



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN GEMUK BIO BERBAHAN DASAR MINYAK SAWIT
MENGUNAKAN ASAM AZELAT DAN SABUN KOMPLEKS LITHIUM
SEBAGAI *THICKENER***

SKRIPSI

**HARYO MUMPUNI PRIBADI
0606076431**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**DEPOK
JANUARI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN GEMUK BIO BERBAHAN DASAR MINYAK SAWIT
MENGUNAKAN ASAM AZELAT DAN SABUN KOMPLEKS LITHIUM
SEBAGAI *THICKENER***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**HARYO MUMPUNI PRIBADI
0606076431**

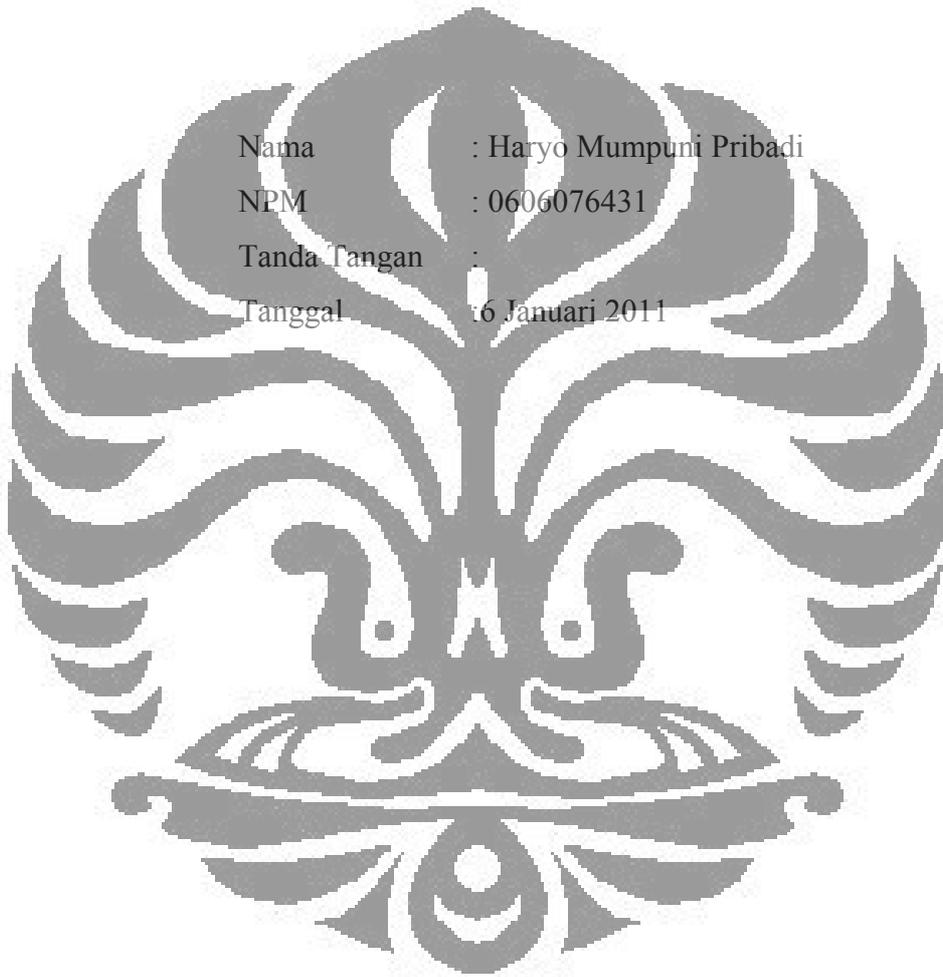
**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**DEPOK
JANUARI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Haryo Mumpuni Pribadi
NPM : 0606076431
Tanda Tangan :
Tanggal : 16 Januari 2011



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Haryo Mumpuni Pribadi

NPM : 0606076431

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Pembuatan Gemuk Bio Berbahan Dasar Minyak Sawit Menggunakan Asam Azelat dan Sabun Kompleks Lithium sebagai *Thickener*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Ir. Sukirno, M.Eng ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Slamet, MT ()

Penguji : Ir. Yuliusman, M.Eng ()

Penguji : Ir. Rita Arbianti, M.Si ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Januari 2011

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan anugerahNya sehingga makalah seminar dengan judul “Pembuatan Gemuk Bio Berbahan Dasar Minyak Sawit Menggunakan Asam Azelat dan Sabun Kompleks Lithium Sebagai *Thickener*” dapat diselesaikan tepat waktu. Makalah ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan akademis dalam meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen kimia FTUI.

Dalam penyusunan makalah ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

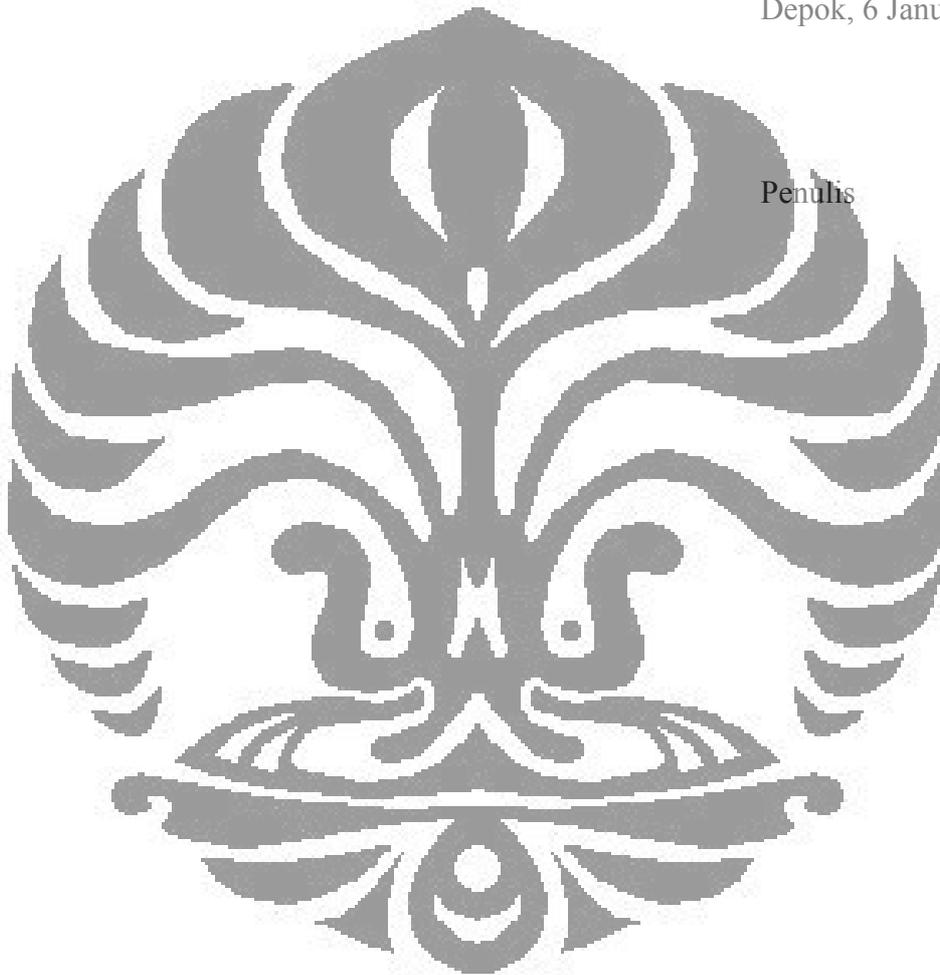
1. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA, selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Bapak Ir. Sukirno, M.Eng selaku pembimbing seminar.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M. Eng, dan Bapak Dr. Ir. Slamet, M. T. selaku dosen mata kuliah metodologi penelitian.
4. Bapak Ir. Dijan Supramono, M. Sc selaku pembimbing akademis yang mendampingi selama bimbingan perwalian.
5. Kedua orang tua dan saudara atas kasih sayang, perhatian, doa, dan dukungan yang selalu diberikan selama ini.
6. Anissa Dinar P. yang selalu memberikan perhatian, doa, cinta dan dukungan tiada henti.
7. Sahabat serta rekan-rekan yang telah menyemangati dalam menyelesaikan skripsi ini: “Geng Satria” Revy, Peter, Herman, Jaywaine, Okky dan kawan-kawan 2006 sebagai teman selama kuliah di DTK.
8. Teman-teman sesama ”penghuni” Lab. POT: Elly, Lina dan Indri atas persahabatan, pemberian semangat, bantuan dan dukungannya selama ini dan selalu menemani di laboratorium POT
9. “Prof” Ijal atas bantuan teknis dan kerjasamanya selama melakukan penelitian.
10. Mas Taufik, atas bantuannya dalam menyediakan literatur di perpustakaan serta Mas Sriyono dan Mas Mugeni yang membantu dalam administrasi.

11. Pihak-pihak lain, yang tidak dapat disebutkan oleh penulis satu persatu, yang telah memberikan kontribusi hingga seminar ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan yang masih terdapat dalam penulisan makalah ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari pembaca dalam rangka memperbaiki penulisan makalah ini di masa yang akan datang dan semoga makalah ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Depok, 6 Januari 2011

Penulis



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

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

Nama : Haryo Mumpuni Pribadi

NPM : 0606076431

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 Berbahan Dasar Minyak Sawit Menggunakan Asam Azelat dan Sabun Kompleks Lithium sebagai *Thickener*

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 memublikasikan 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 : 6 Januari 2011

Yang menyatakan

(Haryo Mumpuni Pribadi)

ABSTRAK

Nama : Haryo Mumpuni Pribadi
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pembuatan Gemuk Bio Berbahan Dasar Minyak Sawit Menggunakan Asam Azelat dan Sabun Kompleks Lithium sebagai *Thickener*

Gemuk lithium kompleks azelat dibuat dengan menambahkan pengompleks asam azelat dan lithium serta sabun lithium konvensional dengan asam 12-hidroksistearat dan lithium pada *base oil*. Pada penelitian ini bahan penyusun gemuk yaitu *base oil* dari minyak sawit yang di epoksidasi, lithium hidroksida, asam 12-hidroksistearat dan asam azelat yang dikomposisikan untuk mendapatkan gemuk sesuai standard internasional. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan didapatkan hasil gemuk lithium kompleks terbaik dengan komposisi asam azelat sebesar 2,5% dari bobot keseluruhan gemuk yang dibuat. Dalam penelitian ini gemuk lithium kompleks azelat dibuat dengan memvariasikan asam azelat sebesar 0%, 1%, 2,5%, 3% dan 4%. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah gemuk lithium kompleks azelat dengan nilai dropping point di atas 220°C dengan nilai NLGI 2 dan 3.

Kata Kunci: gemuk lithium kompleks, asam azelat,

ABSTRACT

Name : Haryo Mumpuni Pribadi
Study Program : Chemical Engineering
Title : Synthesis of Bio Grease Palm Oil-Based Using Azelaic Acid And Lithium Complex Soap As A Thickener

Lithium azelaic complex grease is made by adding azelaic acid as complexing agent and lithium as well as conventional lithium soap with 12-hydroxystearic acid and lithium on the base oil. In this study the raw material of grease that is base oil from epoxidized palm oil, lithium hydroxide, 12-hydroxystearic acid and azelaic acid are composed to get grease that fulfill international standards. Based on the conducted study lithium complex grease obtained best results with azelaic acid composition of 2.5% of total grease weight are made. In this study, lithium complex grease is made by varying azelaic acid 0%, 1%, 2.5%, 3% and 4%. Results obtained in this study is a lithium azelaic complex grease with dropping points values above 220°C with the NLGI 2 and 3.

