian masyarakat akan lingkungan, maka pembuatan gemuk *bio food grade* dari minyak nabati semakin berkembang.

Gemuk bio *food grade* dapat dibuat dari beragam minyak nabati, contohnya dari minyak canola, minyak kacang kedelai, dan minyak kelapa sawit. Telah diteliti gemuk bio kalsium kompleks yang berasal dari minyak kacang kedelai (Atanu, 2004 & Stuart, 2002), gemuk bio dari minyak jarak (Dwivedi, 2002) dan gemuk bio *food grade* hasil penelitian dengan menggunakan *thickener* sabun kalsium dan *base oil* Bio EFAMEGli (Marius, 2007).

Fakta bahwa Indonesia merupakan produsen dan eksportir kelapa sawit paling besar di dunia (U.S. Department of Agriculture, 2003) mendorong dibuatnya gemuk bio *food grade* dengan menggunakan *base oil* dari turunan minyak kelapa sawit yaitu hasil epoksida minyak kelapa sawit. Pemilihan hasil epoksida minyak kelapa sawit sebagai *base oil* gemuk kalsium kompleks ini juga ditujukan untuk memberi alternatif diversifikasi pemanfaatan minyak kelapa sawit sehingga dapat memberikan nilai tambah bagi produk kelapa sawit di Indonesia.

Pada tahun 2007 di lab DTK-UI telah diteliti gemuk bio *food grade* dengan *thickener* sabun kalsium dan *base oil* pelumas Bio EFAMEGli (Bio Epoxied Fatty Acid Methyl Ester Gliserol) dalam skala lab dengan menggunakan reaktor terbuka dan tertutup. Kedua penelitian tersebut dibandingkan dengan spesifikasi penelitian gemuk *food grade* dengan spesifikasi hasil ditampilkan di bawah ini:

Tabel 1.1 Spesifikasi Produk *Food grade* dan Penelitian Skala Lab DTK-UI

Deskripsi Produk	<i>MD Food Grade Grease</i> (<i>G-N Solutions Supply Lubricants</i>)	Penelitian Marius DTK-UI	Penelitian Dizi DTK- UI
Metode	Reaktor tertutup	Reaktor Terbuka	Reaktor Tertutup
<i>Base oil</i>	Sintetis	BioEFAMEGli	BioEFAMEGli
<i>Thickener</i>	Kalsium Kompleks	Kalsium	Kalsium
NLGI Grade	1	2	2
<i>Dropping point</i>	250°C	109°C	130°C

Sumber : www.g-nsolutions.com (13 Juli 2008)

Dari spesifikasi penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa gemuk yang dihasilkan memiliki kualitas yang kurang baik dibandingkan spesifikasi gemuk *food grade* di pasaran. Untuk memperbaiki kualitas gemuk

yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya, maka akan dilakukan penelitian mengenai gemuk bio *food grade* dengan *thickener* sabun kalsium kompleks.

Pemilihan *thickener* sabun kalsium kompleks didasari studi literatur yang telah dilakukan oleh penulis dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 1.2 Studi Literatur Gemuk Kalsium Kompleks

BAHAN BAKU	HASIL
<i>Base oil</i> - Minyak Mineral Sabun kalsium kompleks : - asam lemak tak jenuh - Ca(OH) ₂ .H ₂ O - Asam Asetat anhidrida (agen pengkompleks)	<i>Dropping point</i> : 260°C <i>Penetrasi</i> , 77°F, mm - Unworked : 318 (NLGI 1) - Worked _{,100} : 400
<i>Base oil</i> - Minyak Mineral Sabun kalsium kompleks : - asam 12-hidroksi stearat - Ca(OH) ₂ .H ₂ O - Asam Asetat (agen pengkompleks) - Urea	<i>Dropping point</i> : 276°C <i>Penetrasi</i> , 77°F, mm - Unworked : 295 (NLGI 2) - Worked _{,100} : 356 <i>Water wash out</i> (% loss) : 0.7 <i>Four Ball Test</i> (mm) : 0.26

Sumber : Morway , 1963 & Dreher, 1965

Gemuk kalsium pada penelitian-penelitian di atas memiliki kualitas yang baik, terlihat dari hasil uji pada gemuk-gemuk tersebut. Sehingga, gemuk kalsium kompleks layak dicoba untuk diaplikasikan pada penelitian ini dalam rangka memperbaiki kualitas gemuk yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya di Lab Departemen Teknik Kimia UI (Marius, 2007 & Dizi 2006).

Pada penelitian ini akan dibuat gemuk bio *food grade* dengan *thickener* sabun kalsium kompleks dan *base oil* epoksida minyak kelapa sawit. Epoksida minyak yang menjadi bahan dasar pelumas gemuk ini diolah dari minyak kelapa sawit yang memenuhi persyaratan gemuk *food grade* karena senyawa-senyawa dalam minyak kelapa sawit tidak beracun. *Thickening agent* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sabun kalsium kompleks yang terdiri dari logam alkali Ca(OH)₂.H₂O, asam 12-hidroksi stearat dan agen pengkompleks asam asetat yang

kesemuanya tidak beracun. Gemuk *food grade* yang dihasilkan akan diuji karakteristiknya menggunakan uji-uji sebagai berikut : uji penetrasi , uji *dropping point* dan uji *four-ball*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membuat gemuk Bio *Food grade* dengan *thickener* sabun kalsium kompleks dengan tingkat penetrasi 265-295 mm (NLGI *Grade 2*) dan *dropping point* 260°C?
2. Bagaimana pengaruh rasio mol sabun Ca-asetat dan Ca-12-hidroksi stearat terhadap karakteristik gemuk?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Membuat gemuk Bio *Food grade* dengan *thickener* sabun kalsium kompleks dengan tingkat penetrasi 265-295 mm (NLGI *Grade 2*) dan *dropping point* 260°C.
2. Mempelajari pengaruh rasio mol sabun Ca-asetat dan Ca-12-hidroksi stearat terhadap karakteristik gemuk yang diuji: uji penetrasi , uji *dropping point* dan uji *four-ball*.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian yang dilakukan ini memiliki batasan-batasan masalah berikut :

1. Pengujian karakteristik gemuk yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi uji penetrasi, uji *dropping point* dan uji *four-ball*.
2. Tidak akan dilakukan uji toksisitas untuk menentukan karakteristik *foodgrade* gemuk penelitian. Gemuk penelitian berasal dari bahan-bahan yang tidak beracun sehingga sudah dapat dikategorikan gemuk *foodgrade*.
3. Tidak akan dilakukan uji *biodegradable* untuk menentukan karakteristik *biodegradable* gemuk penelitian. Gemuk penelitian berasal dari bahan-bahan nabati yang mampu terurai secara alami sehingga sudah dapat dikategorikan gemuk bio.

4. Tidak dilakukan analisis kimia (uji stabilitas oksidasi) terhadap gemuk penelitian karena proses epoksidasi RBPDO dapat meningkatkan ketahanan oksidasi *base oil* (Fenjerry, 2006).
5. Base oil yang digunakan adalah epoksidasi RBDPO (*Refined Bleach Deodorized Palm Oil*) dari berbagai minyak kelapa sawit dengan asumsi kandungan asam lemak yang dikandung sama.

1.5 Sistematika Penulisan

Metode penulisan yang digunakan dalam penelitian ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan studi literatur mengenai pelumas gemuk, gemuk *food grade*, bahan dasar gemuk, jenis-jenis gemuk, gemuk kalsium tanpa kompleks, gemuk kalsium kompleks, dan parameter mutu gemuk (uji penetrasi, dropping point, uji four ball).

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisikan diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, prosedur pembuatan gemuk serta prosedur pengujian gemuk yaitu tampilan fisik, penetrasi, *dropping point*, *water wash out* dan uji *four ball*.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil dan pembahasan dari pengujian gemuk yaitu tampilan fisik, uji penetrasi, uji dropping point dan uji four ball.

BAB V : KESIMPULAN

Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan pembahasan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelumas Gemuk

Gemuk adalah pelumas semi-solid dari minyak pelumas yang ditambahkan *thickening agent* yang berfungsi mengurangi gesekan dan keausan antara dua bidang atau permukaan yang saling bersinggungan atau bergesekan. Secara umum, komposisi gemuk dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.1 Komposisi Gemuk Secara Umum

BAHAN BAKU	% KOMPOSISI
<i>Base oil</i>	75-95
<i>Thickening agent/Thickener</i>	5-20
Aditif	0-15

Base oil adalah minyak pelumas yang memberikan pelumasan sesungguhnya dalam gemuk. *Thickening agent* memberikan karakteristik konsistensi dan secara mikroskopis *thickening agent* membentuk "jaring-jaring tiga dimensi" atau "spons" yang menahan minyak pelumas pada tempatnya. Aditif pada gemuk berfungsi untuk meningkatkan performa gemuk dan melindungi gemuk dari permukaan pelumasan. Beberapa komponen yang sering digunakan dalam pembentukan gemuk adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Komponen Pembentuk Gemuk

<i>Base oil</i>	Aditif	<i>Thickener</i>
Minyak mineral	Anti-oksidan	Sabun natrium
Minyak mineral sintesis	Aditif anti-aus	Sabun kalsium
Di-ester	EP (<i>Extreme Pressure</i>) aditif	Sabun litium
Silikon	Korosi inhibitor	Sabun aluminium
Fosfat ester	<i>Friction modifier</i>	Kalsium kompleks
Fluorokarbon	<i>Metal deactivator</i>	Aluminium kompleks
Silikon terfluorinasi	<i>VI improvers</i>	Litium kompleks

Gemuk merupakan pelumas yang bersifat *temperature-regulated* : ketika lapisan film pelumas menipis, panas yang dihasilkan mesin melunakkan gemuk sehingga gemuk terekspansi dan melepaskan minyak untuk mengembalikan lapisan film pelumas.

2.1.1 Fungsi Gemuk

Gemuk berfungsi untuk melakukan kontak dan pelumasan pada permukaan bergerak tanpa bocor karena gaya gravitasi ataupun gaya sentrifugal. Gemuk dan minyak pelumas memiliki aplikasi/kegunaan yang tidak dapat dipertukarkan. Gemuk digunakan ketika tidak praktis untuk menggunakan minyak pelumas. Pemilihan pelumas ditentukan dengan mencocokkan rancangan mesin dan kondisi operasi dengan karakteristik pelumas yang diinginkan.

Gemuk umumnya digunakan pada :

1. Mesin yang pengoperasiannya tidak *continuous* atau yang disimpan untuk periode waktu lama.
2. Mesin yang bagian dalamnya sulit diakses untuk pelumasan berkali-kali.
3. Mesin yang beroperasi di bawah kondisi ekstrem, seperti tekanan tinggi.
4. Komponen aus

Gemuk memiliki beberapa kelebihan dibanding minyak pelumas, yaitu :

1. Gemuk berfungsi sebagai penyekat dan mencegah masuknya kontaminan
2. Mudah diaplikasikan dibanding minyak pelumas.
3. Tidak perlu sering melakukan pelumasan ulang (*re-lubrication*).
4. Tidak perlu memonitor dan mengontrol ketinggian cairan pelumas
5. Kontaminasi produk

Dalam industri manufaktur, sulit untuk mencegah kontaminasi produk oleh pelumas. Hal ini karena minyak pelumas mudah bocor dan memercik. Penggunaan gemuk mengurangi resiko kontaminasi tersebut.

6. Penggunaan aditif solid

Penggunaan aditif yang tidak larut seperti molibdenum disulfida & grafit akan terdispersi dalam gemuk.

Selain memiliki kelebihan-kelebihan di atas, gemuk juga memiliki kekurangan sebagai berikut :

- 1) Kemampuan pendinginan yang buruk
Minyak pelumas dapat memindahkan kalor dengan konveksi, sehingga dapat mendinginkan *bearing*. Gemuk tidak efektif dalam perpindahan kalor sehingga tidak cocok untuk aplikasi sistem temperatur tinggi.
- 2) Batasan kecepatan *bearing*
Gemuk memiliki kemampuan yang buruk sebagai pendingin.
- 3) Stabilitas penyimpanan yang buruk
Gemuk yang disimpan memiliki kestabilan yang rendah, dapat menjadi lebih lembek, lebih keras, lebih gelap, ataupun dapat berbau tengik.
- 4) Kurang seragam
Proses pembuatan gemuk yang secara *batch* sulit diprediksi.
- 5) Lebih mudah teroksidasi

2.1.2 Gemuk Foodgrade

Gemuk foodgrade adalah pelumas gemuk yang berfungsi melindungi dan melumasi bagian mesin yang dalam proses manufaktur di mana kontak yang tidak disengaja antara pelumas gemuk dan makanan mungkin terjadi.

Gemuk foodgrade biasa digunakan pada industri makanan dan industri farmasi dimana kontak dengan produk makanan atau obat sangat mungkin terjadi. Hal ini membuat gemuk foodgrade dituntut untuk tahan terhadap makanan, bahan kimia air/uap dan tidak merusak plastik, elastomer, dan dapat melarutkan gula, sesuai kebutuhan industri di mana gemuk digunakan. Selain itu, gemuk foodgrade juga harus memenuhi standar kesehatan dan keamanan, seperti tidak beracun, tidak berasa, dan tidak berbau. Syarat gemuk yang dapat diklasifikasikan menjadi gemuk foodgrade dari segi kesehatan adalah :

- Tidak mengandung senyawa hidrokarbon reaktif (aromatik)
- Tidak mengandung Sulfur (S)
- Tidak mengandung logam berat khususnya arsenik, antimon, barium, cadmium, chromium, tembaga, besi, timbal, merkuri, mlibdenum, nikel, selenium, vanadium dan seng.
- Tidak berbau & tidak berasa
- Tidak bersifat karsinogenik (memicu kanker)

Penggunaan gemuk foodgrade biasa digunakan pada rantai *conveyor*, *gear* dan *bearing*. Rantai *conveyor* digunakan untuk menghantarkan makanan, misalnya daging pada industri makanan, *gear* dan *bearing* biasa digunakan pada sistem *mixing*, pencetakan dan *pumping* pada industri makanan. Gemuk yang digunakan pada sistem tersebut memang tidak kontak dengan makanan, namun ada kemungkinan kontak makanan bila gemuk terpelant atau dalam pemakaiannya kurang hati-hati sehingga terkena ke makanan.

Gemuk foodgrade, walaupun sama-sama dapat digunakan pada industri makanan, namun terdapat beberapa klasifikasi yang membedakan penggunaan gemuk foodgrade pada industri makanan tersebut. Klasifikasi pelumas foodgrade:

- ▶ H-1 *Lubricants*: digunakan pada keadaan di mana kontak dengan produk makanan sangat mungkin terjadi.
- ▶ H-2 *Lubricants*: digunakan pada peralatan operasi yang vital dalam pabrik manufaktur, tetapi tidak akan terjadi kontak dengan makanan.
- ▶ H-3 *Soluble Oils*: biasanya digunakan pada alat-alat seperti *hook*, *trolley*, dan sejenisnya untuk membersihkan dan mencegah karat.
- ▶ 3-H *Lubricants*: digunakan pada keadaan di mana kontak dengan makanan sangat sering terjadi. Tidak seperti H-1 *Lubricants*, 3-H *Lubricants* ini dapat digunakan sebagai aditif makanan.

Pada masa lalu, pelumas gemuk foodgrade hanya dapat digunakan pada kondisi tekanan rendah serta memiliki karakteristik “anti-washout” yang rendah sehingga peralatan memerlukan pelumasan ulang secara teratur. Pada masa kini, pelumas gemuk foodgrade juga dituntut untuk memiliki karakteristik EP (*extreme pressure*) yang baik, berarti lapisan film gemuk yang ditempatkan diantara komponen yang beroperasi pada mesin mampu mengatasi tekanan tinggi sebelum pecah/rusak. Gemuk foodgrade juga sebaiknya memiliki karakteristik “*anti-washout*” yang baik, berarti gemuk tidak mudah terbilas oleh cairan sanitasi yang digunakan untuk mencuci peralatan sesudah proses produksi setiap harinya. Spesifikasi beberapa gemuk foodgrade yang beredar di pasaran adalah sebagai berikut.

Tabel 2.3 Spesifikasi Gemuk Foodgrade di Pasaran

Deskripsi Produk	<i>Amsoil Synthetic Polymer Food Grade Grease</i>	<i>Md Food Grade Grease (G-N Solutions Supply Lubricants)</i>
<i>Thickener</i>	Kalsium 12-hidroksistearat	<i>Kalsium Kompleks</i>
Agen pengkompleks	-	<i>Asam Asetat</i>
<i>Base Oil</i>	Sintetis	<i>Sintetis</i>
Bilangan NLGI	2	1
Jangkauan Temperatur	-18°C – 135°C	-20°C – 150°C
<i>Dropping point</i>	144°C	250°C

Sumber : www.pecuniary.com/synthetic (10 Juli 2008), www.g-nsolutions.com (13 Juli 2008)

Gemuk yang digunakan tidak hanya dituntut untuk foodgrade namun juga *biodegradable* sehingga tidak membahayakan lingkungan. Gemuk foodgrade sekaligus *biodegradable* skala penelitian yang memiliki kualitas sangat baik sejauh ini dihasilkan oleh **Drake (1992)**. Penelitian tersebut menghasilkan gemuk foodgrade dengan *base oil white mineral oil* dan *thickener* kombinasi dari sabun kalsium kompleks dan sabun aluminium kompleks serta *bentonite clay*.

White mineral oil adalah minyak mineral yang berasal dari pemurnian minyak mentah sehingga dihasilkan minyak mineral yang tidak berwarna dan tidak berbau. Gemuk dari *white mineral oil* tersebut memiliki karakteristik sangat baik dengan *dropping point* hingga 265,5°C.

Gemuk hasil penelitian **Drake (1992)** tersebut sangat baik, namun berasal dari minyak mineral yang ketersediannya semakin menipis. Hal ini membuat semakin berkembangnya gemuk yang dibuat dengan minyak nabati. Gemuk dari minyak nabati itu biasa dikenal dengan Gemuk Bio. Gemuk bio dapat dibuat dari beragam *base oil* yaitu minyak kacang kedelai, minyak *canola*, minyak jarak, minyak zaitun dan minyak kelapa sawit. Contoh gemuk Bio foodgrade hasil penelitian sejauh ini adalah gemuk bio dengan *thickener* kalsium kompleks yang berasal dari minyak kacang kedelai (**Atanu, 2004 & Stuart, 2002**) serta gemuk bio dari minyak jarak (**Dwivedi, 2002**).

Dari penelitian-penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa baik *thickener* sabun kalsium kompleks, agen pengkompleks dari asam asetat, dan *base oil* epoksida minyak kelapa sawit semuanya bersifat non-toksik sehingga dapat

b. Minyak sintetis

Minyak sintetis adalah minyak yang dibuat melalui sintesis kimiawi antara senyawa-senyawa yang dengan berat molekul dan viskositas yang memenuhi syarat untuk digunakan sebagai *base oil*. Minyak sintetis memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut :

Tabel 2.5 Kelebihan dan Kekurangan Minyak Sintetis Sebagai *Base oil*

Minyak Sintetis	
Kelebihan	Kekurangan
a. Dapat merekayasa struktur minyak yang dihasilkan sedemikian rupa sehingga didapat minyak sintetis yang karakteristiknya sesuai dengan yang diharapkan	Proses produksi minyak sintetis mahal dan terkadang tidak ekonomis
b. Kestabilannya yang tinggi baik pada temperatur tinggi maupun temperatur rendah.	

c. Minyak nabati

Minyak nabati merupakan minyak yang diperoleh dari tumbuh-tumbuhan. Minyak nabati yang dapat digunakan adalah : minyak kelapa sawit, minyak kacang kedelai, *canola oil*, minyak biji bunga matahari, minyak zaitun, minyak jarak, dan sebagainya. Sebagai gambaran, produksi minyak nabati di dunia dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.6 Produksi (MMT) Minyak Nabati Dunia

Jenis Minyak	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
Minyak Kelapa Sawit	29.6	33.9	33.8	36.4	39
Minyak Kacang Kedelai	30.2	32.5	34.5	35.8	37.6
Minyak <i>Rapeseed</i>	14.2	15.8	17.1	17.7	18.5
Minyak Bunga Matahari	9.4	8.9	10.2	11.2	10
Lain-lain	18.9	20.3	22.1	20.4	20.9
Total	102.3	111.4	117.7	121.5	126

Sumber : U.S. Department of Agriculture – Foreign Agricultural Service Report (2003)

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati yang paling banyak diproduksi sehingga untuk pembahasan lebih lanjut, hanya akan dibahas mengenai minyak kelapa sawit.

Minyak kelapa sawit banyak diproduksi oleh Indonesia dan Malaysia, seperti dapat disimak pada tabel di bawah ini. Ini tentu sangat menguntungkan bagi penelitian ini yang dilakukan di Indonesia dengan sumber daya alam kelapa sawit yang melimpah.

Tabel 2.7 Produksi dan Ekspor Minyak Kelapa Sawit (MMT)

Negara	Produksi (MMT)	Ekspor (MMT)	Ekspor (%)
Indonesia	15.9	11.6	73
Malaysia	15.3	12.9	94
Lain-lain	5.2	2.3	44
<i>Total</i>	<i>36.4</i>	<i>26.8</i>	<i>74</i>

Sumber : U.S. Department of Agriculture – Foreign Agricultural Service Report (2003)

2.1.3.2 *Thickening agent*

Thickening agent (thickener) adalah bahan pengental dalam pelumas gemuk yang berfungsi "memerangkap minyak" pada tempatnya. Mekanisme pemerangkapan minyak ini dapat terjadi melalui interaksi molekul antara thickening agent dan komponen polar dari base oil, efek kapiler dan perangkap mekanik. Berdasarkan **Boner (1976)** dalam *Modern Lubricating Greases*, interaksi antar molekul thickening agent dan base oil hanya memerangkap 25% minyak base oil dalam gemuk, yang dapat dihilangkan dengan pelarut tertentu (**Czarny, 1995**). Sisa minyak diperangkap oleh efek kapiler dan perangkap mekanik, yaitu dalam ruang antara jaring-jaring gemuk. Minyak dalam ruang ini dapat dihilangkan dengan memberikan tekanan mekanik, karena dimensi ruang di antara jaring-jaring berkurang.

Thickening agent dapat berasal dari sabun (*soap*) atau bahan pengental yang bukan sabun (*non-soap*). Untuk lebih jelas mengenai *thickening agent* dari sabun dan non-sabun, dapat disimak deskripsi lebih lanjut berikut ini.

A) **Sabun (Soap)**

Sabun adalah bahan pengental yang terbentuk melalui reaksi penyabunan (saponifikasi) antara asam lemak dan alkali. Asam lemak dapat berasal dari lemak

hewan ataupun dari minyak nabati. Alkali yang umum digunakan adalah aluminium, kalsium, litium, dan sodium.

Sabun terbentuk ketika asam lemak rantai panjang bereaksi dengan basa logam sehingga menghasilkan senyawa garam logam yang polar. Molekul polar pada gemuk sabun membentuk jaringan berserat yang menahan minyak pelumas.

Penggunaan sabun (soap) sebagai *thickening agent* menghasilkan pelumas gemuk yang mudah mencair. Perubahan yang terjadi pada sabun membuat seluruh struktur gemuk secara keseluruhan berubah pula. Suhu titik lebur sabun menunjukkan titik lebur gemuk-nya, demikian sebaliknya.

Sabun yang digunakan dalam pembuatan gemuk umumnya berasal dari asam 12-hidroksi stearat (12-HSA). Asam 12-hidroksi stearat umumnya didapatkan dari reaksi hidrogenasi minyak jarak hingga hampir seluruh ikatan rangkap jenuh (Maskaev, 1971).

B) Non sabun (*non-soap*)

Thickener non sabun adalah bahan pengental yang tidak menggunakan sabun, biasa digunakan untuk aplikasi-aplikasi tertentu. Penggunaan pelumas gemuk yang berasal dari bahan bukan sabun (*non-soap*), tidak akan menghasilkan gemuk yang mudah mencair. Bila perubahan suhu yang terjadi terlalu tinggi, pelumas gemuk hanya akan menjadi lembek atau lunak.

2.1.3.3 Aditif

Aditif adalah senyawa yang ditambahkan ke dalam gemuk untuk meningkatkan kemampuan gemuk. Aditif ada yang berperan dalam *friction modifier* dan *struktur modifier*. Aditif sebagai *friction modifier* merupakan senyawa yang ditambahkan untuk mencegah semakin besarnya *solid friction*. Sedangkan *structure modifier* merupakan aditif yang berfungsi untuk mempengaruhi interaksi antara *thickener* dan *base oil* sehingga struktur gemuk lebih baik. Selain itu, terdapat beberapa aditif yang sering digunakan dalam pelumas gemuk untuk meningkatkan karakteristik tertentu dari gemuk, yaitu antara lain :

1. Anti oksidan

Aditif anti oksidan mengurangi oksidasi molekul pelumas gemuk dengan bereaksi dengan hidroperoksida yang akan menghasilkan inhibitor radikal yang bersifat tidak reaktif dan tidak dapat bereaksi lagi. Contoh aditif anti oksidan yaitu senyawa fosfat, senyawa amine, senyawa fenol dan turunannya.

2. *Extreme Pressure*

Aditif ini berfungsi untuk mencegah keausan mesin meskipun bagian tersebut mengalami tekanan tinggi. Contoh aditif ini yaitu *lead oleat*.

3. *Anti Wear*

Aditif ini berfungsi untuk mencegah keausan akibat pengaruh senyawa asam. Contoh aditif ini yaitu turunan alkil dari 2-5 mercaptan 1-3-4 thiadiazole.

4. *Corrosion Inhibitor*

Aditif ini berfungsi untuk mencegah korosi akibat reaksi asam dengan peralatan non-logam. Contoh aditif ini yaitu senyawa *heterocyclic sulfur-nitrogen*.

5. *Rust Inhibitor*

Aditif ini berfungsi untuk melindungi permukaan peralatan yang terbuat dari besi dari korosi akibat pengaruh senyawa asam. Contoh aditif ini yaitu sodium nitrit.

6. *Viscosity Index Improver*

Aditif ini berfungsi untuk mempertahankan kekentalan pelumas gemuk yang diperlukan untuk mencegah pengenceran pelumas gemuk.

7. *Tackiness additive*

Aditif ini berfungsi untuk memberikan tekstur berserat dan meningkatkan kohesi dan adhesi gemuk ke permukaan logam. Aditif ini terutama digunakan untuk aplikasi gigi terbuka.

2.1.4 Jenis-jenis Gemuk

Gemuk yang sudah diproduksi sejauh ini memiliki banyak variasi dengan beragam kelebihan dan kekurangan masing-masing gemuk yang disebabkan baik oleh faktor *thickening agent* itu sendiri maupun kompatibilitas komponen *thickening agent* dengan *base oil*-nya. Namun, secara umum, gemuk dapat dikelompokkan berdasarkan *thickening agent*-nya dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.8 Perbandingan Gemuk-gemuk

SIFAT	ALUMINIUM	SODIUM	CA TANPA KOMPLEKS	CA ANHIDRAT	LITIUUM	AL KOMPLEKS	CA KOMPLEKS	LI KOMPLEKS	POLIUREA	ORGANO-CLAY
<i>Dropping point</i> (°C)	110	163-177	96-104	135-143	177-204	260+	260+	260+	243	260+
T maks.	79	121	93	110	135	177	177	177	177	177
Ketahanan air	Baik-sangat baik	Buruk-sedang	Baik-sangat baik	Sangat baik	Baik	Baik-sangat baik	Sedang-sangat baik	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik	Sedang-sangat baik
Stabilitas Kerja	Buruk	Sedang	Sedang-baik	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik	Sedang-baik	Baik-sangat baik	Buruk-baik	Sedang-baik
Stabilitas Oksidasi	Sangat baik	Buruk-baik	Buruk-sangat baik	Sedang-sangat baik	Sedang-sangat baik	Sedang-sangat baik	Buruk-baik	Sedang-sangat baik	Baik-sangat baik	Baik
Perlindungan terhadap karat	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik	Buruk-sangat baik	Buruk-sangat baik	Buruk-sangat baik	Baik-sangat baik	Sedang-sangat baik	Sedang-sangat baik	Sedang-sangat baik	Buruk-sangat baik
<i>Pumpability</i>	Buruk	Buruk-sedang	Baik-sangat baik	Sedang-sangat baik	Sedang-sangat baik	Sedang-baik	Buruk-sedang	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik	Baik
<i>Oil Separation</i>	Baik	Sedang-baik	Buruk-baik	Baik	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik	Baik-sangat baik
Tampilan	Lembut dan bening	Lembut hingga berserat	Lembut seperti mentega	Lembut seperti mentega	Lembut seperti mentega	Lembut seperti mentega				
Sifat lain	-	Adesif dan kohesif	Mampu tekanan ekstrim	Tekanan ekstrim	Tekanan ekstrim	Tekanan ekstrim	Tekanan ekstrim, anti aus	Tekanan ekstrim	Tekanan ekstrim	-
Aplikasi	pelumas industri tekstil	Kontak pada bantalan bola	Penggunaan sehari-hari	Alat-alat militer	Pelumas industri	Pelumas industri	otomotif dan industri	otomotif dan industri	otomotif dan industri	Temperatur tinggi

Sumber : NLGI Lubricating Grease Guide, 4th ed.

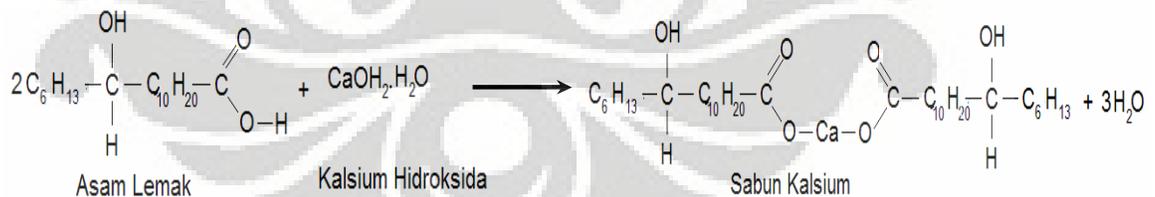
2.2 Gemuk Kalsium

Gemuk kalsium adalah gemuk yang pertama kali diproses secara modern. Preparasi gemuk kalsium dilakukan dengan mereaksikan *base oil*, asam lemak, sejumlah kecil air, dan kalsium hidroksida (juga dikenal sebagai kapur anhidrida).