Keyword: lithium complex grease, azelaic acid

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pelumas Gemuk	6
2.2 Fungsi Gemuk	7
2.3 Bahan Dasar Pelumas Gemuk	8
2.3.1 <i>Base Oil (Lubricating Fluid)</i>	8
2.3.2 <i>Thickening Agent</i>	11
2.3.3 Aditif	13
2.4 Jenis-jenis gemuk	15
2.5 Gemuk Lithium	17
2.5.1 Gemuk Lithium Konvensional	17
2.5.2 Gemuk Lithium kompleks	17
2.5.3 Penelitian Mengenai Gemuk Lithium Kompleks	20
2.6 Parameter Uji Pelumas Gemuk	22
2.6.1 Konsistensi	22
2.6.2 <i>Dropping point</i>	24

2.6.3	<i>Four ball test</i>	24
2.6.4	Uji <i>Bleeding</i>	25
2.6.5	Ketahanan terhadap air	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Metode Pelaksanaan Penelitian.....	27
3.2	Variabel Bebas dan Terikat.....	28
3.3	Alat Dan Bahan.....	29
3.3.1	Bahan.....	29
3.3.2	Peralatan	29
3.4	Pembuatan Gemuk.....	30
3.4.1	Penentuan Komposisi	30
3.4.2	Sintesa Produk.....	32
3.5	Pengujian Kualitas Gemuk	33
3.5.1	<i>Penetration</i> (ASTM D-217).....	33
3.5.1	<i>Dropping point</i> (ASTM D-566).....	33
3.5.1	Uji <i>Four Ball</i> (ASTM D-4172).....	34
BAB 4 PEMBAHASAN		
4.1	Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Tampilan Fisik Gemuk ..	35
4.2	Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji Penetrasi.....	42
4.3	Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap <i>Dropping point</i>	44
4.4	Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji <i>Four Ball</i>	46
BAB 5 PENUTUP		
	Kesimpulan.....	48
DAFTAR PUSTAKA		49

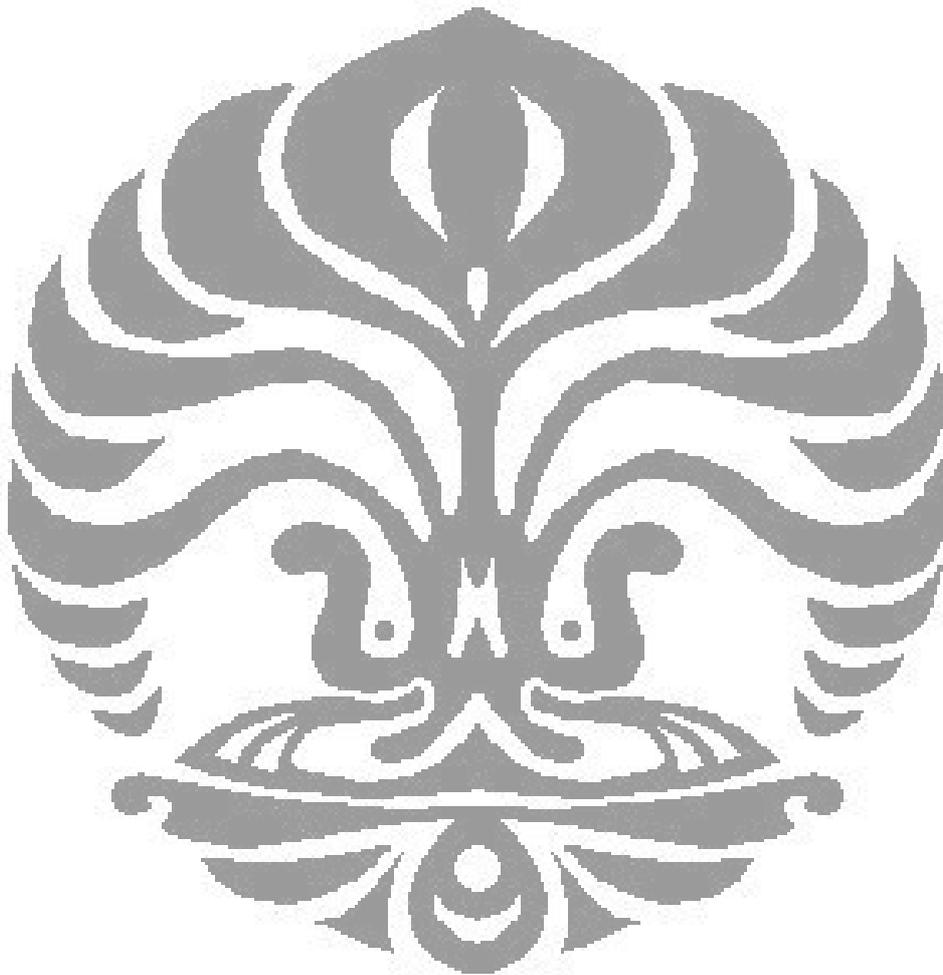
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Asam azelat	19
Gambar 2.2 Penetrometer	23
Gambar 2.3 Pengujian <i>dropping point</i>	24
Gambar 2.4 <i>Four ball test</i>	25
Gambar 2.5 Uji <i>bleeding</i>	25
Gambar 2.6 Peralatan uji <i>water washout</i>	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Reaktor Batch Tertutup Skala Pilot	29
Gambar 3.3 <i>Crystalizer</i>	29
Gambar 3.4 <i>Homogenizer</i>	30
Gambar 4.1 Grafik hasil uji penarikan (86% <i>base oil</i> dan 14% <i>thickener</i> serta 87% <i>base oil</i> dan 13% <i>thickener</i>)	27
Gambar 4.2 Grafik hasil uji penetrasi terhadap produk gemuk bio lithium (86% <i>base oil</i> dan 14% <i>thickener</i> serta 87% <i>base oil</i> dan 13% <i>thickener</i>)	27
Gambar 4.3 Grafik hasil uji <i>dropping point</i> terhadap produk gemuk bio lithium (86% <i>base oil</i> dan 14% <i>thickener</i> serta 87% <i>base oil</i> dan 13% <i>thickener</i>).....	29
Gambar 4.4 Grafik hasil uji <i>four ball</i> terhadap produk gemuk bio lithium (86% <i>base oil</i> dan 14% <i>thickener</i> serta 87% <i>base oil</i> dan 13% <i>thickener</i>)	29

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi bahan baku pembuatan gemuk secara umum	6
Tabel 2.2 Bahan-bahan yang biasa digunakan dalam pembuatan gemuk	7
Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan minyak mineral sebagai <i>base oil</i>	9
Tabel 2.4 Kelebihan dan kekurangan minyak sintetis sebagai <i>base oil</i>	10
Tabel 2.5 Perbandingan berbagai jenis gemuk	16
Tabel 2.6 Hasil uji parameter berbagai jenis gemuk dengan masing-masing agen pengomplek	18
Tabel 2.7 Karakteristik asam azelat	20
Tabel 2.8 Karakteristik Gemuk hasil penelitian Lorimor	21
Tabel 2.9 Karakteristik Gemuk hasil penelitian Newsoroff	22
Tabel 2.10 Konsistensi berdasarkan NLGI	23
Tabel 3.1 Komposisi gemuk dengan 86% <i>base oil</i> yang dibuat	29
Tabel 3.2 Komposisi gemuk dengan 87% <i>base oil</i> yang dibuat	31
Tabel 4.1 Tampilan Gemuk	35
Tabel 4.2 Hasil penarikan gemuk dengan 86% <i>base oil</i> dan 14% <i>thickener</i>	41
Tabel 4.3 Hasil penarikan gemuk dengan 87% <i>base oil</i> dan 13% <i>thickener</i>	41
Tabel 4.4 Hasil uji penetrasi terhadap produk gemuk bio lithium (86% <i>base oil</i> dan 14% <i>thickener</i>)	43
Tabel 4.5 Hasil uji penetrasi terhadap produk gemuk bio lithium (87% <i>base oil</i> dan 13% <i>thickener</i>)	43
Tabel 4.6 Hasil uji <i>dropping point</i> terhadap produk gemuk bio lithium (86% <i>base oil</i> dan 14% <i>thickener</i>)	44
Tabel 4.7 Hasil uji <i>dropping point</i> terhadap produk gemuk bio lithium (87% <i>base oil</i> dan 13% <i>thickener</i>)	45
Tabel 4.8 Hasil uji <i>four ball</i> terhadap produk gemuk bio lithium (86% <i>base oil</i> dan 14% <i>thickener</i>)	46

Tabel 4.9 Hasil uji *four ball* terhadap produk gemuk bio lithium (87% *base oil* dan 13% *thickener*)46



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Gemuk merupakan pelumas semi solid yang dihasilkan dari minyak pelumas dengan penambahan *thickening agent* dan berfungsi mengurangi gesekan serta keausan antara dua bidang atau permukaan yang saling bergesekan.

Gemuk dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama sebagai gemuk mesin dan gemuk non mesin. Gemuk yang beredar di pasaran banyak jenisnya, tergantung dari bahan dasarnya. Gemuk mineral biasa dibuat dari bahan dasar minyak mineral untuk pelumas. Gemuk sintetis merupakan gemuk berbahan dasar minyak sintetis dari golongan ester namun memiliki harga yang cukup mahal. Gemuk bio terbuat dari minyak tumbuh-tumbuhan seperti minyak kelapa sawit, minyak biji jarak dan minyak nabati lainnya. (Malchev, 2008)

Berdasarkan *thickening agent* yang digunakan gemuk terbagi menjadi dua yaitu gemuk berbahan sabun dan gemuk non sabun. Perbedaan dari kedua bahan *thickening agent* yang digunakan adalah pada tingkat kualitas dari gemuk yang dihasilkan. Sabun merupakan bahan pengental yang terbentuk melalui mekanisme penyabunan antara asam lemak dengan alkali. Alkali yang biasa digunakan dalam pembuatan sabun untuk gemuk adalah lithium, kalsium, aluminium dan sodium. Sabun yang dihasilkan terbagi menjadi dua yaitu sabun konvensional dan sabun kompleks.

Gemuk lithium konvensional merupakan gemuk yang dihasilkan dengan mereaksikan *base oil* dengan sabun lithium konvensional tanpa tambahan agen pengompleks sebagai pengental. Sabun lithium konvensional ini dihasilkan dengan mereaksikan asam lemak dalam hal ini asam 12-hidroksistearat dan lithium hidroksida.

Gemuk yang dihasilkan dengan menggunakan minyak mineral HVI (*High Viscosity Index*) dengan sabun konvensional memiliki tekstur yang halus serta memiliki nilai *dropping point* antara 177°C-204 °C. Gemuk jenis ini memiliki kelebihan seperti *shear ability* yang sangat baik, stabil terhadap pengaruh mekanis, memiliki ketahanan kinerja yang baik pada suhu tinggi, serta memiliki kestabilan oksidasi yang baik (Harris, 1993).

Gemuk lithium kompleks merupakan gemuk yang diproduksi dengan menggunakan sabun lithium sebagai pengental dan ditambahkan dengan agen pengompleks. Tujuan dari penggunaan sabun kompleks adalah untuk meningkatkan kemampuan kinerja, agar mampu bekerja di atas kondisi operasi dari gemuk lithium konvensional.

Gemuk lithium kompleks dihasilkan dengan mereaksikan *base oil* dengan sabun kompleks. Sabun kompleks untuk gemuk dibuat dengan mereaksikan garam hasil reaksi logam alkali dengan rantai pendek dari senyawaan asam organik atau asam anorganik. Asam organik yang biasa digunakan adalah asam dikarboksilat yang memiliki rantai C₄-C₁₂, sedangkan asam anorganik yang biasa digunakan adalah asam-asam karbonat dan asam klorida.

Seiring dengan meningkatnya kepekaan masyarakat dunia akan lingkungan, gemuk pelumas yang dibuat saat ini harus memiliki kriteria tertentu yang membuktikan bahwa gemuk tersebut aman dan tidak mengandung atau menyebabkan racun yang membahayakan manusia dan lingkungan hidup. Di negara-negara maju, ketetapan mengenai gemuk pelumas yang aman untuk lingkungan, makanan dan obat-obatan sangat ketat. Khususnya pada industri makanan dan obat-obatan dimana terdapat kemungkinan kontaminasi gemuk pelumas mesin terhadap produk akibat kontak secara tidak sengaja. Oleh karena itu, sesuai dengan peraturan US 21 CFR 178.3570, 178.3620 dan 182, gemuk pelumas yang digunakan dalam produksi makanan dan obat-obatan harus dibuat dengan bahan-bahan yang sesuai dengan peraturan tersebut. (Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services. 2011)

Hasil dari pengujian garam asam lemak lithium, garam-garam asam lemak secara komposisi sama dengan garam-garam dalam kategori ini (contohnya magnesium stearat) dan gemuk-gemuk pelumas yang mengandung pengental-

pengental dari kategori ini, ditunjukkan bahwa material-material ini tidak menimbulkan keracunan akut baik terhadap mulut maupun kulit, tidak menyebabkan iritasi ke mata atau kulit dan tidak mempengaruhi tingkat sensitivitas kulit. Dosis berulang diujikan ke tikus melalui mulut (Mg stearat – diet 3 bulan; minyak jarak – diet dalam 13 minggu; gemuk lithium kompleks – 90 hari pemberian secara paksa), atau dengan perlakuan terhadap kulit (gemuk lithium kompleks – 28 atau 90 hari) tidak menunjukkan efek atau tanda-tanda berbahaya yang signifikan. Perlakuan dengan memberikan gemuk lithium kepada bagian kulit selama 2 tahun tidak menimbulkan kanker kulit pada tikus-tikus C3H. Garam lithium terlarut tidak bersifat sebagai mutagen secara *in vitro*, dan pengaruh kecil secara kromosom hanya terjadi untuk dosis yang sangat tinggi dari lithium sitrat yang diberikan ke jaringan selaput perut bagian dalam. Mempertimbangkan, bersama dengan data-data ini, tingkat kelarutan rendah dari garam-garam dari asam lemak dalam kategori pengental gemuk pelumas, senyawa-senyawa tersebut tidak bersifat mutagen. (The Petroleum HPV Testing Group, 2003)

Gemuk bio kompleks dibuat dari *base oil* turunan minyak kelapa sawit yaitu epoksidasi RBDPO (*Refined Bleach Deodorized Palm Oil*) dengan menggunakan pengental baik asam azelat maupun asam sebasik dan basa lithium hidroksida monohidrat. Asam azelat merupakan asam yang cukup banyak digunakan sebagai pengompleks dalam pembuatan gemuk lithium kompleks. Asam azelat dihasilkan dari ozonolisis dari asam oleic dengan asam pelargonik sebagai produk samping.

Gemuk dengan menggunakan sabun kompleks menghasilkan gemuk dengan *dropping point* dan *service temperature* yang lebih tinggi dari pada gemuk sabun biasa. Sabun lithium biasa menggunakan asam 12-hidroksistearat sebagai pembentuk sabun konvensional. Sabun lithium kompleks dihasilkan dengan menggunakan asam azelat sebagai agen pengompleks.

Asam azelat sebagai pengompleks sangat mampu untuk meningkatkan kinerja dari gemuk lithium. Gemuk lithium kompleks azelat yang dibuat dengan komposisi 85,68 % berat base oil (88% Group II 600N dan 12% polimer), 8 %

asam 12-hidroksistearat dan 2,55 % asam azelat memiliki nilai *dropping point* mencapai 274°C (Lorimor, 2009).

Sejauh ini gemuk lithium kompleks azelat yang dihasilkan dari penelitian maupun gemuk lithium kompleks komersil masih berbahan dasar minyak mineral atau minyak sintesis. Karena pentingnya pelumas dan dengan semakin menurunnya produksi minyak mentah dunia, dibutuhkan alternatif untuk membuat gemuk dengan bahan dasar minyak nabati seperti minyak sawit yang banyak dihasilkan oleh Indonesia. Gemuk bio yang dihasilkan dari penelitian ini tidak mengandung logam berat dan juga tidak menimbulkan bentuk bahaya lain yang dapat ditimbulkan dari gemuk berbahan dasar minyak mineral. Dari penelitian ini diharapkan dapat dihasilkan gemuk lithium kompleks dengan *base oil* minyak kelapa sawit.

1.2 Perumusan Masalah

Secara garis besar, permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan asam azelat sebagai pengompleks dalam sintesis gemuk lithium berbahan dasar minyak sawit dengan tingkat penetrasi 265-295 mm (NLGI Grade 2) dan *dropping point* di atas 300°C.
2. Bagaimana karakteristik gemuk lithium kompleks yang dihasilkan dengan penambahan asam azelat dapat diketahui melalui uji *penetration value*, *dropping point* dan *four-ball test*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan gemuk berbahan dasar minyak sawit dengan thickener sabun lithium kompleks azelat dengan tingkat penetrasi 265-295 mm (NLGI Grade 2) dan *dropping point* di atas 300°C.
2. Mempelajari pengaruh rasio penambahan asam azelat pada *thickening agent* terhadap karakteristik gemuk yang diuji: *penetration value*, *dropping point*, dan *four-ball test*.

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. Base oil yang digunakan adalah epoksidasi RBDPO (*Refined Bleach Deodorized Palm Oil*) dari minyak kelapa sawit.

1.5 Sistematika Penulisan

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

BAB 1 : PENDAHULUAN

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

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB 3 : METODE PENELITIAN

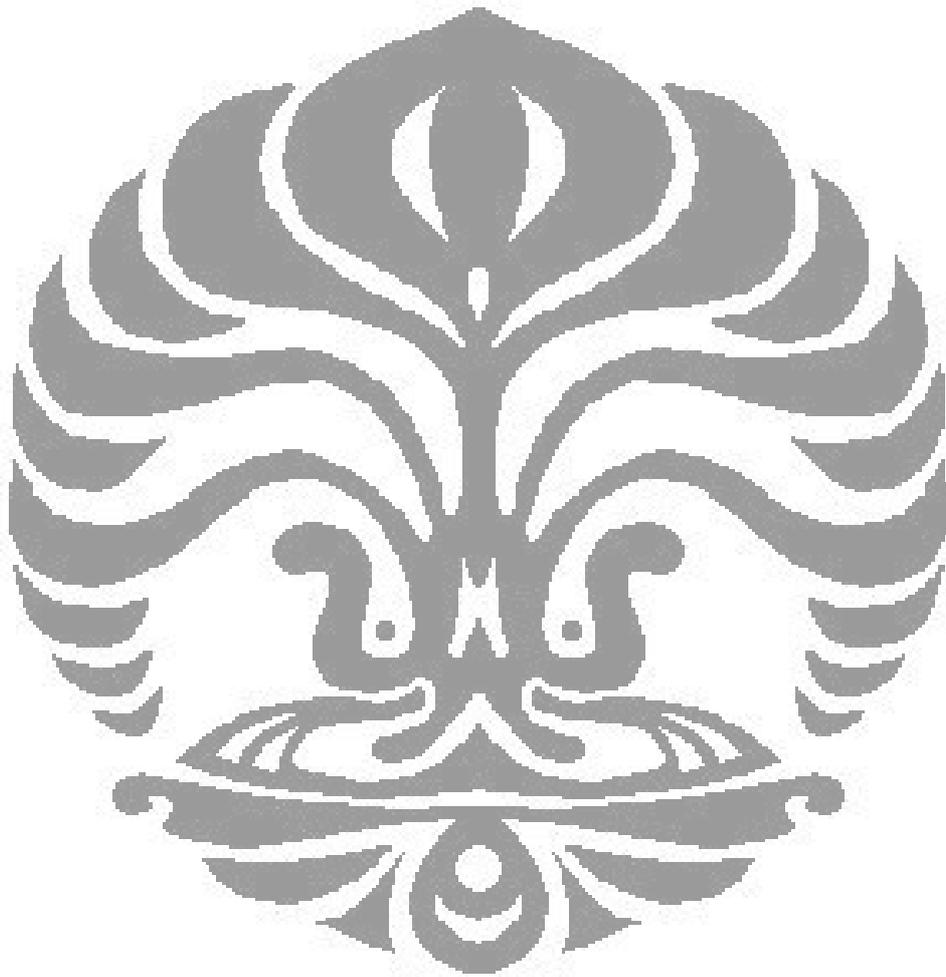
Berisikan diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, prosedur pembuatan gemuk serta prosedur pengujian gemuk yaitu tampilan fisik, penetrasi, *dropping point*, *water wash out* dan uji *four ball*.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil-hasil penelitian serta pembahasan atas hasil pengujian gemuk bio lithium kompleks azelat dan perbandingan antara gemuk bio lithium kompleks azelat dengan gemuk komersil.

BAB 5 : PENUTUP

Berisikan kesimpulan dari penelitian dan pembahasan



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pelumas Gemuk

Gemuk adalah pelumas semi-solid dari bahan dasar minyak pelumas yang diberikan tambahan *thickener agent* yang memiliki fungsi sebagai pengurang gesekan dan keausan antara dua bidang atau dua permukaan yang saling bergesekan.

Umumnya gemuk dibuat dengan komposisi seperti pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Komposisi bahan baku pembuatan gemuk secara umum
(Sumber:Adhvaryu, 2004)

Bahan Baku	% Komposisi
<i>Base oil</i>	75-95
<i>Thickening agent/Thickener</i>	5-20
Aditif	0-15

Base oil merupakan minyak pelumas yang memberikan pelumasan sesungguhnya dalam gemuk. *Thickening agent* memberikan karakteristik konsistensi dan secara mikroskopis membentuk struktur tiga dimensi atau berbentuk *spons* yang menahan molekul-molekul minyak pelumas pada tempatnya. Aditif berguna untuk meningkatkan kemampuan gemuk dan melindungi gemuk dari kerusakan.

Gemuk adalah pelumas dengan sifat *temperature-regulated* yang akan mengalami ekspansi dan pelepasan minyak ketika panas yang dihasilkan mesin membuat lapisan film pelumas menipis serta melunakkan gemuk.

Beberapa komponen yang digunakan dalam pembuatan gemuk akan mempengaruhi kualitas dari gemuk yang akan dihasilkan, seperti terdapat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.2 Bahan-bahan yang biasa digunakan dalam pembuatan gemuk

Base oil	Aditif	Thickener
Minyak mineral	Anti-oksidan	Sabun natrium
Minyak mineral sintetis	Aditif anti-aus	Sabun lithium
di-ester	EP(<i>Extreme Pressure</i>)	Sabun kalsium
silikon	<i>Metal deactivator</i>	Sabun aluminium
Fosfat ester	Korosi inhibitor	Kalsium kompleks
Fluorocarbon	<i>Friction modifier</i>	Aluminium kompleks
Silikon terfluorinasi	<i>VI improvers</i>	Lithium kompleks
Silikon terklorinasi		<i>Bentonite clay</i>

2.2 Fungsi Gemuk

Gemuk berfungsi untuk melakukan kontak dan pelumasan pada permukaan bergerak tanpa bocor karena gaya gravitasi ataupun gaya sentrifugal. Gemuk dan minyak pelumas masing-masing memiliki kegunaan yang tidak dapat dipertukarkan. Gemuk digunakan ketika pelumas tidak efektif lagi dalam pelumasan. Penggunaan pelumas disesuaikan antara rancangan mesin yang akan digunakan dan kondisi operasi dengan karakteristik pelumas yang akan digunakan.