Gemuk kalsium merupakan gemuk yang unik karena berbeda dari gemuk lainnya, gemuk kalsium memerlukan air yang memodifikasi struktur sabun sehingga dapat mengabsorpsi *base oil*. Sifat unik ini merupakan kelemahan sekaligus kelebihan gemuk kalsium. Kelemahannya adalah gemuk kalsium memiliki batasan temperatur karena “ketergantungannya” terhadap kandungan air. Kelebihannya adalah gemuk kalsium tidak membentuk emulsi dengan air sehingga tidak mudah “terbilas” oleh cairan pencuci, atau dengan kata lain, ketahanan terhadap air-nya tinggi. Pelumas gemuk kalsium merupakan pelumas yang banyak digunakan salah satunya karena biaya produksinya murah dibandingkan gemuk sabun lainnya.

2.2.1 Gemuk Kalsium Tanpa kompleks

Gemuk kalsium tanpa kompleks merupakan pelumas gemuk yang *thickening agent*-nya berasal dari sabun kalsium tanpa tambahan agen pengkompleks. Reaksi saponifikasi sabun kalsium dengan menggunakan asam 12-hidroksi stearat sebagai asam lemak untuk menghasilkan sabun kalsium adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2 Reaksi Saponifikasi Pembentukan Sabun Kalsium Tanpa kompleks

Sabun kalsium yang dihasilkan berfungsi mengikat minyak pelumas dan memberikan karakteristik konsistensi semi-solid pada pelumas gemuk.

Penelitian sebelumnya mengenai gemuk bio foodgrade dengan thickening kalsium berbahan dasar BioEFAMEGli dengan *thickening agent* $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ oleh memberikan hasil berikut (Marius, 2007) :

Tabel 2.9 Spesifikasi Penelitian Gemuk Bio-foodgrade

KOMPOSISI <i>THICKENING AGENT</i>	15%
Uji Penetrasi (0,1 mm)	265,3
<i>Dropping point</i>	109°C
Bilangan NLGI	2
<i>Water washout</i>	11,3 %
<i>Oil Separation</i>	18,4 %

Gemuk kalsium berbahan dasar BioEFAMEGli hasil penelitian dahulu memiliki karakteristik yang tidak terlalu baik, karena *dropping point*nya kurang tinggi dan gemuk kurang lekat (*tacky*). Sedangkan gemuk kalsium dalam skala industri sejauh ini memiliki kualitas yang cukup baik, dan banyak diproduksi karena biayanya yang murah. Walaupun kualitas gemuk kalsium cukup baik, namun masih perlu ditingkatkan untuk mendapatkan gemuk yang lebih baik dengan menambahkan asam asetat yang akan dijelaskan lebih jauh berikut ini.

2.2.2 Gemuk Kalsium Kompleks

Gemuk kalsium kompleks adalah pelumas gemuk di mana matriks pengikat base oil/*thickener* berasal dari sabun kalsium kompleks yang terdiri dari sabun kalsium tanpa kompleks (kalsium hidroksi stearat) dan sabun kalsium asetat. Reaksi penyabunan yang terjadi terdiri dari reaksi pembentukan sabun kalsium tanpa kompleks (gambar 22) dan sabun kalsium asetat. Reaksi pembentukan sabun kalsium asetat sebagai berikut.



Gambar 2.3 Reaksi Saponifikasi Pembentukan Sabun Kalsium Kompleks

Kualitas gemuk kalsium kompleks lebih baik dibandingkan gemuk kalsium tanpa kompleks. Peningkatan kualitas pada gemuk kalsium kompleks diantaranya adalah:

- *Dropping point* lebih tinggi (hingga 260°C)
- Karakteristik tekanan tinggi (*extreme pressure*)
- Karakteristik anti aus (*anti wear*) yang baik

Semua kualitas tersebut dimiliki oleh gemuk kalsium kompleks walaupun tanpa penambahan aditif tekanan tinggi (*Extreme Pressure*) dan *stabilizing agent*.

Basa yang digunakan dalam pembuatan gemuk kalsium kompleks biasanya memiliki rasio mol yang berlebih dibanding mol stoikiometrik, hal ini untuk memberikan sifat basa pada gemuk yang dihasilkan. Sifat basa ini akan menetralkan asam korosif yang dibentuk oleh gemuk yang terdegradasi selama penggunaan, selain itu sifat basa memberikan stabilitas gemuk yang lebih baik.

Secara umum gemuk kalsium kompleks yang banyak digunakan dalam industri terbagi menjadi tiga yaitu gemuk kalsium sulfonat kompleks, gemuk kalsium kompleks anhidrida, gemuk kalsium kompleks hidrida. Untuk lebih jelasnya, akan dibahas satu-persatu mengenai gemuk-gemuk tersebut berikut ini.

2.2.2.1 Gemuk Kalsium Sulfonat Kompleks

Gemuk kalsium sulfonat kompleks merupakan teknologi terbaru dalam pembuatan gemuk kalsium. Gemuk kalsium sulfonat kompleks dibuat dengan menambahkan kalsium sulfonat dalam pelumas gemuk

Keunggulan gemuk kalsium sulfonat antara lain :

- Stabilitas mekanik tinggi
- Kemampuan ketahanan beban tinggi
- Ketahanan terhadap air dan korosi sangat baik
- Kestabilan termal pada jangkauan temperatur yang luas sangat baik
- *Pumpability* yang baik

Gemuk kalsium sulfonat kompleks sejauh ini belum diketahui kelemahannya dan merupakan gemuk serba guna yang banyak digunakan dalam aplikasi-aplikasi industri. Gemuk kalsium sulfonat kompleks sangat kompatibel dengan gemuk litium dan litium kompleks dan gemuk kalsium dan kalsium

kompleks. Kompatibilitas gemuk kalsium sulfonat yang tinggi ini sangat memudahkan dalam pelumasan ulang (*relubrication*).

2.2.2.2 Gemuk Kalsium Kompleks Anhidrat

Gemuk Kalsium Kompleks Anhidrat adalah gemuk kalsium kompleks yang tidak mengandung air sehingga memiliki keterbatasan temperatur kerja hingga 120°C. Keunggulan gemuk kalsium kompleks anhidrida :

- Dapat digunakan pada temperatur yang sangat rendah (hingga -40°C)
- Karakteristik anti-aus dan kualitas pelumasan yang baik
- Stabilitas mekanik baik
- Ketahanan air (*water resistance*) baik
- Harganya murah, lebih murah dibandingkan gemuk kalsium sulfonat kompleks

Namun, karena keterbatasan temperatur kerja, gemuk kalsium kompleks anhidrida ini tidak cocok untuk aplikasi serba guna dan biasanya akan gagal pada Uji Beban Timken.

Gemuk kalsium kompleks anhidrida yang mengandung *thickening agent* sabun kalsium kompleks dengan *base oil* asam asetat. Sabun kompleks ini terdiri dari sabun kalsium anhidrida dengan berat molekul asam karboksilat yang rendah dan sedang, di mana komposisinya berguna untuk pelumasan piston silinder mesin diesel kapal laut (Clark & Morway, 1963).

Gemuk kalsium kompleks anhidrida memiliki kelebihan dibanding gemuk kalsium kompleks lainnya yaitu gemuk kalsium kompleks anhidrida memiliki kestabilan penyimpanan yang lebih baik. Namun, sayangnya gemuk anhidrida juga memiliki keterbatasan temperatur kerja karena ketiadaan air yang berfungsi sebagai pendingin dalam pelumasan.

2.2.2.3 Gemuk Kalsium Kompleks Hidrat

Gemuk kalsium kompleks ini berbeda dari gemuk kalsium kompleks anhidrida karena gemuk ini mengandung air walaupun dalam jumlah terbatas. Jumlah air yang terbatas ini berguna untuk menstabilkan gemuk. Penambahan sedikit air dalam bentuk *free water* sebesar 0,1 % berat pada gemuk kalsium

kompleks anhidrida memberikan penambahan kestabilan gemuk. Penambahan air tersebut juga mempunyai beberapa efek positif lain, yaitu : jumlah padatan yang terseparasi selama uji sentrifugasi berkurang ketika penambahan air tersebut serta bertambahnya viskositas gemuk (**Clark & Morway, 1963**).

Gemuk kalsium kompleks dalam penelitian tersebut terdiri dari *base oil* minyak mineral, asam lemak dari minyak kelapa, kalsium hidroksida dan asam asetat. Pembuatan gemuk dilakukan dengan reaksi saponifikasi in situ serta penambahan *base oil* secara perlahan.

Gemuk yang dibuat sebaiknya bersifat agak basa, dengan jumlah ekse basa ($\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) berkisar antara 1-8% berat dari berat $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ stoikiometrik. Gemuk yang bersifat basa tersebut berguna untuk menetralkan asam yang bersifat korosif yang terbentuk dari gemuk yang terdegradasi. Selain itu, gemuk yang bersifat basa memiliki ketahanan yang lebih baik (**Dreher, 1965**).

Berdasarkan **Dreher (1965)**, didapatkan rasio mol sabun $\frac{\text{Ca - asetat}}{\text{Ca - hidroksi stearat}}$ yang terbaik untuk gemuk adalah (2-5):1 untuk base oil minyak mineral. Gemuk yang dihasilkan memiliki *dropping point* tinggi (hingga 293°C) dan memiliki lapisan pelumasan dan ketahanan beban yang baik. Gemuk-gemuk yang dihasilkan dalam penelitian di atas, secara umum dapat diringkas dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.10 Ringkasan Studi Literatur Komposisi Gemuk

PENELITIAN	KOMPOSISI GEMUK	KETERANGAN
Marius (2007) Skripsi DTK-UI	- Komposisi <i>thickening agent</i> 15% berat.	Semakin besar komposisi <i>thickening agent</i> , semakin keras gemuk.
Clark & Morway (1963) U.S. Patent No 3,071,547	- Komposisi <i>thickening agent</i> 6-8 % berat - Rasio asam asetat : asam lemak rantai panjang terbaik (<i>capric acid</i>) adalah 11,5 : 1 hingga 25 : 1 - <i>Base oil</i> : minyak mineral	Kemampuan anti aus dan ketahanan beban gemuk yang dihasilkan sangat baik.
Dreher (1965) U.S. Patent No 3,186,944	- $\frac{\text{mol sabun kalsium asetat}}{\text{mol sabun kalsium 12 - hidroksi stearat}}$ paling baik adalah (2-5) : 1 - Ekse basa 1% - 8% dari $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Gemuk bersifat basa untuk menetralkan asam dari gemuk yang terdegradasi

	stoikiometrik - <i>Base oil</i> : minyak mineral	
--	---	--

Berdasarkan **Clark & Morway (1963)** serta **Dreher(1965)** di atas, *base oil* minyak mineral yang digunakan bersifat beracun sehingga penelitian gemuk tersebut tidak dapat dikategorikan dalam gemuk foodgrade. Namun, gemuk tersebut secara umum memiliki kesamaan *thickening agent* (sabun kalsium kompleks dengan *base oil* asam asetat) yang akan digunakan dalam pembuatan gemuk ini sehingga diharapkan sifat-sifat baik dari gemuk hasil penelitian tersebut dapat diaplikasikan dalam gemuk yang akan dibuat ini, walaupun terdapat perbedaan penggunaan *base oil*.

Secara khusus, komposisi dari gemuk hasil penelitian di atas dengan penggunaan rasio mol sabun $\frac{\text{Ca - asetat}}{\text{Ca - hidroksi stearat}}$ serta penggunaan eksese basa 5% dapat diaplikasikan untuk meningkatkan kualitas gemuk kalsium tanpa kompleks yang dibuat oleh **Marius (2007)** dan **Dizi (2007)** di lab DTK-UI.

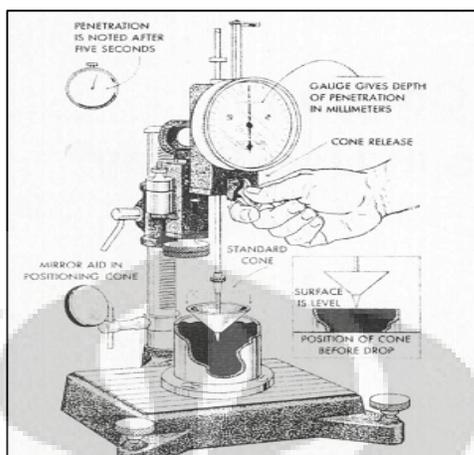
2.3 PARAMETER UJI PELUMAS GEMUK

Pelumas gemuk memiliki beberapa parameter yang menentukan apakah gemuk tersebut tergolong gemuk yang baik atau tidak. Parameter uji pelumas gemuk menggunakan standar uji dari ASTM (*American Standard Thermal Material*). Berdasarkan **Rush (1997)**, parameter yang sering digunakan dalam uji pelumas gemuk sebagai berikut.

2.3.1 Konsistensi

Parameter mutu pelumas gemuk paling penting, yang membedakan gemuk dari pelumas lainnya, adalah sifatnya yang semi-solid. Namun, sesungguhnya gemuk memiliki tingkat kekerasan yang bervariasi dari sangat lembut, semi solid atau keras seperti lilin. Tingkat kekerasan gemuk ini disebut konsistensi (**Landsdown, 1982**).

Konsistensi gemuk diukur dengan cara uji penetrasi (ASTM D217) menggunakan penetrometer, di mana parameternya dinyatakan dalam “bilangan penetrasi”. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat gambar berikut ini.



Gambar 2.4 Uji Konsistensi Gemuk (Rush, 1997)

Konsistensi gemuk penting untuk menentukan aplikasi gemuk yang sesuai. Gemuk yang terlalu kaku akan sulit diaplikasikan pada permukaan pelumasan, sementara gemuk yang terlalu cair mudah bocor.

Gemuk dapat mengeras atau melunak karena efek kontaminasi, penguapan minyak ataupun gaya mekanik. Tingkat perubahan konsistensi karena pengaruh mekanik bergantung pada stabilitas struktur matriks sabun. Gemuk yang tidak stabil dapat menjadi sangat lembut, atau bahkan mengalir seperti cairan ketika diberikan perlakuan mekanik, namun umumnya terjadi sedikit pelunakan ataupun pengerasan gemuk.

Konsistensi gemuk juga menunjukkan derajat agregasi jaring-jaring sabun. Jika jaring-jaring matriks gemuk saling kait-mengait maka gemuk dikatakan 'kasar' dan ketika jaring-jaring gemuk bergabung membentuk jaring yang lebih besar, gemuk dikatakan 'lembut'. Kekasaran atau kelembutan gemuk sangat mempengaruhi operasi stabil rolling bearing. Jika gemuk terlalu lembut, maka gumpalan gemuk yang stabil tidak terbentuk selama operasi rolling bearing. Gemuk akan menjadi cair dan tersirkulasi dalam bearing mengakibatkan temperatur operasi yang tinggi dan umur gemuk pendek. Untuk alasan yang tidak diketahui, gemuk yang kasar akan terdesak keluar dari bearing dan bearing akan cepat aus. Gemuk yang tidak terlalu kasar dan tidak terlalu lembut menghasilkan

temperatur operasi dan tingkat keausan paling rendah (**Stachowiak & Batchelor, 2008**).

Semakin besar bilangan penetrasi, semakin rendah konsistensi gemuk. Konsistensi gemuk diukur dengan kedalaman logam kerucut yang dapat masuk ke dalam struktur pelumas gemuk. Kedalaman tersebut dicocokkan dengan tabel klasifikasi standar NLGI sebagai berikut.

Tabel 2.11 Klasifikasi Gemuk Menurut NLGI

Bilangan NLGI	Worked Penetration pada 25 ^o C (0,1 mm)	Konsistensi	Aplikasi
000	445 – 475	Sangat lembut	-
00	400 – 430	Sangat lembut	Gigi Tertutup
0	355 – 385	Lembut	Gigi Tertutup, Gigi Terbuka
1	310 – 340	<i>Creamy</i>	<i>Rolling Bearing, Plain Bearing, Gigi Terbuka</i>
2	265 – 295	Semi solid	<i>Rolling Bearing, Plain Bearing, Gigi Terbuka, Coupling</i>
3	220 – 250	<i>Semi hard</i>	<i>Rolling Bearing</i>
4	175 – 205	Keras	<i>Rolling Bearing</i>
5	130 – 160	Sangat keras, seperti sabun	-
6	85 – 115	Sangat keras, seperti sabun	-

Sumber : [NLGI] *National Lubricating Grease Institute*. 1984

2.3.2 Dropping point

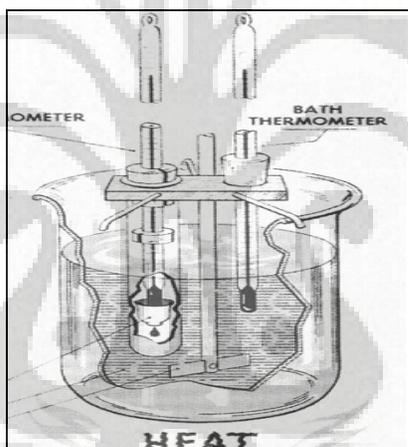
Dropping point merupakan parameter pelumas gemuk yang terpenting sesudah konsistensi. *Dropping point* adalah temperatur gemuk ketika gemuk berubah fasa dari semi-solid menjadi liquid. Perubahan fasa terjadi karena struktur matriks sabun rusak, sehingga keseluruhan gemuk menjadi cair (**Landsdown, 1982**).

Batasan temperatur penggunaan gemuk dipengaruhi oleh dropping point, oksidasi base oil, dan pengerasan gemuk pada temperatur rendah. Jika gemuk dipanaskan hingga di atas dropping point-nya, umumnya gemuk kehilangan konsistensi dan kemampuan-nya semula. Karena itulah, dropping point menjadi

penting, walaupun bukan batasan mutlak penggunaan gemuk. Gemuk yang mengalami oksidasi biasanya menjadi lebih gelap, lebih lunak, dan mengalami pemisahan thickening agent dan base oil. Sedangkan, pada temperatur rendah, base oil dapat membeku yang membuat gemuk tidak dapat berfungsi.

Dropping point terutama bergantung jenis sabun, stabilitas oksidasi bergantung pada jumlah oksigen yang ada, dan temperatur rendah bergantung pada viskositas base oil.

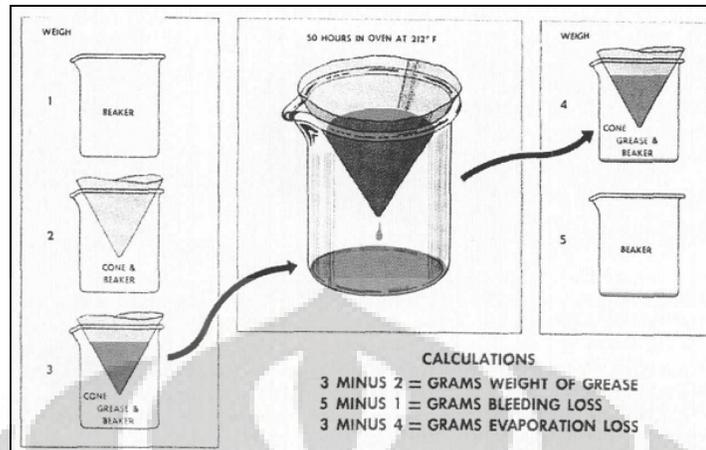
Dropping point diukur dengan uji dropping point sesuai gambar berikut. Gemuk ditempatkan dalam cup pengujian dan dipanaskan hingga menetes dari cup. Temperatur dari kedua thermometer kemudian dirata-rata untuk mendapatkan nilai dropping point.



Gambar 2.5 Uji *Dropping point* (Rush, 1997)

2.3.3 *Bleeding/Oil Separation*

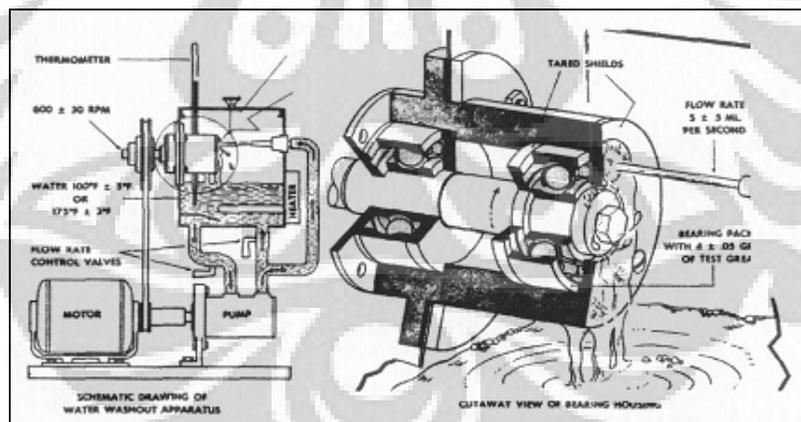
Bleeding merupakan kondisi ketika minyak pelumas terpisah dari *thickener*. Kondisi yang menyebabkan terjadinya *bleeding* yaitu kondisi temperatur tinggi atau terjadi karena masa penyimpanan yang lama. Untuk lebih jelasnya mengenai uji *bleeding*, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.6 Uji Bleeding (Rush, 1997)

2.3.4 Water Wash Out

Water wash out merupakan daya tahan gemuk terhadap air tanpa mengalami perubahan kemampuan pelumasan. Busa sabun menutup minyak dalam pelumas gemuk, membentuk emulsi yang yang dapat dengan mudah terbilas, sehingga mengurangi kemampuan pelumasan dan mengubah tekstur dan konsistensi gemuk. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

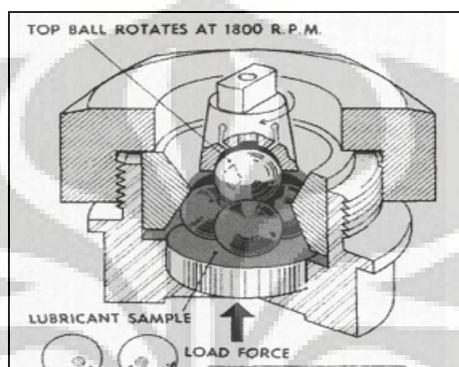


Gambar 2.7 Uji Water Wash Out (Rush, 1997)

2.3.5 Four Ball Test

Four ball test dapat digunakan untuk menguji tingkat keausan gemuk. Pengujian dilakukan dengan dengan mengaplikasikan gemuk pada sistem dengan

empat bola baja dalam bentuk tetrahedral. Bola yang terletak di atas berputar pada 1150 rpm sedangkan tiga buah bola di bawah dipasang secara statis. Setelah pengujian berjalan setelah selang waktu tertentu maka akan terdapat goresan (*scar*) pada bola. Goresan ini selanjutnya akan dianalisis untuk mengetahui seberapa baik performa gemuk dalam menahan keausan.



Gambar 2.8 Four Ball Test (Rush, 1997)

Analisis yang dapat dilakukan terhadap goresan bola dapat dilakukan ataupun dengan cara memotret goresan menggunakan teknologi SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Dengan memotret goresan, maka diameter goresan pada ketiga bola dapat diukur dan kemudian dirata-rata, sehingga didapat suatu nilai yang merupakan ukuran uji *four ball test*. Untuk lebih jelasnya dapat disimak gambar berikut ini.

Namun, karena keterbatasan alat, maka uji menggunakan SEM dan pengukuran diameter goresan tidak dilakukan. Analisis keausan yang dilakukan yaitu dengan cara menimbang massa bola sebelum dan sesudah pengujian sehingga dapat diketahui jumlah keausannya.

Selain beberapa parameter tersebut, gemuk juga memiliki beberapa karakteristik penting yaitu (Marth, 2008) :

a. Stabilitas mekanik

Konsistensi gemuk dapat berubah ketika dikenai beban mekanis di antara dua permukaan. Kemampuan gemuk untuk mempertahankan konsistensinya ketika diberikan beban kerja disebut stabilitas mekanik

b. Stabilitas oksidasi

Stabilitas oksidasi adalah kemampuan gemuk untuk tidak bereaksi dengan oksigen. Oksidasi gemuk menghasilkan endapan yang tidak larut yang menyebabkan operasi yang lambat dan keausan mesin meningkat. Pemaparan gemuk pada suhu tinggi mempercepat oksidasi dalam gemuk.

c. Efek temperatur tinggi

Akibatnya, kelebihan temperatur menghasilkan percepatan oksidasi atau pembentukan karbon sehingga gemuk mengeras dan membentuk lapisan kerak.

d. Efek temperatur rendah

Jika temperatur gemuk diturunkan hingga cukup rendah, gemuk akan menjadi sangat *viscous* sehingga dapat diklasifikasikan sebagai gemuk keras. Akibatnya gemuk semakin sulit dipompa dan operasi mesin terhambat karena batasan torsi dan kebutuhan energi yang sangat besar.

e. Tekstur

Tekstur diamati ketika sedikit sampel gemuk ditekan di antara ibu jari dan telunjuk dan perlahan dipisahkan. Tekstur dapat diklasifikasikan menjadi :

- Rapuh : gemuk putus atau pecah ketika ditekan
- Lembut seperti mentega : gemuk memisah dalam gumpalan kecil tanpa serat yang terlihat
- Berserat panjang : gemuk terentang menjadi satu berkas serat ketika dipisahkan
- Elastis seperti pegas : gemuk dapat menahan kompresi tekanan sedang tanpa terjadi deformasi permanen atau hancur
- Berserat pendek : gemuk mudah putus dengan keberadaan serat.
- Berserabut : gemuk terentang menjadi satu benang panjang, tanpa keberadaan serat.

f. Kompatibilitas

Ketika gemuk yang berasal dari *thickener* yang berbeda dicampur, campuran yang dihasilkan mungkin memiliki performa yang lebih buruk daripada performa masing-masing gemuk yang dicampur. Pengurangan performa ini disebut inkompatibilitas. Campuran gemuk yang tidak menunjukkan bentuk-bentuk pengurangan tersebut merupakan campuran yang kompatibel (cocok). Berikut ditampilkan tabel kompatibilitas gemuk.

Tabel 2.12 Kompatibilitas Campuran Gemuk Biner

	Litium	Li Kompleks	Al Kompleks	Kalsium	Ca Kompleks	Ba Kompleks	Sodium	Bentonit (<i>clay</i>)	Poliurea
Litium	-	Ya	Mungkin	Ya	Mungkin	Tidak	Mungkin	Tidak	Mungkin
Li Kompleks	Ya	-	Mungkin	Mungkin	Mungkin	Tidak	Mungkin	Tidak	Mungkin
Al Kompleks	Mungkin	Mungkin	-	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Mungkin
Kalsium	Ya		Tidak	-	Mungkin	Tidak	Tidak	Tidak	Mungkin
Ca Kompleks	Mungkin	Mungkin	Tidak	Ya	-	Tidak	Tidak	Tidak	Mungkin
Ba Kompleks	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	-	Tidak	Tidak	Tidak
Sodium	Mungkin						-	Tidak	Tidak
Bentonit (<i>clay</i>)	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	-	Tidak
Poliurea	Mungkin	Mungkin	Mungkin	Mungkin	Mungkin	Tidak	Tidak	Tidak	-

Sumber : *Lubrication Fact Sheet*, Jan 2003

2.4 PEMBUATAN GEMUK

Pembuatan gemuk lebih sesuai disebut seni daripada proses ilmiah, hal ini karena sulitnya memprediksi proses pembuatan gemuk, terutama jika proses saponifikasi yang dilakukan berasal dari minyak nabati, atau di mana digunakan thickener non-sabun yang tidak umum (**Landsdown, 1982**).

Kunci dalam pembuatan gemuk adalah harmoni antara kemampuan base oil melarutkan dan kelarutan thickener. Ini mempengaruhi waktu pengadukan dan laju pendinginan yang diperlukan untuk mendapatkan struktur gemuk terbaik. Ketika larutan sabun dalam minyak didinginkan, molekul-molekul sabun keluar dari larutan dan mengkristal membentuk jaring-jaring matriks gemuk. Laju pendinginan dan pengadukan menentukan panjang jaring-jaring dan pembentukan pori-pori matriks gemuk (**Caines & Roger, 1996**).

Umumnya, pembuatan gemuk dilakukan dalam *grease kettle*, yang merupakan tangki berpemanas dengan lubang untuk penambahan material dan saluran pipa untuk pelepasan uap air dan uap lainnya. Kettle dilengkapi dengan pendinginan pada laju tertentu. Sabun terbentuk melalui reaksi saponifikasi dan sebagian base oil ditambahkan kemudian. Seluruh campuran dipanaskan hingga reaksi sempurna dan kemudian didinginkan.

Temperatur reaksi, jumlah pengadukan dan laju pendinginan merupakan faktor-faktor penting untuk mendapatkan struktur jaring-jaring matriks gemuk yang tepat. Penambahan minyak pada akhir pembuatan gemuk berfungsi untuk

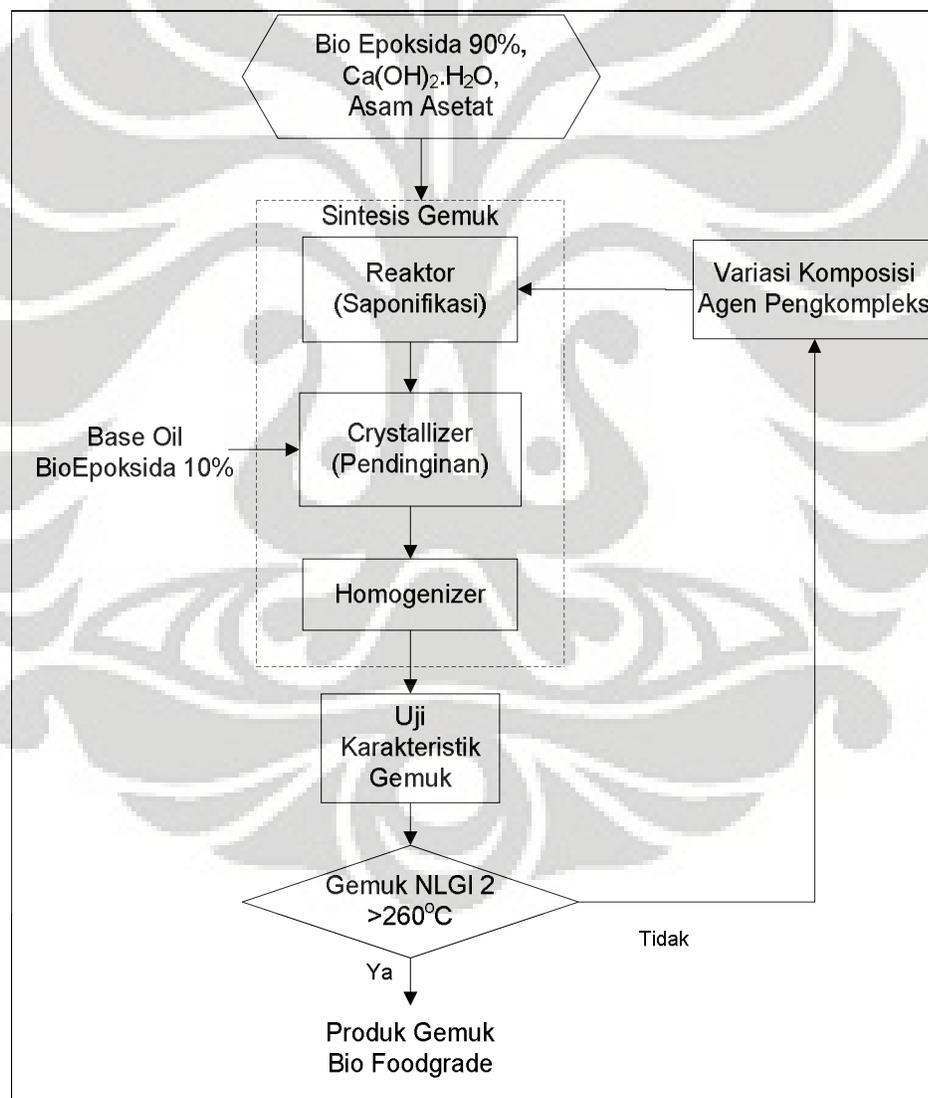
pendinginan awal, namun biasanya tetap dibutuhkan sirkulasi air pendingin. Penggilingan lemak berfungsi untuk mematahkan jaring-jaring lemak yang panjang, namun penggilingan berlebih dapat merusak struktur lemak.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan gemuk foodgrade yang diikuti dengan uji karakteristik gemuk hasil percobaan melalui *penetration value*, *dropping point*, dan uji *four ball*. Berikut ini diagram alir penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Sintesis Gemuk