Gemuk pelumas umumnya digunakan pada:

- 1) Mesin yang bekerja tidak periodik atau mesin yang tidak dipakai dalam waktu periode yang lama. Hal ini dikarenakan lapisan film pelumas pada gemuk pelumas dapat segera terbentuk (Albert, 1999).
- 2) Mesin yang tidak dapat dicapai untuk pelumasan berkali-kali. Atau dengan kata lain mesin yang sulit untuk dilakukan penggantian pelumas cair, sehingga penggunaan gemuk pelumas dapat lebih efektif untuk melumasi bagian mesin ini.
- 3) Mesin-mesin yang beroperasi di bawah kondisi operasi temperatur tinggi dan tekanan tinggi. Mesin bekerja pada kecepatan rendah dan muatan yang berat

Gemuk pelumas memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan pelumas cair, yaitu:

- 1) Gemuk berfungsi sebagai penyekat dan mencegah masuknya air dan udara ke dalam mesin sehingga mencegah korosi.
- 2) Lebih murah dan efisien untuk penggunaan dalam mesin karena tidak membutuhkan sistem sirkulasi seperti pada pelumas cair.
- 3) Dapat menahan padatan dalam suspensi gemuk sehingga gemuk mampu ditambahkan aditif *extreme pressure* seperti molibdenum disulfida dan grafit.

Selain keunggulan, gemuk pelumas juga memiliki kelemahan diantaranya:

- 1) Kemampuan mendinginkan permukaan yang bergesekan kurang baik dibandingkan pelumas cair, karena kalor yang dihasilkan tidak dapat terbawa melalui siklus konveksi karena gemuk berfasa padat-cair dan tidak memiliki sistem sirkulasi.
- 2) Kurang mampu bekerja baik pada mesin dengan putaran tinggi atau mesin dengan torsi rendah.
- 3) Lebih sulit melakukan penggantian dibandingkan dengan pelumas cair.

2.3. Bahan Dasar Pelumas Gemuk

Pelumas gemuk memiliki bahan dasar *base oil/lubricating fluid*, *thickener* dan aditif. Pembentukan gemuk terjadi melalui proses saponifikasi.

2.3.1 Base oil (Lubricating Fluid)

Base oil merupakan komponen terbesar dalam komposisi gemuk, yaitu sekitar 75-95%. *Base oil* dalam pembuatan gemuk dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu :

a. Minyak mineral

Minyak mineral didapat dari olahan minyak bumi dengan fraksi distilat dan residu minyak bumi yang memiliki titik didih di atas 300°C. Proses untuk mendapatkan *base oil* minyak mineral melalui banyak tahapan, melibatkan proses distilasi vakum, *sweetening*, hidrogenasi, *dewaxing*, dan lain sebagainya.

Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan minyak mineral sebagai *base oil*

Minyak Mineral	
Kelebihan	Kekurangan
a. Harganya lebih murah (untuk saat ini) b. Jangkauan suhu operasi relative luas sehingga dapat digunakan secara luas c. Sifat-sifat fisika dan kimianya mudah mudah dikontrol d. Tidak beracun (khusus <i>white mineral oil</i>) e. Mudah bercampur dengan aditif f. Tidak membentuk emulsi dengan air	a. Ketersediaannya semakin menipis seiring dengan penurunan ketersediaan minyak bumi b. <i>Biodegradability</i> -nya rendah sehingga dapat mencemari lingkungan bila terbuang ke alam c. Kecenderungan minyak mineral untuk membentuk bola-bola kecil di atas permukaan pelat, disebabkan keterbatasan minyak mineral untuk bergerak pada pelat bersuhu tinggi

b. Minyak sintetis

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

Tabel 2.4 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 b. Kestabilan yang tinggi baik pada temperatur tinggi maupun temperatur rendah	Proses produksi minyak sintetis sangat mahal dan terkadang tidak ekonomis

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 lain sebagainya.

Minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati yang paling banyak diproduksi di seluruh dunia dibandingkan dengan minyak nabati lainnya.

d. Epoksida

Epoksida merupakan salah satu jenis ester (R-O-O-R) yang memiliki cincin ester beranggota tiga. Ester memiliki ikatan yang mirip dengan air dan minyak, bersifat rantai terbuka maupun siklik dan bila besar cincin (termasuk oksigen) terdiri dari lima anggota atau lebih, ester bersifat mirip dengan ester terbuka padanannya. Ester kurang reaktif dibandingkan dengan epoksida, karena epoksida memiliki ukuran cincin yang lebih kecil.

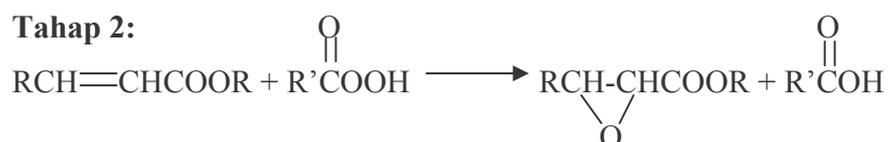
Reaksi epoksidasi adalah jenis reaksi yang menyerang ikatan ganda karbon pada alkena atau trigliserida dalam minyak sawit dan mengubahnya menjadi epoksida/oksirana. Reaksi ini biasa menggunakan asam format sebagai katalis dan hidrogen peroksida sebagai oksidator. Reaksi epoksidasi terjadi dalam dua tahap. Pada tahap pertama terjadi reaksi oksidasi asam menjadi asam peroksida oleh hidrogen peroksida, kemudian pada tahap kedua terjadi reaksi epoksidasi alkena oleh asam peroksida seperti pada gambar berikut ini:

(Mardiansyah, 2006)

Tahap 1:



Tahap 2:



(2.1)

Terdapat dua jenis sabun yaitu sabun biasa (*conventional soap*) dan sabun kompleks (*complex soap*). Sabun biasa merupakan sabun yang terbentuk dari reaksi logam alkali atau alkali tanah dengan asam lemak. Reaksi yang terbentuk antara ion logam dengan asam lemak menghasilkan sabun biasa dengan konsentrasi 3-25% (berat).

Proses untuk mendapatkan sabun biasa terbagi menjadi dua yaitu metode saponifikasi dan metode netralisasi. Proses saponifikasi merupakan proses pemanasan asam lemak (minyak) dan diaduk dengan melakukan penambahan alkali secara perlahan hingga dihasilkan sabun yang sempurna. Sabun yang sempurna jika direaksikan dengan alkohol dan diberi indikator phenolphthalein (PP) memberikan warna merah muda.

Jenis sabun biasa yang dapat digunakan sebagai *thickener* adalah sebagai berikut:

i. Sabun lithium (*lithium soap*)

Sabun lithium merupakan sabun yang didapatkan dengan mereaksikan lithium hidroksida dengan asam lemak. Asam lemak yang biasa digunakan dalam pembuatan sabun lithium adalah asam 12-hidroksistearat (*stearic acid*).

ii. Sabun Kalsium (*Calcium soap*)

Sabun kalsium dihasilkan dengan mereaksikan kalsium hidroksida dengan asam lemak. "Gemuk yang dihasilkan bentuknya halus dan memiliki ketahanan yang baik terhadap air. Bertindak sebagai penstabil ikatan antara sabun dengan *base oil* adalah air, oleh karena itu kestabilannya sangat bergantung pada kandungan air yang terdapat dalam kristal-kristal sabun" (Marius, 2007, hal 19).

iii. Sabun aluminium (*Aluminium soap*)

Gemuk dengan sabun aluminium sebagai pengentalnya memiliki bentuk yang lembut, seperti gel dengan tekstur berserabut bergantung dengan aditif yang digunakan. Temperatur operasi dari gemuk jenis ini hanya mencapai 175°F (79°C) dengan dropping point 230°F (110°C).

Kelebihan dari gemuk ini adalah stabilitas oksidasi dan *rust protection* yang baik, serta *water resistant*. Kelemahan dari gemuk ini

adalah *shear stability* rendah, pada suhu tinggi cenderung menjadi lengket seperti karet, kurang stabil terhadap pengaruh mekanis dan harga yang cenderung mahal.

iv. Sabun sodium (*Sodium soap*)

Gemuk jenis ini memiliki bentuk berserat atau halus bergantung dari asam lemak yang digunakan. *Dropping point* dari gemuk yang menggunakan sabun sodium mencapai 350°F (170°C), lebih tinggi dibandingkan dengan gemuk kalsium. Kelebihan lain dari gemuk ini adalah *shear stability* yang sangat baik dan kestabilan oksidasinya yang cukup baik. Adapun kekurangan dari gemuk ini adalah tingkat ketahanan terhadap air yang kurang baik karena sodium larut dalam air.

Sabun kompleks untuk gemuk dibuat dengan mereaksikan garam hasil reaksi logam alkali dengan rantai pendek dari senyawaan asam organik atau asam anorganik. Asam organik yang biasa digunakan adalah asam dikarboksilat yang memiliki rantai C₄-C₁₂, sedangkan asam anorganik yang biasa digunakan adalah asam-asam karbonat dan asal klorida.

Tujuan dibuatnya gemuk dengan menggunakan sabun kompleks adalah untuk menghasilkan gemuk dengan *dropping point* dan *service temperature* yang lebih tinggi dari pada gemuk sabun biasa. Gemuk dengan sabun kompleks ini memiliki kinerja yang lebih baik dengan peningkatan tersebut.

b) Non sabun

Thickener non sabun merupakan bahan pengental yang tidak menggunakan asam lemak dan alkali sebagai bahan pengental. Gemuk yang dihasilkan dengan menggunakan bahan pengental jenis ini akan lebih mampu bertahan pada temperatur tinggi tidak mudah mencair sehingga mampu memberikan pelumasan pada mesin mesin dengan baik.

2.3.3 Aditif

Aditif merupakan senyawa yang ditambahkan pada pelumas gemuk yang berfungsi meningkatkan kinerja dari pelumas yang akan dibuat. Aditif yang ditambahkan dapat berfungsi sebagai *structure modifier* yang membantu pada saat

interaksi antara bahan pengental dan *base oil* sehingga struktur gemuk yang dihasilkan lebih baik. Aditif lain juga dapat berfungsi sebagai *friction modifier* yang mampu mencegah membesarnya tingkat *solid friction*.

Selain dari kedua fungsi aditif di atas, terdapat aditif yang juga ditambahkan pada pembuatan gemuk agar meningkatkan karakteristik dari gemuk yang dibuat, diantaranya:

a. Anti oksidan

Aditif ini berfungsi mengurangi oksidasi molekul-molekul gemuk menjadi senyawa-senyawa peroksida terutama hidroperoksida yang dapat membuat gemuk menjadi bersifat asam dan membuat permukaan logam yang dilapisi gemuk menjadi berkarat.

b. *Metal deactivator*

Aditif berfungsi mencegah oksidasi molekul pelumas gemuk untuk bereaksi dengan permukaan logam yang dilumasi sehingga katalisator logam dalam reaksi oksidasi menjadi tidak aktif.

c. *Extreme pressure*

Extreme pressure (EP) merupakan aditif yang dapat mencegah keausan yang terjadi pada saat terjadi beban yang berat diakibatkan tekanan yang ekstrim. Aditif ini akan membentuk suatu lapisan film pada logam yang dilumasi sehingga logam tersebut terlindung dari keausan. Jenis keausan terbagi menjadi tiga yaitu:

1) *Abrasive wear*

Merupakan keausan akibat adanya gesekan antara permukaan logam dengan *abrasive contaminant* (unsur lain yang bersifat menggores seperti debu dan partikel logam).