3.2.1 Penentuan Komposisi Gemuk

Sebelum membahas mengenai sintesis gemuk, perlu ditentukan terlebih komposisi gemuk yang akan dibuat. Komposisi gemuk adalah perbandingan antara *base oil*, *thickening agent* dan aditif. *Thickening agent* yang digunakan pada penelitian ini adalah sabun kalsium 12-hidroksi stearat yang berasal dari reaksi saponifikasi dari asam 12-hidroksi stearat dan kalsium hidroksida serta sabun kalsium asetat yang berasal dari reaksi saponifikasi asam asetat (sebagai agen pengkompleks) dan kalsium hidroksida.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dibahas dalam tinjauan pustaka (Marius, 2007; Morway, 1963 dan Dreher, 1965), maka didapatkan komposisi gemuk yang akan diteliti yaitu komposisi *thickening agent* dibuat tetap sejumlah 15% dengan variabel yang divariasikan dalam penelitian ini adalah rasio mol kalsium asetat dengan kalsium 12-hidroksi stearat. Rasio mol kalsium asetat dan kalsium hidroksi stearat yang digunakan adalah (0-6):1 Pada penelitian ini digunakan ekwes $\text{Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ sebesar 5 % dari berat $\text{Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ stoikiometrik. Atau bila disusun dalam bentuk tabel, akan didapat komposisi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Komposisi Gemuk yang Akan Diteliti

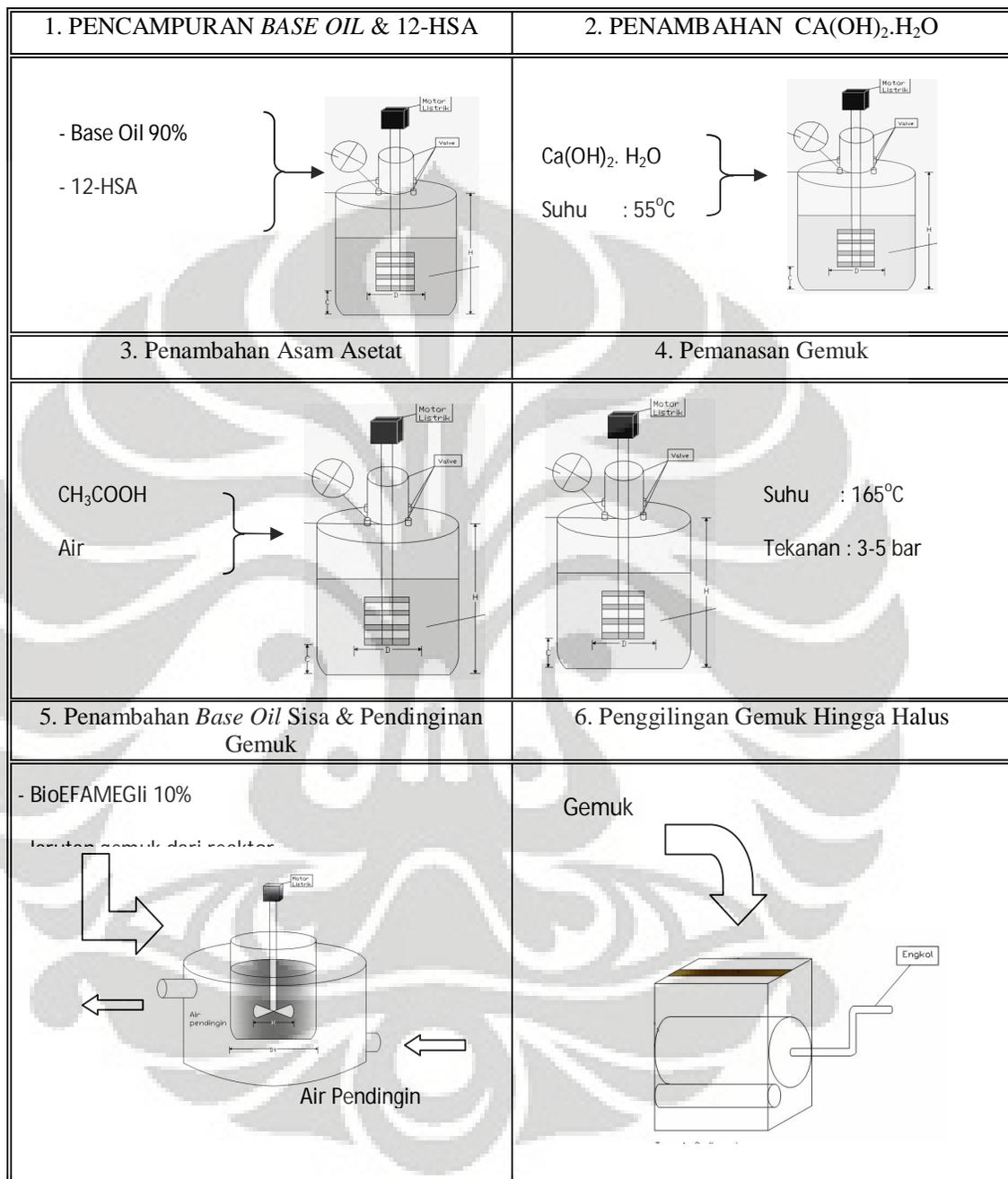
Formulasi Gemuk	Rasio Ca-Asetat/Ca-Steart													
	0		1		2		3		4		5		6.0	
	gram	% berat	gram	% berat	gram	% berat	gram	% berat	gram	% berat	gram	% berat	gram	% berat
Asam 12-hidroksi stearat	705	14%	705	13%	705	13%	635	12%	635	12%	635	11%	635	11%
$\text{Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	114	2%	227	4%	341	6%	409	8%	511	9%	613	11%	715	12%
CH_3COOH	0	0%	141	3%	282	5%	381	7%	508	9%	635	11%	762	13%
Base Oil	4250	84%	4250	80%	4250	76%	3825	73%	3825	70%	3825	67%	3825	64%
Total	5069	100%	5323	100%	5578	100%	5249	100%	5479	100%	5708	100%	5937	100%

Keterangan : Perhitungan lebih jelas dapat dilihat di Lampiran.

3.2.2 Diagram Alir Sintesis Gemuk

Sintesis produk dilakukan dalam reaktor *batch* tertutup, yang terdiri dari tiga tahapan kegiatan yaitu reaksi saponifikasi di dalam reaktor *batch* tertutup,

pendinginan di dalam crystalizer, dan penghalusan gemuk di homogenizer.
Diagram alir proses sintesis gemuk dapat dilihat selengkapnya di bawah ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Sintesis Gemuk

3.2.3 Prosedur Sintesis Gemuk

Prosedur sintesis lemak melibatkan reaksi saponifikasi untuk mendapatkan sabun kalsium kompleks yang selanjutnya digunakan sebagai *thickening agent* dalam pembentukan lemak. Pembentukan sabun ini dilakukan secara *in situ* bersamaan dengan pendispersian sabun (*thickening agent*) yang terbentuk dalam *base oil*. Prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Mencampurkan *base oil* 90% dan asam 12-hidroksi stearat ke dalam reaktor *batch* tertutup sesuai komposisi lemak di atas.
2. Setelah itu reaktor ditutup, pengaduk dinyalakan sesuai kecepatan yang diperlukan dan campuran dipanaskan hingga suhu 55°C. Menambahkan Ca(OH)₂ · H₂O secara perlahan-lahan.
3. Menaikkan suhu hingga 80°C dan menambahkan asam asetat
4. Memanaskan campuran hingga 165°C, kemudian temperatur dijaga konstan selama 15 menit dengan tekanan (3 – 4 bar).
5. Menuangkan campuran sabun kalsium kompleks dengan *base oil* ke dalam *crystalizer*.
6. Mengaduk campuran dalam *crystalizer*, lalu memasukkan *base oil* sisa (10%).
7. Pengadukan terus dilakukan hingga suhu campuran turun menjadi suhu kamar. Pada saat suhu lemak menurun maka terbentuk lemak kalsium kompleks. Lemak yang terdapat dalam *crystalizer* pada awalnya masih berbentuk cairan, sehingga kerja motor untuk pengaduk masih kecil, namun ketika lemak mulai memadat kerja motor menjadi besar.
8. Memasukkan produk lemak kalsium kompleks ke dalam *homogenizer*. Dalam *homogenizer*, produk digiling untuk mendapatkan produk akhir lemak dengan ukuran partikel kecil dan homogen.

3.2.4 Peralatan Dalam Sintesis Lemak

Diagram alir proses di atas menunjukkan reaksi saponifikasi dalam reaktor *batch* tertutup, pendinginan dalam *crystalizer* dan penggilingan dalam *homogenizer*. Penelitian ini menggunakan reaktor yang bertekanan. dengan kapasitas 10 kg. Sehingga berat sampel percobaan maksimal ± 5 kg. Hal ini untuk menghindari kenaikan tekanan yang sangat besar selama proses pemanasan

(proses pemanasan berlangsung pada suhu tinggi $\pm 165^{\circ}\text{C}$). Foto reaktor yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 Reaktor *Batch* Tertutup Skala Pilot

Fungsi utama reaktor adalah tempat terjadinya reaksi saponifikasi dan pendispersian sabun dalam base oil. Reaktor dilengkapi dengan pressure gauge untuk mengetahui tekanan dalam autoclave selama proses pemanasannya. Untuk aspek keamanan, reaktor dilengkapi dengan pressure safety valve untuk melepaskan tekanan berlebih dalam reaktor. Pada bagian bawah reaktor terdapat valve untuk mengalirkan larutan gemuk ke dalam *crystallizer*.

Crystallizer yang digunakan memiliki kapasitas ± 5 kg dengan material yang digunakan untuk wadah dan pengaduknya adalah stainless steel. Fungsi utama *crystallizer* di sini adalah sebagai wadah pendingin gemuk menggunakan sirkulasi air. Untuk lebih jelas, dapat dilihat foto *crystallizer* berikut ini.



Gambar 3.4 Crystalizer

Selain reaktor tertutup dan crystalizer, pada penelitian ini juga digunakan *homogenizer* untuk menghaluskan gemuk sehingga strukturnya homogen. Homogenizer yang digunakan sebagai berikut.



Gambar 3.5 Homogenizer

3.3 Uji Karakteristik Gemuk

Gemuk kalsium kompleks yang dihasilkan perlu diuji beberapa karakteristiknya untuk mengetahui kualitas dari gemuk tersebut. Pengujian gemuk yang diperlukan adalah sebagai berikut:

3.3.1 Penetration (ASTM D-217)

Pengujian penetrasi dari gemuk yang dihasilkan menggunakan alat yang disebut *penetrometer*. Dalam penelitian ini terdapat dua jenis pengujian yang akan dilakukan yaitu unworked penetration dan worked penetration.

A. Unworked Penetration

- a. Gemuk yang dihasilkan ditempatkan ke dalam wadah *cup* penguji.

- b. Tanpa adanya perlakuan (ditekan ataupun dikocok), pelumas gemuk langsung ditempatkan ke dalam penetrometer.
- c. Ujung kerucut dari penetrometer dibiarkan jatuh masuk (penetrasi) ke dalam permukaan gemuk.
- d. Nilai penetrasi, yaitu kedalaman masuknya penetrometer dapat diketahui

B. *Worked Penetration*

- a) Pelumas gemuk sebelum duji, terlebih dahulu diberikan usaha (ditekan atau dikocok) dengan menggunakan alat yang disebut “gemuk *worker*” sebanyak 0, 60 dan 10000 langkah.
- b) Gemuk yang dihasilkan ditempatkan ke dalam wadah *cup* penguji.
- c) Ujung kerucut dari penetrometer dibiarkan jatuh masuk (penetrasi) ke dalam permukaan gemuk.
- d) Nilai penetrasi, yaitu kedalaman masuknya penetrometer dapat diketahui

3.3.2 *Dropping point (ASTM D-566)*

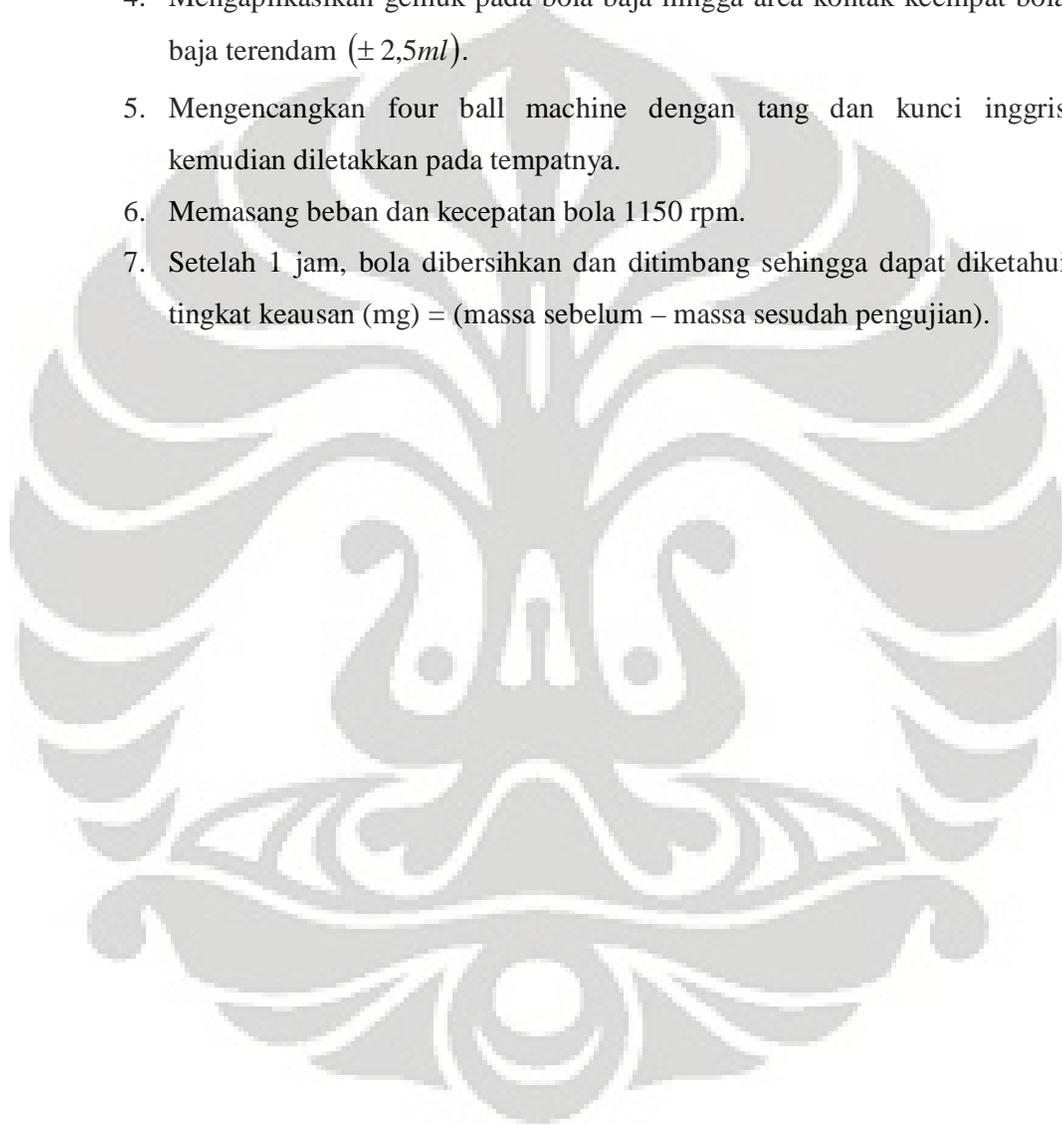
Peralatan yang digunakan dalam uji ini adalah termometer, *heated oil batch*, dan *cup* penguji. Prosedur pengujian *dropping point* yaitu :