2) *Corrosive wear*

Merupakan keausan akibat pengaruh senyawa-senyawa asam terhadap permukaan logam.

3) *Adhesive wear*

Merupakan keausan akibat adanya *metal to metal contact* antara permukaan logam yang bergerak.

Senyawa yang biasa digunakan untuk aditif *extreme pressure* adalah *lead oleat*, *graphite*, molibdenum disulfida, politetraflorotilen, molibdenum oksisulfida, *triphenyl phosphorothionate* dan *sulfurized ester*.

d. *Anti wear*

Aditif ini berfungsi mengurangi gesekan pada mesin terutama saat mesin baru dijalankan. Cara kerja aditif ini adalah dengan membuat lapisan film pada permukaan logam yang dapat menahan pelumas sehingga tidak terlepas ikatannya dengan logam yang dilumasi. Contoh aditif ini adalah *alkyl derivative of 2-5 di mercapte 1-3-4 thiadiazol*.

e. *Corrosion inhibitor*

Aditif ini berfungsi melindungi permukaan peralatan atau mesin yang terbuat dari bahan bukan logam (*non ferrous metal*) terhadap pengaruh senyawa asam untuk menghindari terjadinya korosi. Aditif ini bekerja dengan bereaksi dengan peralatan non logam hingga membentuk lapisan yang tahan terhadap korosi yang melekat kuat pada permukaan logam sehingga akan melindungi logam dari oksigen dan asam lemak yang terbentuk akibat oksidasi *lubricating oil* atau asam lemak. Contoh dari aditif ini adalah Nalzin 2277 dan sodium nitrit.

f. *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.

g. *Viscosity Index Improver*

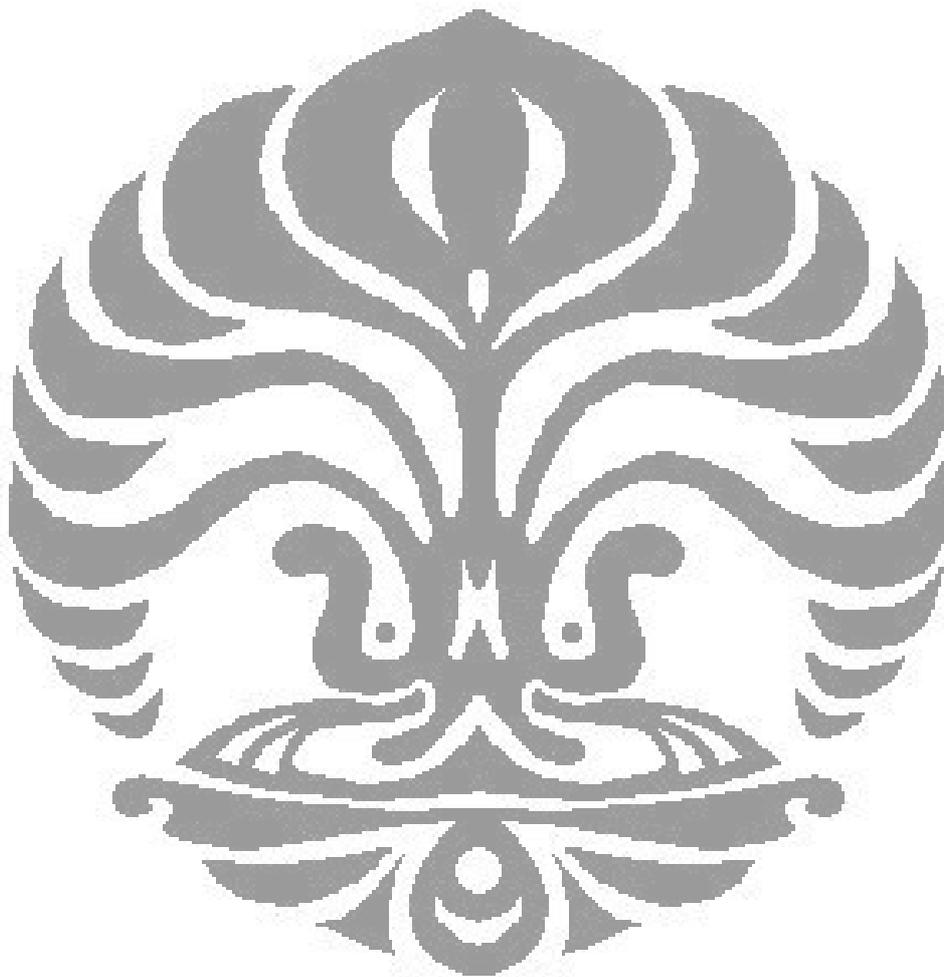
Aditif ini berfungsi untuk mempertahankan kekentalan pelumas gemuk yang diperlukan untuk mencegah pengenceran pelumas gemuk.

h. *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.

2.4 Jenis-jenis gemuk

Gemuk dikelompokkan berdasarkan bahan pengentalnya. Gemuk dengan bahan pengental berbeda memiliki karakteristik berbeda pula. Jenis gemuk tersebut diantaranya adalah:



Tabel 2.5 Perbandingan berbagai jenis gemuk (NLGI Lubricating Grease Guide, 4th ed, 1984)

Sifat	Aluminium	Sodium	Ca Konvensional	Ca Anhidrida	Lithium	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

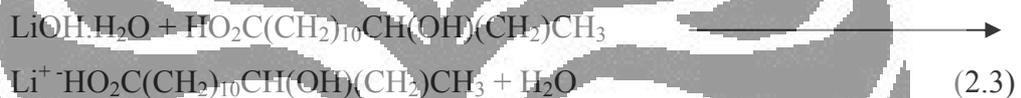
Universitas Indonesia

2.5 Gemuk Lithium

Gemuk lithium merupakan gemuk yang dihasilkan dengan menggunakan pengental mengandung logam lithium. Berdasarkan sabunnya, gemuk lithium dibedakan menjadi dua yaitu:

2.5.1 Gemuk Lithium Konvensional

Gemuk lithium konvensional merupakan gemuk yang dihasilkan dengan mereaksikan *base oil* dengan sabun lithium konvensional tanpa tambahan agen pengompleks sebagai pengental. Sabun lithium konvensional yang digunakan dihasilkan dengan mereaksikan asam lemak dalam hal ini asam 12-hidroksistearat dan lithium hidroksida. Reaksi saponifikasi dan pembentukan sabun lithium konvensional menggunakan asam 12-hidroksistearat terlihat seperti pada gambar berikut ini:



(Tuszynski, 2008)

Gemuk yang dihasilkan dengan menggunakan minyak mineral HVI (*High Viscosity Index*) dengan sabun konvensional memiliki tekstur yang halus serta memiliki nilai *dropping point* antara 177°C-204 °C. Gemuk jenis ini memiliki kelebihan seperti *shear ability* yang sangat baik, stabil terhadap pengaruh mekanis, memiliki ketahanan kinerja yang baik pada suhu tinggi, serta memiliki kestabilan oksidasi yang baik (Harris, 1993).

2.5.2 Gemuk Lithium kompleks

Gemuk lithium kompleks merupakan gemuk yang diproduksi dengan menggunakan sabun lithium sebagai pengental dan ditambahkan dengan agen pengompleks. Tujuan dari penggunaan sabun kompleks adalah untuk meningkatkan kemampuan kinerja, agar mampu bekerja di atas kondisi operasi gemuk lithium konvensional.

Agen pengompleks dibuat dengan mereaksikan logam alkali dengan rantai pendek dari senyawaan asam organik atau asam anorganik. Asam organik yang biasa digunakan adalah asam dikarboksilat dengan panjang rantai C₄-C₁₂. Sedangkan asam anorganik yang biasa digunakan adalah asam-asam karbonat dan asam-asam klorida (Witte, 1984).

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

Gemuk pelumas lithium kompleks juga dapat dibuat dengan menggunakan lebih dari satu agen pengompleks, sebagai contoh *dimethyl glutarate* 10% w/w dengan *dimethyl adipate* 90% w/w atau dengan komposisi pencampuran lainnya untuk mendapatkan nilai *dropping point* tertentu (Witte, 1984).

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan gemuk pelumas yang dihasilkan dengan menggunakan berbagai agen pengompleks dengan menggunakan *base oil* 26,536 % berat/100 cSt (@ 40°C) polyalphaolefin; 54,312% berat 6 cSt (@ 40°C) polyalphaolefin; 3,008% berat lithium hidroksida monohidrat; 13,248% berat metil 12-hidroksistearat dan 2,897% berat *complexing agent* yang terdapat dalam kolom satu (Spagnoli, 2005):

Tabel 2.6 Hasil uji parameter berbagai jenis gemuk dengan masing-masing agen pengompleks (Spagnoli, 2005)

<i>Complexing agent</i>	UW D1403 mm/10	60× D1403 mm/10	<i>Penetration split 60×-UW</i> Mm/10	<i>Rotability D1831</i> Mm/10	<i>Dropping point D2265 (°C)</i>
<i>Dimethyl azelate</i>	311	341	30	50	>300
<i>Dimethyl adipate</i>	219	209	-10	28	260
<i>Dimethyl glutarate</i>	335	227	-8	26	246
<i>Dimethyl succinate</i>	235	223	-12	18	208
<i>Dimethyl adipate/dimethyl glutarate (90%:10%)</i>	238	234	-4	16	246

Pada penelitian ini *complexing agent* yang akan digunakan adalah asam azelat. Asam azelat merupakan asam yang dihasilkan melalui ozonolisis asam oleat dengan asam pelargonik (asam n-nonaoat) sebagai produk samping. Sebagai produk olahan minyak kedelai dan minyak jagung, asam azelat memiliki struktur sebagai berikut:



Gambar 2.1 Asam azelat (<http://www.merck.co.id>, 1 Juni 2010)

Adapun karakteristik umum asam azelat secara lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut:

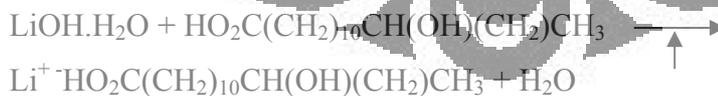
Tabel 2.7 Karakteristik asam azelat (<http://www.merck.co.id>, 1 Juni 2010)

Karakter	
Rumus molekul	$C_9H_{16}O_4$
Massa molar	$188,22 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Titik Leleh	$107 \text{ }^\circ\text{C}$
Titik didih	$>500 \text{ }^\circ\text{C}$ pada 1013hPa
Kelarutan dalam air	2.4 g/L ($20 \text{ }^\circ\text{C}$)
Angka pH	3,5 (1 g/L, H_2O)

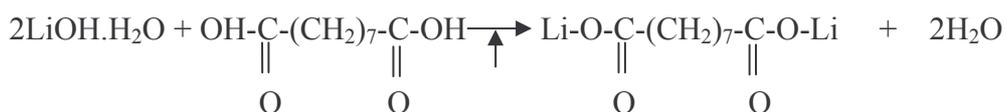
Penambahan asam azelat sebagai pengompleks dalam pembuatan gemuk dapat mengurangi koefisien friksi sehingga memperkecil jumlah logam yang terkikis dari permukaan. Hal ini menunjukkan peningkatan kemampuan dari gemuk lithium dengan pengompleks asam azelat (Kennedy, 2001).

Sabun lithium kompleks didapatkan dari dua reaksi yang akan terjadi di dalam reaktor. Reaksi pertama yang terjadi yaitu pembentukan sabun lithium stearat, kemudian dilanjutkan dengan reaksi pembentukan sabun lithium azelat. Ilustrasi berikut ini menunjukkan reaksi yang akan terjadi dalam reaktor:

Reaksi I:



Reaksi II:



Lithium

Asam Azelat

Lithium Azelat

Air

Hidroksida

(2.4)

Di dalam reaktor akan terjadi dua reaksi seperti telah diilustrasikan reaksi 2.4. Ikatan yang terbentuk antara asam 12-hidroksistearat dengan lithium serta asam azelat dengan lithium adalah ikatan ion. Sabun yang dihasilkan dari reaksi I adalah sabun dengan rantai karbon yang panjang, sedangkan dari reaksi II dihasilkan sabun dengan rantai karbon pendek. Kombinasi dari kedua sabun inilah yang disebut dengan sabun kompleks. Sabun kompleks dengan ikatan ion akan lebih sulit untuk terputus rantainya dikarenakan membutuhkan energi yang besar untuk memutus ikatan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa akan terjadi peningkatan nilai *dropping point* dibandingkan dengan gemuk pelumas yang hanya menggunakan sabun konvensional. Seperti pada tabel 2.6 nilai dari *dropping point* yang dihasilkan dengan menggunakan *complexing agent* asam azelat melebihi 300°C.

2.5.3 Penelitian Mengenai Gemuk Lithium Kompleks

2.5.3.1 United States Patent 5,731,274

Pada paten ini, David Leslie Andrew membuat gemuk lithium kompleks dengan 5 variasi komposisi lithium kompleks, garam lithium dengan asam C₄-C₁₄ hidroksikarboksilat dan *thiadiazole*. Dari gemuk yang diperoleh kemudian dilakukan pengujian konsistensi pada temperatur yang bervariasi dan pengujian kestabilan.

Hasil yang diperoleh dari pengujiannya menunjukkan bahwa gemuk yang dihasilkan memiliki umur pelumasan yang lebih panjang dibandingkan dengan gemuk lithium biasa dengan komposisi 92,2% berat campuran mineral base oil dan sabun lithium kompleks dan 1% *thiadiazole*.

2.5.3.2 “An Investigation into the Use of Boron Esters to Improve the High-Temperature Capability of Lithium 12-Hydroxystearate Soap Thickened Grease”

Dalam penelitian ini, Jhon J. Lorimor meneliti tiga jenis gemuk lithium dengan komposisi berbeda yaitu gemuk lithium 12-hidroksistearat, gemuk gemuk lithium 12-hidroksistearat ditambahkan dengan boron ester dan gemuk lithium kompleks azelat.

Berikut ini tabel gemuk hasil penelitian Lorimor:

Tabel 2.8 Karakteristik gemuk hasil penelitian (Lorimor, 2009)

Komponen	Gemuk A Sabun Lithium		Gemuk B Sabun Lithium + Boron Ester		Gemuk C Sabun Kompleks Lithium Azelat	
	gram	% berat	gram	% berat	Gram	% berat
<i>Base oil blend</i> 88% Group II 600N 12% Polymer	6800	87,25	6566	84,25	7500	85,68
Asam 12-hidroksistearat	800	10,26	800	10,26	700	8,00
Dispersi LiOH	194	2,49	194	2,49	330	3,77
Asam Azelat					223,36	2,55
Boron ester			234	3,00		
Total	7794	100,00	7794	100,00	8753,36	100,00
NLGI Grade	2		2		2	
<i>Dropping point</i> , °C	207		283		274	
% Free LiOH	0,07		0,07		0,07	
% Sabun	10,56		10,56		11,00	
<i>Base oil properties</i>						
cSt @ 40°C	220		220		220	
cSt @ 100°C	20,5		20,5		20,5	
Indeks Viskositas	109		109		109	

2.5.3.1 United States Patent 4,897,210

Pada paten ini, Newsoroff melakukan penelitian terhadap gemuk lithium kompleks dengan membuat gemuk lithium kompleks dengan bahan utama garam lithium dari asam 12-hidroksistearat dan dari garam dilithium dari (C₁-C₂₄) alkil ester dari asam terephthalik dalam komposisi perbandingan molar sekitar 0,5 hingga 15:1, dengan pilihan antara 1-10:1 dan lebih baik lagi pada 2-6:11.

Sifat gemuk yang dihasilkan memiliki kesamaan dengan gemuk yang dihasilkan dengan menggunakan asam azelat dan dioktil sebaseat. Berikut ini tabel gemuk yang dibuat berdasarkan penelitian ini:

Tabel 2.9 Karakteristik gemuk hasil penelitian (Newsoroff, 1990)

Sample	Terephthalate Ester Evaluated as Lithium Complex Precursors				
	A	B	C	D	E
Ester-ester <i>Terephthalate</i> Rasio Molar (asam12-hidroksistearat: ester <i>Terephthalate</i>)	dimetil 2:1	diisopropil 4:1	di-2-etil heksil 4:1	di-2-butyl 4:1	diisobutil 4:1
Karakteristik gemuk					
Penetrasi (60 strokes)	219	262	295	298	262
Penetrasi (10.000 strokes)	239	287	330	316	282
<i>Shear Stability</i> (% change from 60 strokes to 10,000 strokes)	9,1	9,5	12,0	6	7,6
<i>Dropping Point</i> , °C	205	257	295	224	287

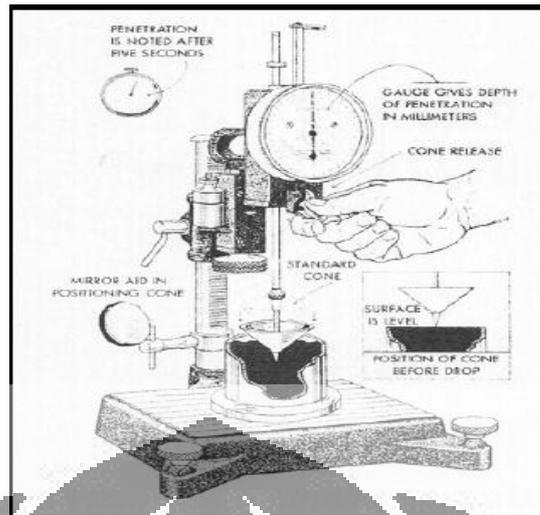
2.6 Parameter Uji Pelumas Gemuk

Parameter uji pelumas gemuk penting untuk dilakukan demi mengetahui kualitas gemuk yang telah dibuat. Parameter uji pelumas gemuk menggunakan standar uji dari ASTM (*American Standard Thermal Material*). Beberapa parameter uji yang digunakan untuk mengetahui kualitas dari gemuk adalah sebagai berikut:

2.6.1 Konsistensi

Konsistensi adalah kemampuan gemuk untuk menjaga struktur molekulnya dari suatu gaya yang diberikan dari luar. Konsistensi merupakan parameter yang paling penting dalam menilai kualitas gemuk. Konsistensi gemuk bergantung pada jenis dan banyaknya bahan pengental yang digunakan serta viskositas dari *base oil*. Gemuk dapat mengeras ataupun melunak karena efek kontaminasi, penguapan minyak ataupun gaya mekanik.

Konsistensi diukur dengan menggunakan uji penetrasi (ASTM D217) menggunakan penetrometer, dan dinyatakan dalam bilangan penetrasi. Semakin besar bilangan penetrasi suatu pelumas, semakin rendah konsistensi gemuk tersebut. Berikut ini merupakan gambar alat penetrometer yang digunakan.



Gambar 2.2 Penetrometer (Rush, 1997)

Pengujian konsistensi gemuk dilakukan dengan dua cara:

1) *Unworked Penetration*

Merupakan pengujian penetrasi dengan membiarkan penetrometer masuk ke dalam struktur gemuk tanpa adanya usaha.

2) *Worked penetration*

Merupakan pengujian penetrasi dengan membiarkan penetrometer masuk ke dalam struktur gemuk yang telah dilakukan usaha baik diputar atau dikedok.

Berikut ini adalah tabel nilai konsistensi berdasarkan NLGI:

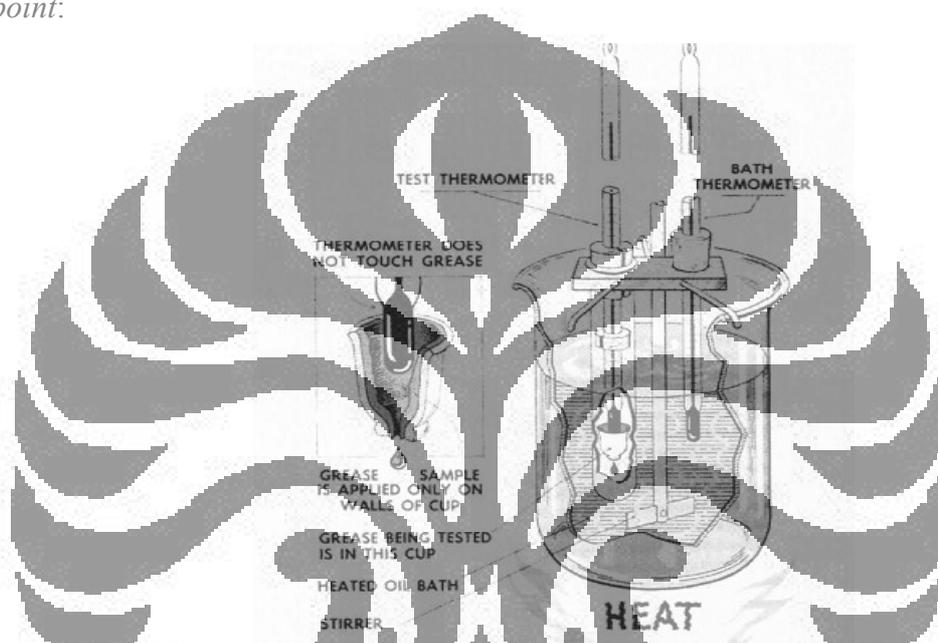
Tabel 2.10 Konsistensi berdasarkan NLGI (National Lubricating Grease Institute, 1984)

Bilangan NLGI	<i>Worked penetration</i> pada suhu 25 °C (0.1 mm)*	Konsistensi
000	445-475	Sangat lembut
00	400-430	Sangat lembut
0	355-385	Lembut
1	310-340	<i>Creamy</i>
2	265-295	<i>Semi solid</i>
3	220-250	<i>Semi hard</i>
4	175-205	Keras
5	130-160	Sangat keras, seperti sabun
6	85-115	Sangat keras, seperti sabun

2.6.2 Dropping point

Dropping point merupakan titik dimana gemuk mulai kehilangan kekentalannya dan mencair akibat suhu yang tinggi. Nilai *dropping point* menunjukkan kinerja dari gemuk tersebut, semakin tinggi nilai *dropping point* semakin baik kualitas dari gemuk tersebut.