- a) Membersihkan *cup* penguji dan termometernya.
- b) Gemuk dimasukkan ke dalam *cup*, lalu dipadatkan ke dinding *cup* dengan menggunakan batangan pematik
- c) Termometer dimasukkan ke dalam *cup*, tetapi tidak menyentuh gemuk yang akan diuji.
- d) Masukkan perangkat tersebut ke dalam *heated oil batch* yang di dalamnya juga terpasang termometer
- e) Setelah semua peralatan terpasang, panaskan *batch* hingga temperaturnya naik secara perlahan-lahan hingga terjadi tetesan gemuk
- f) Mencatat temperatur yang ditunjukkan kedua termometer ketika terjadi tetesan pertama. Lalu temperatur tersebut dirata-ratakan.

3.3.3 *Uji Four Ball (ASTM D-4172)*

Pengujian Four ball test bertujuan untuk mengukur keausan gemuk, dengan prosedur prosedur pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Mencuci bola baja dengan toluen, kemudian mengeringkan di udara bebas.
2. Menimbang keempat bola.
3. Memasang bola pada alat penguji. Tiga bola dipasang di bagian bawah dan dipasang statis, sedangkan 1 bola dipasang di atas ketiga bola lain pada bagian yang berputar.
4. Mengaplikasikan gemuk pada bola baja hingga area kontak keempat bola baja terendam ($\pm 2,5ml$).
5. Mengencangkan four ball machine dengan tang dan kunci inggris kemudian diletakkan pada tempatnya.
6. Memasang beban dan kecepatan bola 1150 rpm.
7. Setelah 1 jam, bola dibersihkan dan ditimbang sehingga dapat diketahui tingkat keausan (mg) = (massa sebelum – massa sesudah pengujian).



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

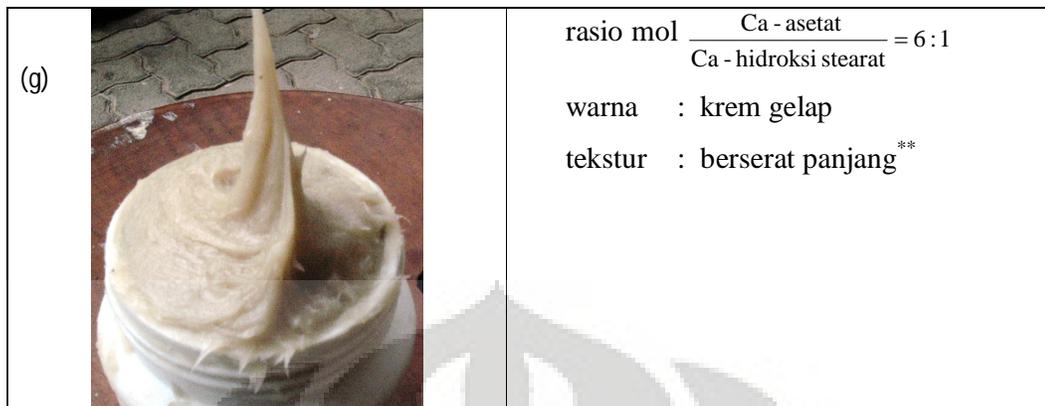
Penelitian ini menghasilkan gemuk bio kalsium kompleks dengan variasi rasio mol sabun Ca-asetat dan sabun Ca-hidroksi stearat. Gemuk bio kalsium kompleks yang dihasilkan kemudian diamati dan diuji untuk mengetahui pengaruh jumlah agen pengkompleks terhadap tampilan fisik gemuk, *dropping point*, penetrasi dan uji *four ball*. Hasil pengamatan dan pengujian akan dijelaskan lebih lanjut berikut ini.

4.1 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Tampilan Fisik Gemuk

Tampilan fisik adalah karakter yang pertama kali dilihat dan dirasakan dari gemuk. Tampilan fisik yang diamati di sini yaitu warna dan tekstur gemuk. Berikut ini adalah hasil yang didapat dari pengamatan tampilan fisik gemuk bio kalsium kompleks.

Gambar	Tampilan Fisik
(a) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tanpa agen pengkompleks ▪ warna : putih ▪ tekstur : lembut (<i>buttery</i>)
(b) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rasio mol $\frac{\text{Ca - asetat}}{\text{Ca - hidroksi stearat}} = 1 : 1$ ▪ warna : kuning-krem ▪ tekstur : lembut (<i>buttery</i>)

<p>(c)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rasio mol $\frac{\text{Ca - asetat}}{\text{Ca - hidroksi stearat}} = 2 : 1$ warna : krem cerah tekstur : lembut (<i>buttery</i>)
<p>(d)</p> 	<p>rasio mol $\frac{\text{Ca - asetat}}{\text{Ca - hidroksi stearat}} = 3 : 1$</p> <p>warna : krem cerah</p> <p>tekstur : berserat pendek*</p>
<p>(e)</p> 	<p>rasio mol $\frac{\text{Ca - asetat}}{\text{Ca - hidroksi stearat}} = 4 : 1$</p> <p>warna : krem gelap</p> <p>tekstur : berserat pendek*</p>
<p>(f)</p> 	<p>rasio mol $\frac{\text{Ca - asetat}}{\text{Ca - hidroksi stearat}} = 5 : 1$</p> <p>warna : krem gelap</p> <p>tekstur : berserat pendek*</p>



Keterangan :

* berserat pendek : gemuk mudah putus dengan keberadaan serat

** berserat panjang : gemuk terentang menjadi seberkas serat panjang ketika dipisahkan

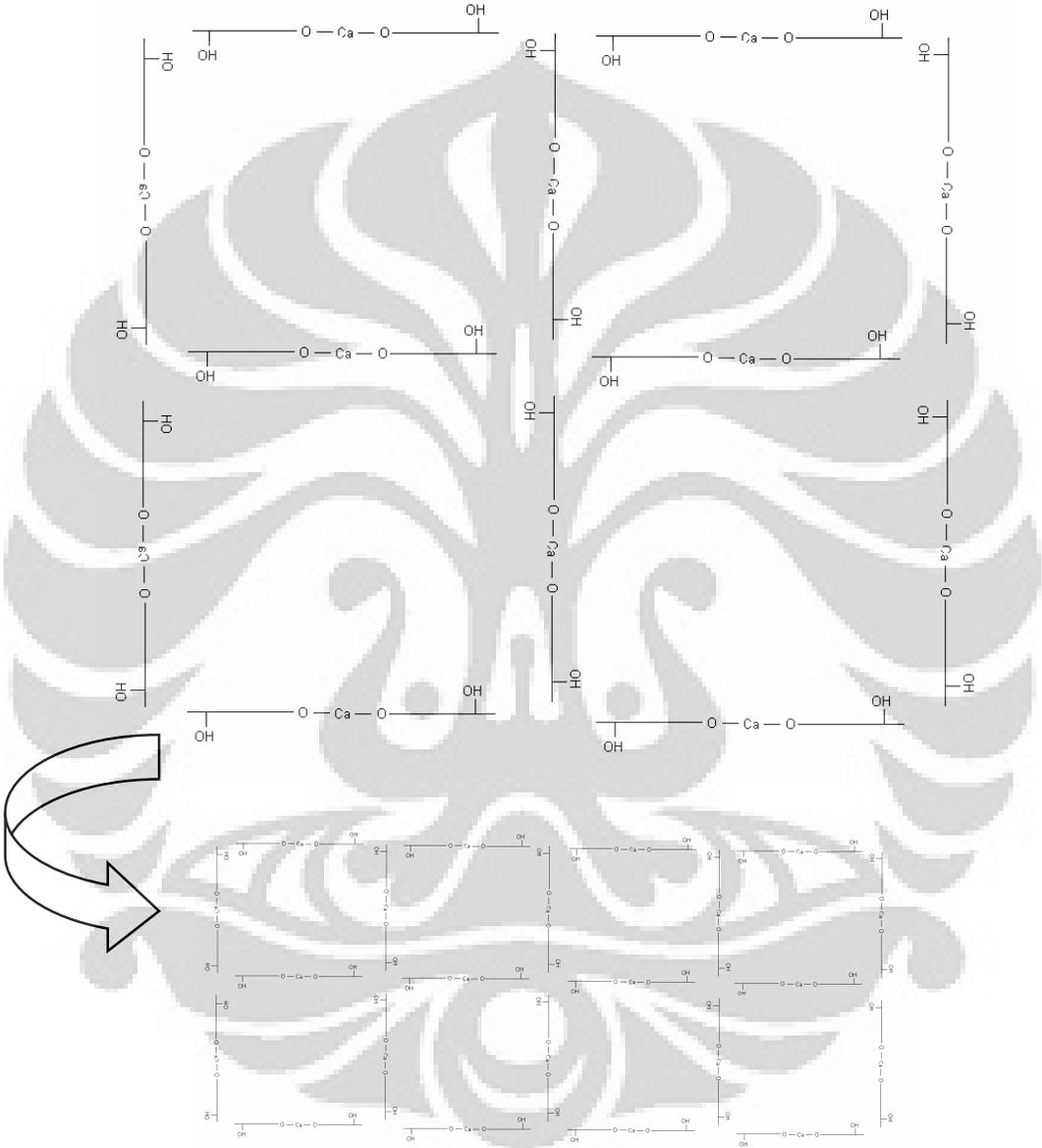
Gambar 4.1 (a) Gemuk Tanpa Agen Pengkompleks, (b) Gemuk 1:1, (c) Gemuk 2:1, (d) Gemuk 3:1, (e) Gemuk 4:1, (f) Gemuk 5:1, (g) Gemuk 6:1

Warna gemuk adalah tampilan fisik yang paling mudah diamati karena cukup menggunakan mata telanjang. Warna gemuk bio yang cerah lebih disukai karena memberikan kesan bersih. Dari gambar 4.1 di atas dapat dilihat bahwa gemuk bio kalsium tanpa kompleks berwarna putih dan semua gemuk bio kalsium kompleks yang dihasilkan berwarna krem. Penambahan jumlah agen pengkompleks menyebabkan warna gemuk bio kalsium kompleks bertambah gelap.

Perbedaan tekstur gemuk diamati dan dirasakan ketika sejumlah sampel gemuk ditekan di antara ibu jari dan jari telunjuk, dan perlahan dipisahkan (Marth, 2008). Dengan metode penekanan sampel gemuk, dapat dirasakan kelembutan dan dapat diamati rentang serat gemuk. Gemuk yang 'terentang' ketika ditarik sehabis ditekan, atau disebut juga gemuk yang berserat, lebih disukai karena lebih lengket (*tacky*) dan memberikan pelumasan yang lebih baik dibandingkan gemuk yang tidak berserat.

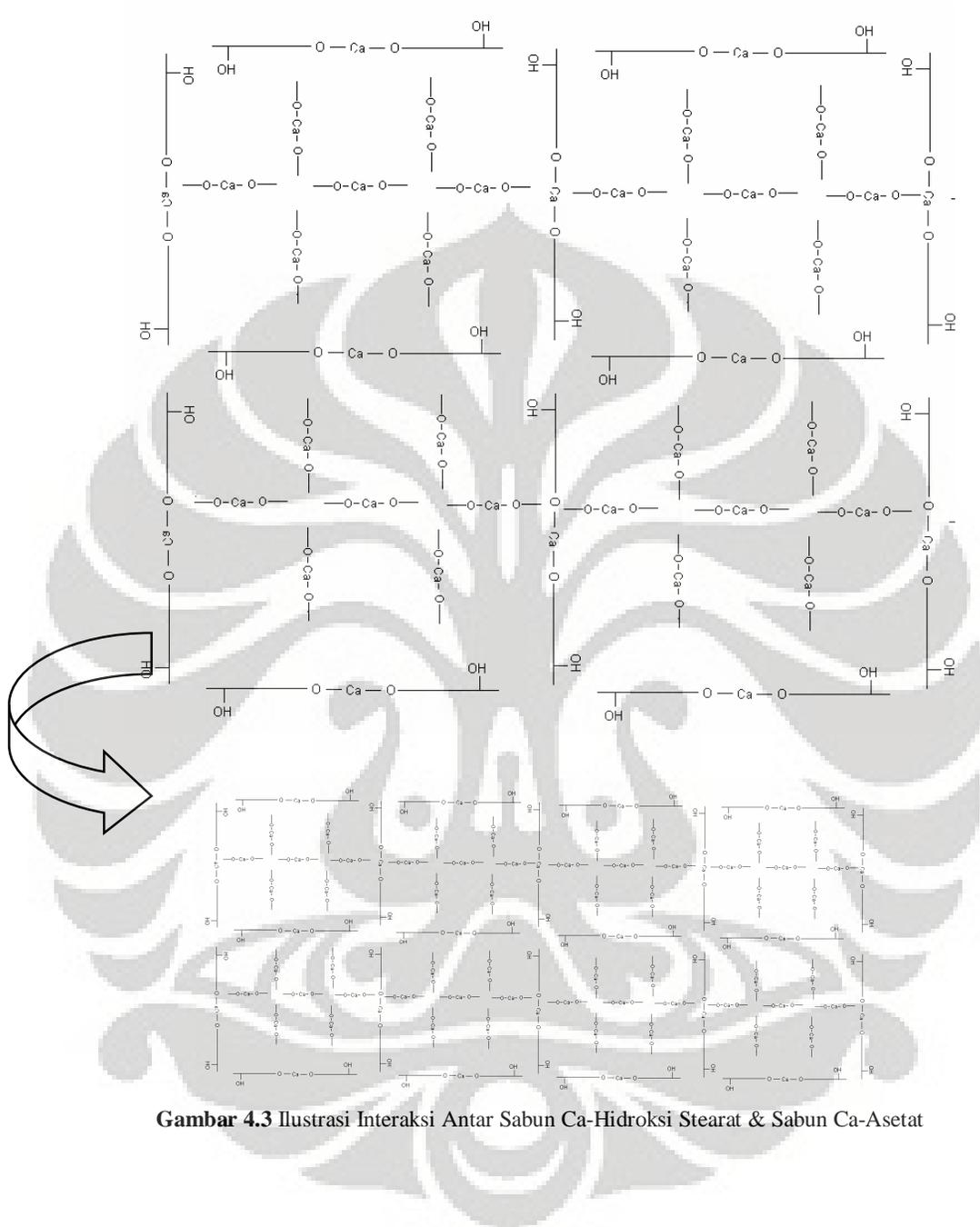
Terdapat dua jenis tekstur gemuk yang didapat dari gemuk penelitian ini yaitu tekstur lembut dan tekstur berserat. Tekstur lembut terdapat pada gemuk tanpa kompleks dan gemuk 1:1 dan gemuk 2:1. Tekstur dipengaruhi oleh mekanisme pemerangkapan base oil dalam gemuk melalui perangkap mekanik. Tekstur lembut dihasilkan dari interaksi antar molekul thickening agent &

komponen polar base oil, efek kapiler, serta perangkat mekanik yang dihasilkan dari interaksi antar sabun Ca-hidroksi stearat dalam membentuk jaring-jaring yang memerangkap base oil. Penggambaran interaksi antar sabun Ca-hidroksi stearat menurut penulis sesuai Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Ilustrasi Interaksi Antar Sabun Ca-hidroksi Stearat

Sedangkan tekstur berserat diperoleh dari interaksi Ca-hidroksi stearat sendiri dan dengan Ca-asetat membentuk jaring-jaring yang memerangkap base oil. Tekstur berserat dibentuk oleh interaksi sabun sesuai Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Ilustrasi Interaksi Antar Sabun Ca-Hidroksi Stearat & Sabun Ca-Asetat

Gemuk 1:1 dan 2:1 memiliki tekstur lembut, tanpa serat, walaupun gemuk 1:1 dan 2:1 sudah memiliki ikatan sabun Ca-asetat dengan base oil. Hal ini mungkin disebabkan jumlah Ca-asetat yang tidak banyak, sehingga gemuk belum memberikan tekstur berserat.

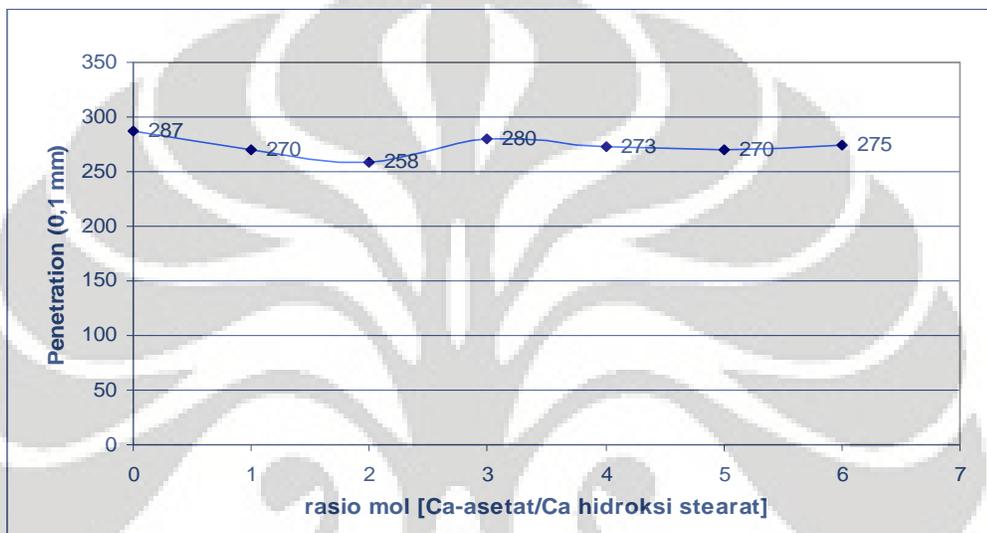
Tekstur gemuk yang berserat, baik berserat pendek maupun panjang, terdapat pada gemuk 3:1 hingga 6:1. Tekstur berserat dihasilkan dari interaksi antar molekul thickening agent & komponen polar base oil, efek kapiler serta interaksi antar sabun Ca-hidroksi stearat sendiri dan dengan Ca-asetat membentuk jaring-jaring yang memerangkap base oil.

Gemuk dengan rasio mol Ca-asetat dan Ca-hidroksi stearat 6:1 memiliki serat lebih panjang dibanding gemuk 3:1 hingga 5:1. Hal ini karena semakin besar kandungan agen pengkompleks, semakin banyak interaksi antara Ca-asetat dengan Ca-hidroksi stearat dan semakin kuat struktur matriks gemuk kompleks yang dihasilkan, terlihat dari gemuk yang dapat 'direntang' lebih panjang.



4.2 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji Penetrasi

Uji penetrasi digunakan untuk mengukur konsistensi gemuk. Konsistensi adalah ketahanan gemuk terhadap deformasi oleh suatu gaya eksternal. Parameter uji penetrasi dinyatakan dalam bilangan penetrasi. Bilangan penetrasi berbanding terbalik dengan konsistensi. Hasil pengukuran uji penetrasi terhadap gemuk yang dihasilkan dalam penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 4.4 Kurva Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji Penetrasi

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa penambahan jumlah Ca-asetat memberikan kurva yang naik-turun walaupun secara umum trend penetrasi yang didapat menurun. Berdasarkan teori, konsistensi gemuk bergantung pada jumlah dan dimensi jaring-jaring matriks gemuk (Spokey, 2008). Pengaruh penambahan jumlah terhadap peningkatan konsistensi terutama terjadi dalam penambahan molekul thickener berukuran kecil. Molekul thickener berukuran kecil memiliki interaksi molekul tinggi dan mendorong terjadinya agregasi. Berdasarkan Hotten (1964), seiring peningkatan rasio nilai luas permukaan/volume molekul thickener, gemuk mengalami pengerasan struktur (Czarny, 1995).

Grafik yang didapat sesuai dengan teori, yaitu seiring peningkatan jumlah agen pengkompleks, meningkat pula kekerasan gemuk. Agen pengkompleks yang digunakan yaitu Ca-asetat berukuran kecil dan memiliki nilai rasio luas

permukaan/volume molekul yang tinggi, sehingga interaksi molekulnya tinggi dan membuat gemuk semakin keras. Walaupun terjadi peningkatan kekerasan gemuk, namun peningkatan yang didapat tidak terlalu besar, karena adanya faktor lain yang lebih mempengaruhi gemuk dibanding jumlah jaring-jaring yaitu faktor dimensi jaring-jaring gemuk.

Dimensi jaring-jaring matriks gemuk yang rapat menghasilkan gemuk yang keras. Dimensi jaring-jaring matriks gemuk berbanding lurus dengan gaya tarik antar molekul sabun. Peningkatan gaya tarik antar molekul karena ikatan hidrogen pada molekul yang mengandung gugus hidroksil dapat terjadi karena peningkatan tekanan permukaan (Yim, Rahaii & Fuller, 2002).

4.3 Pengaruh Tekanan Operasi Terhadap Uji Penetrasi

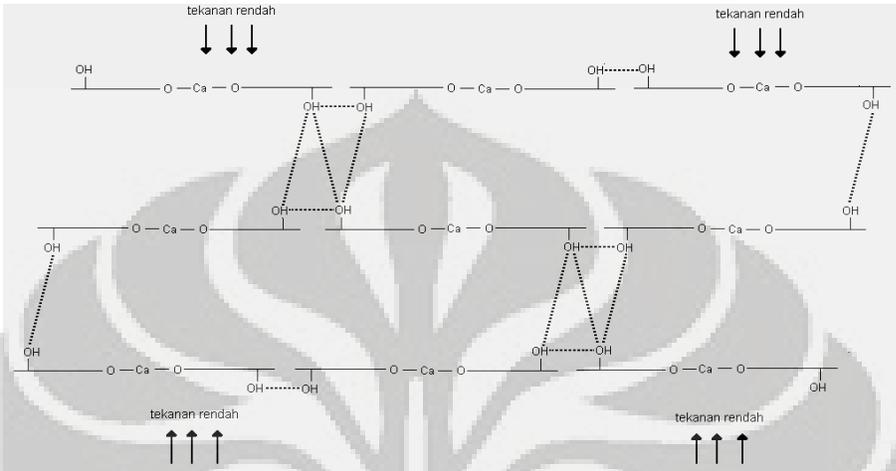
Gemuk yang dibuat dalam penelitian ini adalah gemuk dengan NLGI 2 (*semi solid*) karena gemuk ini memiliki aplikasi yang luas. Hampir semua gemuk yang dihasilkan memenuhi kriteria NLGI 2 terkecuali gemuk 2:1 dan gemuk 1:1 #1 yang bilangan NLGI-nya 3 (*semi-hard*). Gemuk tersebut masuk dalam NLGI 3 karena tingginya tekanan operasi dalam pembuatan gemuk. Tekanan operasi dalam penelitian tidak dapat dikontrol, terkadang tinggi (hingga 5 bar), terkadang rendah, bahkan hingga sama sekali tidak bertekanan. Tidak stabilnya tekanan inilah yang menyebabkan naik turunnya data penetrasi, walaupun secara umum trendnya menurun. Data tekanan operasi yang dicapai beserta penetrasi dari beragam komposisi gemuk ditabulasikan dalam Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Tabel Tekanan Operasi & Penetrasi Gemuk Penelitian

Rasio Mol Sabun	Tekanan Operasi (bar)	Penetrasi (25°C, 0.1 mm)	Bilangan NLGI
Gemuk 0:1	1.2	287	2 (semi solid)
Gemuk 1:1 #1	5	230	3 (semi-hard)
Gemuk 1:1 #2	1.5	270	2 (semi solid)
Gemuk 2:1	4	258	3 (semi-hard)
Gemuk 3:1	1.2	280	2 (semi solid)
Gemuk 4:1	0.6	273	2 (semi solid)
Gemuk 5:1	0	272	2 (semi solid)
Gemuk 6:1	2.5	275	2 (semi solid)

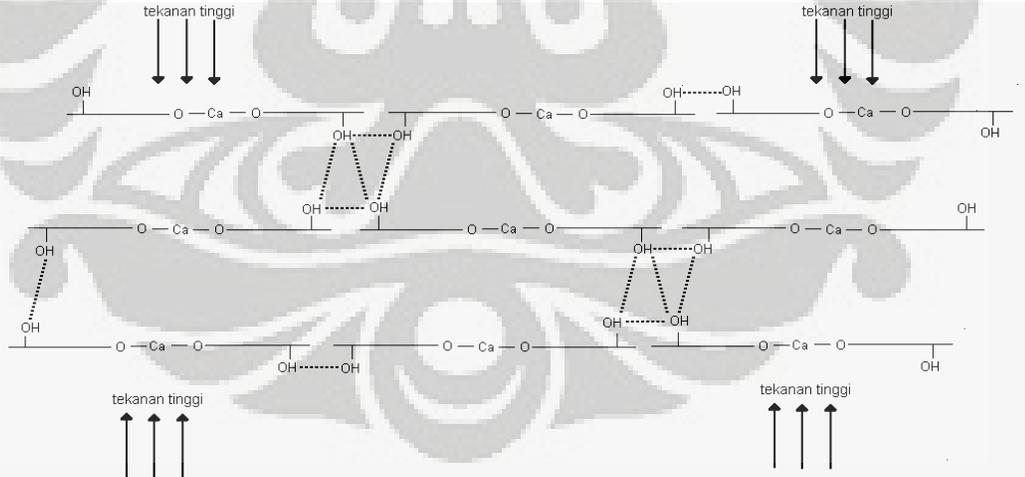
Tekanan operasi yang tinggi menghasilkan gemuk yang keras (nilai penetrasi rendah). Ini disebabkan oleh peningkatan gaya tarik antar molekul sabun yang

dihasilkan dari ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen terdapat pada gugus hidroksil dari sabun Ca-hidroksi stearat. Berikut Gambar 4.5 mengilustrasikan gaya antar molekul pada gugus -OH sabun Ca hidroksi stearat dalam kondisi tekanan rendah.



Gambar 4.5 Ilustrasi Ikatan Hidrogen Ca-hidroksi Stearat Pada Tekanan Rendah

Pada tekanan rendah, gaya tarik antar molekul karena ikatan hidrogen tidak terlalu besar karena jarak antar atom O dan H cukup jauh, sehingga gemuk yang dihasilkan tidak keras.



Gambar 4.6 Ilustrasi Ikatan Hidrogen Ca-hidroksi Stearat Pada Tekanan Tinggi

Sesuai Gambar 4.6 di atas, pada tekanan tinggi, gaya tarik antar molekul karena ikatan hidrogen besar karena jarak antara atom O dan H dekat, sehingga

ikatan jaring-jaring matriks gemuk terhadap base oil semakin kuat dan gemuk menjadi lebih keras.

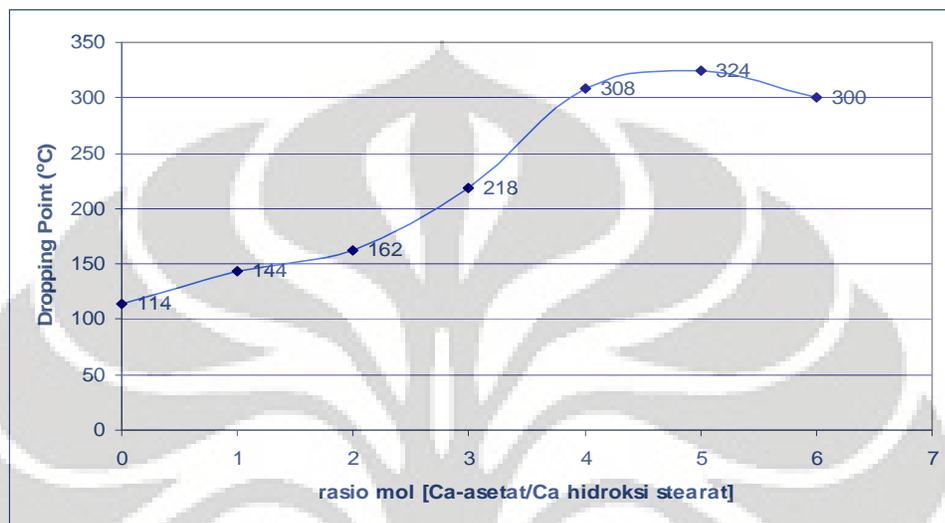
Semakin besar tekanan, semakin besar gaya antar molekul sabun dan semakin kuat pula ikatan yang dihasilkan dari jaring-jaring matriks gemuk yang 'memerangkap' minyak, yang pada akhirnya membuat gemuk menjadi lebih keras (nilai penetrasi rendah). Berdasarkan **Landsdown (1982)**, mekanisme saling mengunci dari jaring-jaring matriks gemuk menghasilkan konsistensi yang lebih keras pada gemuk.

Namun, bila tekanan operasi sama sekali tidak ada (tidak bertekanan), gemuk yang dihasilkan juga kurang baik, seperti pada gemuk 5:1. Gemuk 5:1 memiliki struktur yang kasar dan berbutir, kemungkinan disebabkan oleh tidak adanya tekanan selama pembuatan gemuk.

Gemuk dikatakan 'kasar' jika jaring-jaring matriks gemuk saling kait-mengait tidak beraturan, gemuk dikatakan 'lembut' jika jaring-jaring gemuk bergabung membentuk jaring-jaring yang lebih besar (**Stachowiak, Batchelor, 2008**). Tidak adanya tekanan selama pembuatan gemuk membuat jaring-jaring yang terbentuk berupa jaring-jaring kecil tidak beraturan yang saling mengait, dan menghasilkan struktur gemuk yang kasar, sehingga gemuk 5:1 memiliki struktur yang kasar.