Metode pengukuran *dropping point* menggunakan ASTM D-566 (Rush, 1997). Berikut adalah contoh peralatan yang digunakan untuk menguji *dropping point*:

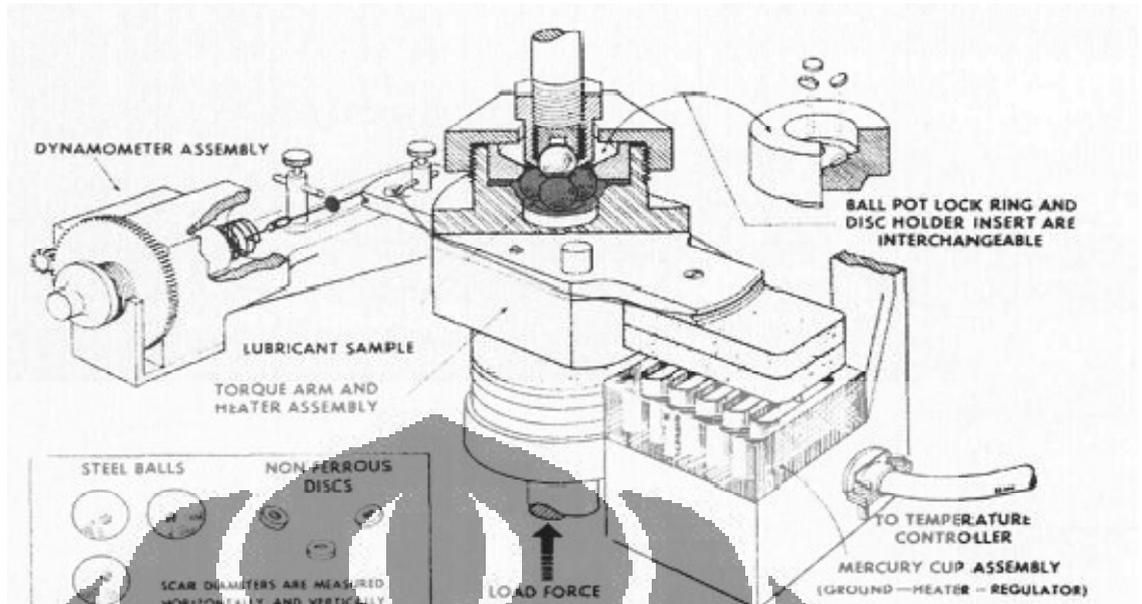


Gambar 2.3 Pengujian *dropping point* (Rush, 1997)

2.6.3 Four ball test

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 berupa uji keausan.

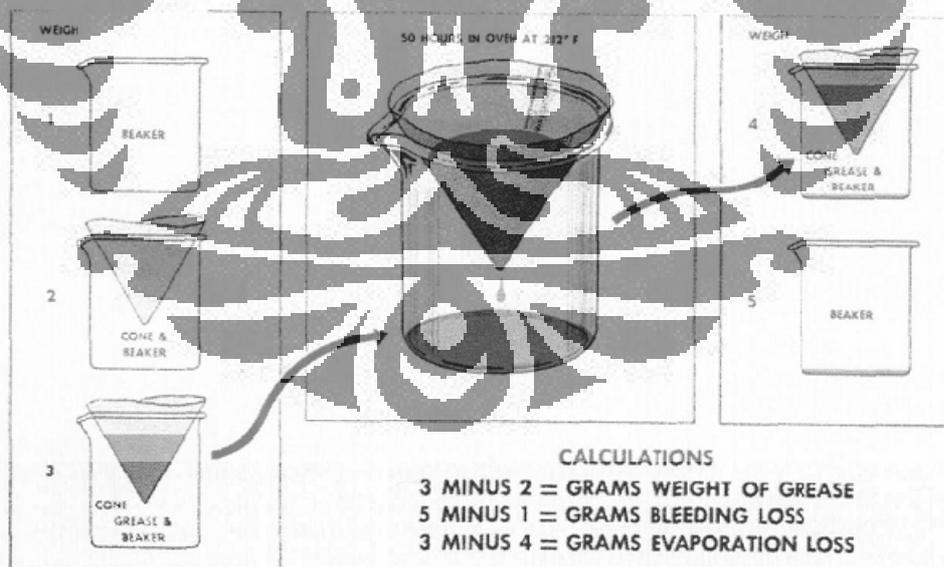
Metode uji keausan dapat dilakukan dengan metode *Four Ball Test* sesuai dengan prosedur standar ASTM D-4172. Analisis dilakukan dengan membandingkan perubahan massa bola sebelum dan sesudah proses pengujian (Rush, 1997). Semakin kecil nilai koefisien friksinya maka akan semakin kecil pula keausan yang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



Gambar 2.4 Four ball test (Rush, 1997)

2.6.4 Uji *Bleeding*

Bleeding merupakan kondisi ketika minyak pelumas terpisah dari *thickener*. Penyebab terjadinya *bleeding* adalah temperatur yang tinggi atau masa penyimpanan yang terlalu lama. Gambar 2.5 seperti di bawah ini menggambarkan proses uji *bleeding* yang perlu dilakukan.

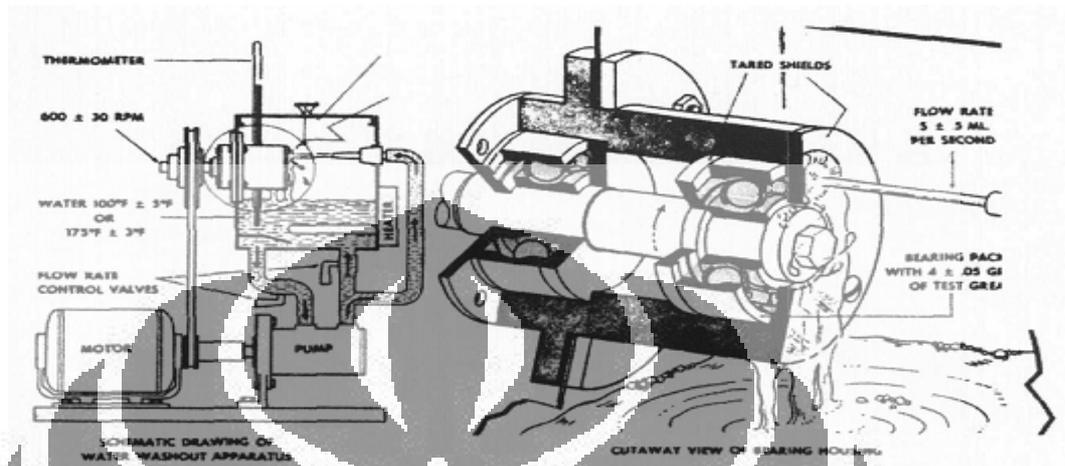


Gambar 2.5 Uji *bleeding* (Rush, 1997)

2.6.4 Ketahanan terhadap air

Gemuk harus memiliki ketahanan yang baik terhadap air agar tidak mudah terlepas dari logam yang dilapisinya, sehingga kemampuan gemuk untuk

melakukan pelumasan tidak terpengaruh. Gemuk yang baik harus mampu bertahan dari pengaruh air yang dapat mengubah struktur gemuk ketika saling bereaksi. Ketahanan gemuk terhadap air dapat diuji dengan menggunakan metode ASTM D-1264 dengan contoh peralatan uji seperti pada Gambar 2.6 di bawah ini:



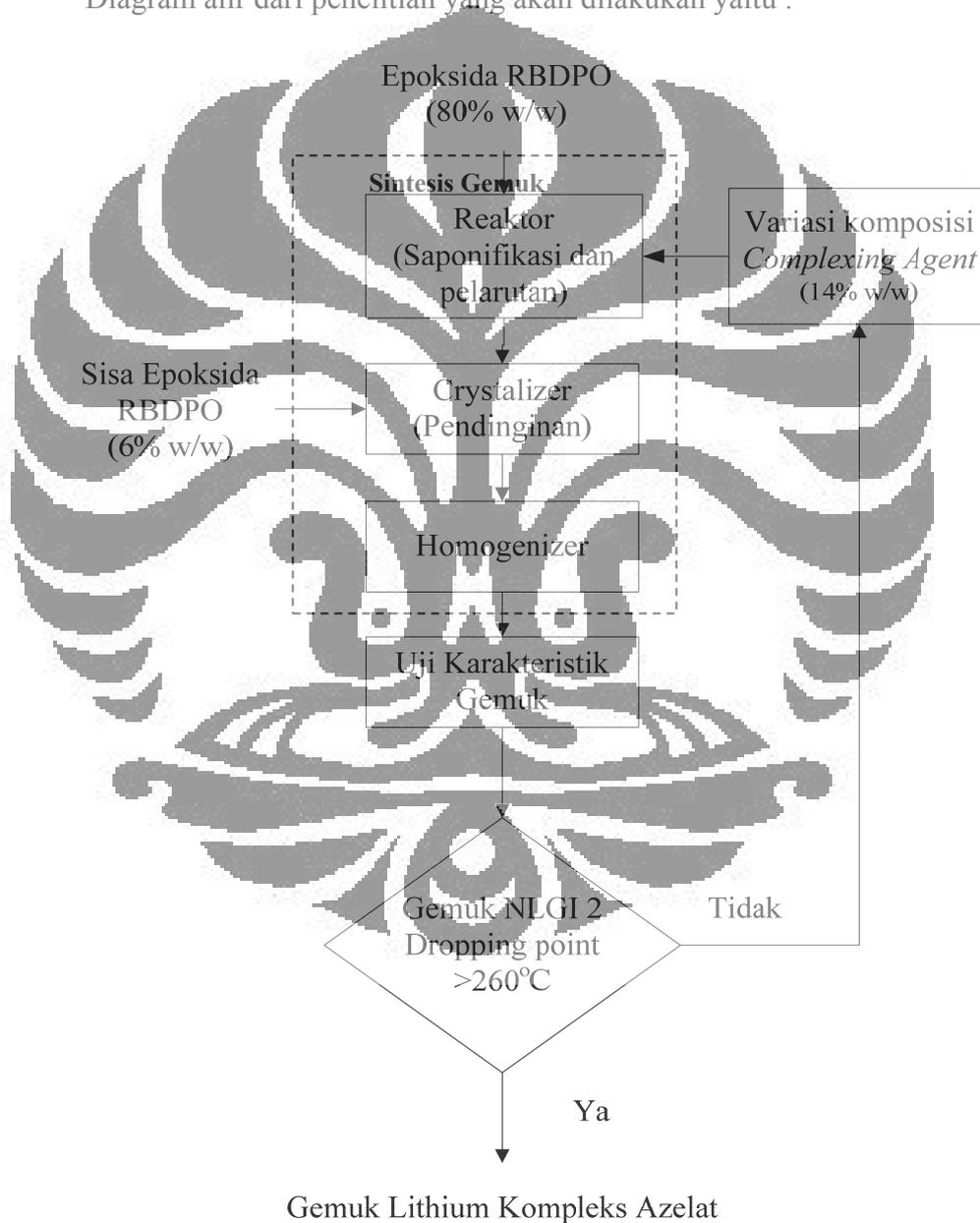
Gambar 2.6 Peralatan uji *water washout* (Rush, 1997)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pelaksanaan 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

3.2 Variabel Bebas dan Terikat

Terdapat dua variabel bebas atau variabel yang divariasikan dalam penelitian ini yaitu komposisi bahan pengental pada rasio mol asam azelat dan asam 12-hidroksistearat yang tetap dan komposisi bahan pengompleks atau asam azelat pada komposisi bahan pengental yang tetap. Komposisi bahan pembuatan gemuk lithium kompleks azelat menggunakan perbandingan persentase berat. Komposisi bahan pengental dibuat tetap yaitu 14% dari seluruh berat gemuk yang dibuat. Sedangkan variasi komposisi bahan pengompleks yang dilakukan yaitu 0%, 0.5%, 1% , 1,5% dan 2%. Parameter yang ingin diketahui dari penelitian ini adalah:

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

3.3 Alat Dan Bahan

3.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu,

1. Epoksida RBDPO (*Refined Bleached Deodorized Palm Oil*) sebagai *base oil*.
2. Lithium hidroksida sebagai alkali dalam pembuatan bahan pengental.
3. Asam 12-hidroksistearat sebagai asam lemak dalam pembuatan bahan pengental.
4. Asam azelat sebagai agen pengompleks dalam pembuatan sabun lithium kompleks.