4.4 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap *Dropping point*

Dropping point adalah temperatur di mana lemak berubah fasa dari fasa semi-solid menjadi cair. Ketika lemak mencapai *dropping point*, struktur matriks dalam lemak rusak, dan keseluruhan lemak menjadi cair (Landsdown, 1982).



Gambar 4.7 Kurva Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap *Dropping point*

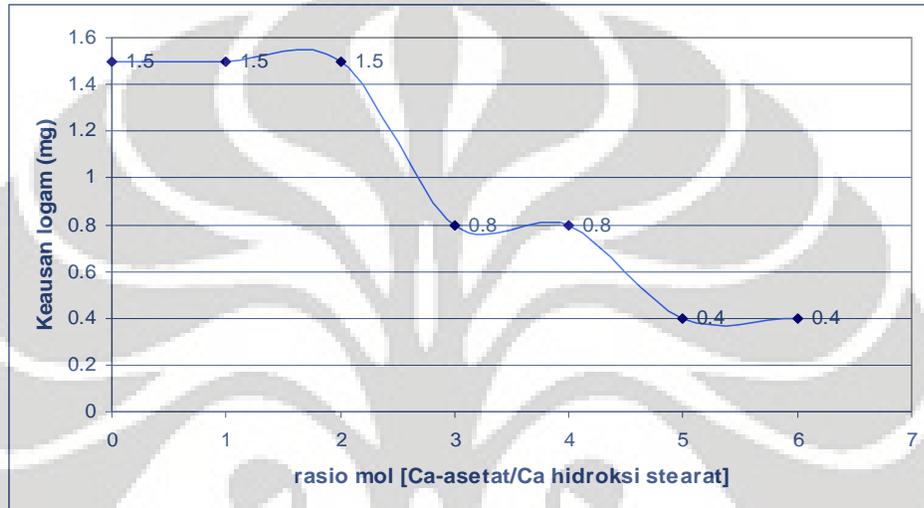
Kenaikan *dropping point* seiring peningkatan jumlah agen pengkompleks berhubungan dengan struktur lemak yang dijelaskan sebelumnya. Struktur matriks lemak kalsium kompleks lebih kuat karena keberadaan interaksi antara molekul sabun Ca-hidroksi stearat dan sabun Ca-asetat. Interaksi antar molekul sabun dalam lemak kompleks meningkatkan energi yang dibutuhkan untuk merusak matriks lemak, sehingga semakin tinggi pula *dropping point* yang didapat.

Lemak kalsium tanpa kompleks memiliki *dropping point* yang rendah (114°C) karena matriksnya hanya terdiri dari Ca-hidroksi stearat sehingga struktur matriksnya tidak sekuat lemak kalsium kompleks.

Penambahan jumlah agen pengkompleks dapat meningkatkan *dropping point*, namun jika agen pengkompleks ditambahkan terus, seperti yang terjadi pada lemak dengan rasio mol Ca-asetat/Ca-hidroksi stearat 6:1, justru dapat menurunkan *dropping point*, karena adanya titik optimum. Titik optimum peningkatan *dropping point* karena penambahan complex agent terdapat pada rasio mol Ca-asetat/Ca-hidroksi stearat 5:1 dengan nilai *dropping point* 324°C.

4.5 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji *Four Ball*

Uji four ball digunakan untuk mengetahui tingkat ketahanan aus gemuk. Semakin rendah mg keausan bola baja yang didapat semakin baik sifat anti-aus gemuk. Berikut ini adalah kurva yang menunjukkan tingkat keausan gemuk pada beragam rasio mol sabun gemuk.



Gambar 4.8 Kurva Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji Four Ball

Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar kandungan agen pengkompleks dalam gemuk, semakin baik kemampuan anti aus gemuk. Hal ini disebabkan karena semakin besar agen pengkompleks, semakin banyak interaksi antara sabun Ca-hidroksi stearat dan sabun Ca-asetat, sehingga gemuk semakin lengket (*tacky*). Kelengketan yang baik menjadikan gemuk mampu melumasi hingga ke sudut-sudut bola baja, dan mengurangi keausan.

Dari semua uji yang telah dilakukan, produk gemuk terbaik yang dihasilkan adalah produk gemuk dengan rasio mol Ca-asetat/Ca-hidroksi stearat 5:1 karena gemuk ini merupakan gemuk NLGI 2 dengan dropping point tertinggi dan sifat anti aus yang paling baik.

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan agen pengkompleks asam asetat menghasilkan warna gemuk bio kalsium kompleks bertambah gelap, tekstur semakin berserat, dropping point gemuk semakin tinggi, konsistensi makin keras dan sifat anti aus semakin baik.
2. Penambahan agen pengkompleks berlebihan dapat menurunkan dropping point, karena adanya titik optimum.
3. Gemuk bio kalsium kompleks terbaik yang berhasil dibuat memiliki dropping point 324°C dan didapatkan pada komposisi dengan rasio mol sabun Ca-asetat dan Ca-hidroksi stearat 5:1.

DAFTAR REFERENSI

- Adhvaryu, A., Erhan, S. Z., & Perez, J. M. (2004). Preparation of Soybean Oil-Based Greases : Effect of Composition and Structure on Physical Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52. pp. 6456-6459.
- Caines, A., & Roger, H. (1996). *Automotive Lubricants Reference Book*. United States: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Chtourou, M., Trabelsi, M., & Frikha, M.H. (2004). Utilization of Olive-Residue Oil in the Formulation of Lubricating Calcium Greases. *Journal of The American Oil Chemists Society*, 81. pp. 809-812.
- Czarny, R. (1995). Effect of Changes in Grease Structure on Sliding Friction. *Industrial Lubrication and Tribology*, 47. pp. 3-7.
- Dwivedi, M.C. & Sapre, S. (2002). Total Vegetable-Oil Based Greases Prepared From Castor Oil. *Jurnal Synthetic Lubricant*, 19. pp. 229-241.
- Drake, D.A., 1992. *Environmentally Friendly Grease Compositions*. United States Patent No 5154840.
- Dreher, J., 1965. *Grease Compositions*. United States Patent No 3186944.
- Fenjerry, Y. (2006). *Pembuatan dan Karakterisasi EPOME Gliserol dan EPOME Monoalkohol Sebagai Pelumas Foodgrade*. Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI, Depok.
- Fessenden, R. J. & Fessenden, J.S. (1999). *Kimia Organik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Gunstone, F. (2007). Market update: Palm Oil. *International News on Fats, Oils, and Related Materials*, 18. pp. 835-836.
- Hotten, B.W. (1964). *Advances in Petroleum Chemistry and Refining*. New York: Interscience Publishers.
- Landsdown, A.R. (1982). *Lubrication: A Practical Guide to Lubricant Selection*. United Kingdom: Pergamon Press.
- Marius. (2007). *Pembuatan Grease Calcium dan Grease Lithium Berbahan Dasar EPOME Gliserol*. Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI, Depok.

- Maskaev, et al. (1971). Preparation of 12-Hydroxystearic Acid The Raw Material for Plastic Greases. *Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel*, 2. pp.21-24.
- Morway, A. & Clark, N.J. 1963. *Mixed-Salt Lubricants*. United States Patent No 3071547.
- Morway, A. & Clark, N.J. 1964. *Mixed Salt Lubricants Containing A Controlled Amount Of Water*. United States Patent No 3152079.
- Morway, A. & Clark, N.J. 1964. *Oil Compositions Containing Soap-Salt Mixtures*. United States Patent No 3077450.
- [NLGI] National Lubricating Grease Institute. 1984. *Lubricating Grease Guide*. Kansas City, Missouri.
- 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*, 53. pp.17-26.
- Salomonsson, L., Stang, G., & Zhmud, B. (2007, Desember). Oil/Thickener Interactions and Rheology of Lubricating Greases. *Tribology and Lubrication Technology*, 63. pp. 38-46.
- Sharma, B. K., Adhvaryu, A., & Perez, J. M. (2005). Soybean Oil Based Greases: Influence of Composition on Thermo-oxidative and Tribochemical Behavior. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53. pp. 2961-2968.
- Stachowiak, G.W. & Batchelor, A.W. (2008). *Engineering Tribology 3rd Edition*. New York: Elsevier.
- Stuart, J. A., 2002. *Lubricating Grease Composition*. United States Patent No 6249175.
- Yim, K.S., Rahaii, B., & Fuller, G. G. (2002). Surface Rheological Transitions in Langmuir Monolayers of Bi-Competitive Fatty Acids. *Langmuir*, 18. pp. 6597-6601.

- Anonim. (2008). *Synthetic Polymer Food Grade Grease* (online). Available from: <http://www.pecuniary.com/synthetic> [Accessed 10:07:08].
- Anonim. (2008). *Food Grade Oils and Greases* (online). <http://www.gnsolutions.com> [Accessed 13:07:08]

- Marth, J.S. (2008). *Renewable Lubricants Manual Biobased Oils, & Greases* (online). Available from : http://www.renewablelubricants.com/Renewable/RenewableLubricantsManual_BioGreases.html [Accessed 19:05:09]
- Spokey, N. (2008). *Grease - all you could ever want to know?* (online). Available from : <http://forums.sv650.org/showthread.php?p=1663626&nojs1#> [Accessed 19:05:09]



$$\text{Mol Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = 1,2 \text{ mol}$$

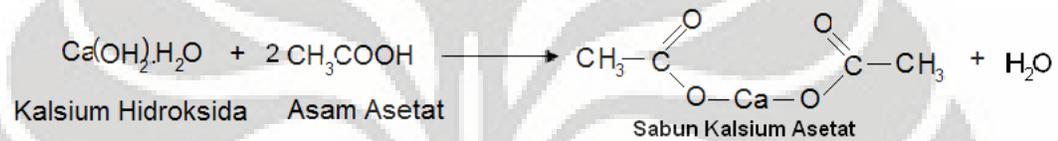
$$\begin{aligned} \text{Berat Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} &= 1,2 \text{ mol} \times \text{Mr Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ &= 1,2 \text{ mol} \times 92 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} = 108,2 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \text{ eksek 5\%} = 1,05 \times 108,2 \text{ gram} = 114 \text{ gram}$$

Komposisi thickening agent tetap untuk semua variasi lemak bio-kalsium kompleks.

Agen pengkompleks

Reaksi pembentukan sabun kalsium asetat sebagai berikut.



$$\text{Rasio mol} \frac{\text{Ca - asetat}}{\text{Ca - 12 hidroksi stearat}} = n$$

$$\text{Mol sabun Ca-asetat} = 1,2n$$

$$\text{Mol asam asetat} = 2 \times 1,2n = 2,4n$$

$$\begin{aligned} \text{Berat asam asetat} &= 2,4n \text{ mol} \times \text{Mr asam asetat} \\ &= 2,4n \text{ mol} \times 60 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} = 144n \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Mol Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = 1,2n \text{ mol}$$

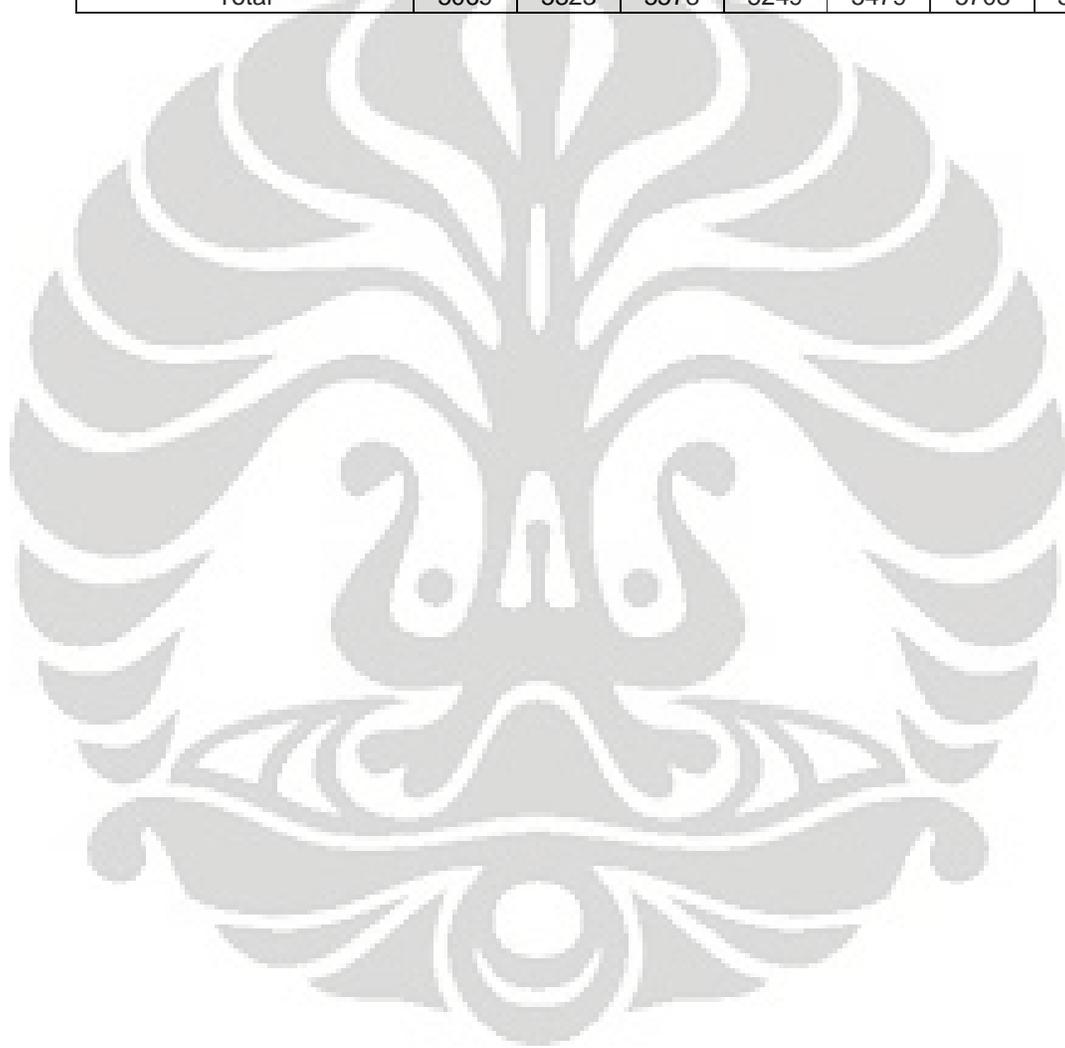
$$\begin{aligned} \text{Berat Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} &= 1,2n \text{ mol} \times \text{Mr Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ &= 1,2n \text{ mol} \times 92 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} = 110,4n \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \text{ eksek 5\%} = 1,05 \times 110,4n = 115,92n \text{ gram}$$

$$\text{Total Ca(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = (114 + 115,92n) \text{ gram}$$

Dengan cara di atas, maka didapatkan tabel komposisi gemuk bio-kalsium kompleks sebagai berikut.

Formulasi Gemuk (gram)	Rasio Ca-Asetat/Ca-Stearat						
	0	1	2	3	4	5	6
Asam 12-hidroksi stearat	705	705	705	635	635	635	635
Ca(OH) ₂ .H ₂ O	114	227	341	409	511	613	715
CH ₃ COOH	0	141	282	381	508	635	762
Base Oil	4250	4250	4250	3825	3825	3825	3825
Total	5069	5323	5578	5249	5479	5708	5937



Lampiran 2. Kurva Kalibrasi Penetrometer