3.3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- Reaktor bio pelumas : 1 unit
- Kontaktor berpengaduk (*Autoclave*) : 1 unit
- *Mixer* : 1 unit

Reaktor bio pelumas digunakan untuk mengepoksidasi RBDPO untuk digunakan sebagai *base oil* pada pembuatan gemuk. Reaktor yang digunakan

merupakan reaktor bertekanan dengan kapasitas 20 L. Sehingga volume minyak RBDPO yang dimasukkan ke dalamnya maksimal ± 10 L. Reaktor dioperasikan pada suhu 60-65°C, dengan menggunakan jaket air. Berikut ini gambar reaktor bio pelumas untuk epoksidasi RBDPO:



Gambar 3.2 Reaktor bio pelumas untuk epoksidasi RBDPO

Reaktor yang digunakan merupakan jenis reaktor bertekanan dengan kapasitas 2 kg, sehingga berat sampel percobaan maksimal ± 1 kg. Hal ini untuk menghindari kenaikan tekanan yang sangat besar selama proses pemanasan (proses pemanasan berlangsung pada suhu tinggi $\pm 195^\circ\text{C}$). Foto reaktor yang digunakan adalah sebagai berikut.



Gambar 3.3 Reaktor *batch* tertutup skala pilot

Fungsi utama reaktor adalah sebagai 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 di dalam reaktor.

Selain reaktor bio pelumas dan reaktor gemuk tertutup, pada penelitian ini juga digunakan *homogenizer* untuk menghaluskan gemuk sehingga strukturnya homogen. *Homogenizer* yang digunakan adalah *mixer* seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.4 Homogenizer

3.4 Pembuatan Gemuk

3.4.1 Penentuan Komposisi

Langkah awal dari penelitian ini yaitu penentuan komposisi awal bahan-bahan yang akan digunakan. Komposisi awal untuk pembuatan pelumas gemuk lithium 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 lithium hidroksida
- Kesesuaian dengan kuantitas produk pelumas gemuk yang akan dibuat atau skala pembuatan, yaitu skala lab dengan kuantitas produksi 5000 gram.

Pada penelitian Mauludi (2009) di Lab DTK FTUI, telah diketahui komposisi terbaik untuk menghasilkan gemuk lithium kompleks terdiri dari 15% berat *thickener* dan rasio mol 5:1 lithium 12 hidroksistearat dan lithium asetat. Gemuk yang dihasilkan dari penelitian tersebut masih terlalu keras atau tidak

memenuhi persyaratan NLGI 2. Dengan mengacu pada penelitian Lorimor (2009), dihasilkan gemuk lithium kompleks azelat dengan kualitas yang baik dan telah sesuai dengan NLGI 2, pada perbandingan *base oil* : *thickener* sebesar 86%:14% berat. Dari keseluruhan jumlah *thickener* perbandingan rasio pengompleks adalah 2,55:8 antara asam azelat dan asam 12-hidroksistearat. Atas dasar inilah pada penelitian ini diterapkan komposisi *thickener* 14% dan 13%, tapi dengan variasi rasio berat pengompleks yang berbeda. Berikut ini merupakan tabel dari komposisi gemuk yang akan dibuat.

Tabel 3.1 Komposisi gemuk dengan 86% *base oil* yang dibuat

% Pengompleks (gram)	0	1%	2,50%	3%	4%	Total Kebutuhan bahan
Base oil(gram)	860.00	860.00	860.00	860.00	860.00	4300.00
Asam 12-hidroksistearat (gram)	137.25	137.25	137.25	137.25	137.25	686.27
LiOH.H ₂ O (untuk Li Stearat dalam gram)	20.18	20.18	20.18	20.18	20.18	100.88
Asam Azelat (gram)	0.00	10.43	26.99	32.08	42.89	112.40
LiOH.H ₂ O (untuk Li Azelat)	0.00	4.89	12.65	15.04	20.10	52.67
LiOH.H ₂ O total (gram)	20.18	25.07	32.83	35.21	40.28	153.56
Total (gram)	1017.43	1032.75	1057.07	1064.55	1080.42	5252.23

Tabel 3.2 Komposisi gemuk dengan 87% *base oil* yang dibuat

% Pengompleks (gram)	0	1%	2,50%	3%	4%	Total Kebutuhan bahan
Base oil(gram)	860.00	860.00	860.00	860.00	860.00	4300.00
Asam 12-hidroksistearat (gram)	125.99	125.99	125.99	125.99	125.99	629.93
LiOH.H ₂ O (untuk Li Stearat dalam gram)	18.52	18.52	18.52	18.52	18.52	92.60
Asam Azelat (gram)	0.00	9.57	24.77	29.45	39.37	103.17
LiOH.H ₂ O (untuk Li Azelat)	0.00	4.49	11.61	13.80	18.45	48.35
LiOH.H ₂ O total (gram)	18.52	23.01	30.13	32.32	36.97	140.95
Total (gram)	1004.51	1018.57	1040.89	1047.76	1062.33	5174.05

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

3.4.2 Sintesa Produk

Dalam sintesa produk ini, terdapat beberapa tahap yang akan dilakukan.

Prinsip-prinsip dasar pembuatan gemuk pelumas:

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

Berikut merupakan prosedur pembuatan pelumas gemuk lithium kompleks yang telah dilakukan pada penelitian ini:

- 1) Pembuatan *base oil* epoksidasi RBDPO dengan mereaksikan RBDPO dan hidrogen peroksida dengan katalis asam formiat. Berikut adalah prosedur yang dilakukan:
 - Panaskan 10 liter RBDPO hingga mencapai suhu 60°C dan dilakukan pengadukan.
 - Masukkan katalis asam formiat sebanyak 400 ml secara perlahan kemudian 1,5 liter H₂O₂ secara perlahan dengan dilakukan pengadukan (setiap penambahan 100 mL ditunggu hingga bereaksi (ditandai dengan kenaikan suhu) setelah suhu kembali ke 60°C dilakukan kembali penambahan hingga seluruh H₂O₂ habis)
 - Pengadukan dilakukan selama 1 jam dan pertahankan suhu reaksi pada 60-65°C dengan menggunakan jaket air.
 - Setelah reaksi dilakukan, diamkan sesaat. Produk akan terpisah menjadi dua fasa yaitu hasil epoksidasi dan air beserta sisa H₂O₂ dan asam formiat. Pisahkan menggunakan corong pisah.

- Setelah dipisahkan, dilakukan pencucian dengan menggunakan air untuk menghilangkan sisa asam formiat dari produk. Pencucian dilakukan sebanyak 3-4 kali menggunakan air dengan perbandingan volume 1:1.
 - Panaskan kembali produk yang telah dicuci pada suhu 68°C dalam kondisi vakum untuk menghilangkan kandungan air yang tersisa.
 - Produk epoksidasi RBDPO yang telah bebas air digunakan sebagai *base oil*.
- 2) Dalam Reaktor tertutup
- Dimasukkan pelumas cair (*base oil*) sebanyak 80 % w/w dari total bobot lemak pada suhu 25 °C.
 - Dimasukkan asam 12-hidroksistearat 13,5 % w/w dari total bobot lemak pada suhu 70 – 80 °C dan pengadukan dipercepat.
 - Dimasukkan Lithium Hidroksida sebanyak 2 – 3 % dari total bobot lemak pada suhu 110 – 130 °C.
 - Dimasukkan asam azelat dan lithium hidroksida untuk agen pengompleks sebanyak 1 - 4 % per bobot total lemak.
 - Dilakukan pengadukan dan pemanasan pada temperatur 160 °C tekanan 3 – 6 bar. Reaksi saponifikasi ini dilakukan selama 1 jam.
 - Suhu reaktor diatur pada suhu 200 °C dan ketika proses telah sampai pada suhu tersebut maka dipertahankan selama 15 menit lalu suhu proses diturunkan dengan mematikan *heater*.
 - Setelah terjadi reaksi saponifikasi, pemanas kemudian dimatikan dan reaktor dibiarkan tetap mengaduk.
 - Dilakukan pengadukan dan penghilangan air dan udara dengan menambahkan kembali *base oil* sehingga menjadi 100 % berat, yaitu sebanyak 6 % berat.
 - Diaduk sampai temperatur proses sama dengan temperatur kamar.
 - Dipindahkan lemak pelumas ke unit *Homogenizer*.
- 3) Dalam Unit *Homogenizer*.
- Dilakukan pengadukan menggunakan *mixer* sehingga lemak pelumas menjadi homogen.

3.5 Pengujian Kualitas Gemuk

Setelah proses pembuatan gemuk selesai dilakukan dan menghasilkan pelumas gemuk lithium kompleks, gemuk hasil percobaan tersebut harus terlebih dahulu melewati beberapa tahap pengujian untuk dapat diketahui kualitasnya. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain, uji penetrasi (*penetration*), uji *dropping point*, dan *four ball test*.

3.5.1 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 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) Sebelum diuji, pelumas gemuk terlebih dahulu diberikan usaha, baik itu ditekan atau dikocok dengan menggunakan alat yang disebut "gemuk worker" sebanyak 0, 60 dan 10000 langkah.
- b) Gemuk yang dihasilkan ditempatkan ke dalam wadah penguji.
- c) Ujung kerucut dari penetrometer dibiarkan jatuh masuk (penetrasi) ke dalam permukaan gemuk.
- d) Nilai penetrasi, yaitu kedalaman masuknya penetrometer dapat diketahui.

3.5.2 Dropping point (ASTM D-566)

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

- a) Wadah penguji dibersihkan.

- b) Gemuk dimasukkan ke dalam wadah, lalu dipadatkan ke dinding wadah dengan menggunakan batangan pematik.
- c) Termometer dimasukkan ke dalam wadah, 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 *heated oil 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.

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

Pengujian *four ball* bertujuan untuk mengukur tingkat keausan logam yang dilindungi oleh gemuk dengan prosedur pengujian yang dilakukan sebagai berikut.

- a) Mencuci bola baja dengan toluen, kemudian mengeringkan di udara bebas.
- b) Menimbang keempat bola.
- c) 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.
- d) Mengaplikasikan gemuk pada bola baja hingga area kontak keempat bola baja terendam ($\pm 2,5\text{ml}$).
- e) Mengencangkan *four ball machine* dengan tang dan kunci inggris kemudian diletakkan pada tempatnya.
- f) Memasang beban dan kecepatan bola 1150 rpm.
- g) Setelah 1 jam, bola dibersihkan dan ditimbang sehingga dapat diketahui tingkat keausan (mg) = (massa sebelum – massa sesudah pengujian).

BAB 4 PEMBAHASAN

Pada bab ini akan ditampilkan hasil penelitian pembuatan serta pengujian gemuk bio lithium kompleks azelat. Gemuk bio lithium kompleks azelat yang dihasilkan akan diuji kualitasnya sehingga diketahui pengaruh dari penambahan asam azelat baik pada tampilan fisik gemuk, nilai *dropping point*, penetrasi maupun uji *four ball*. Hasil pengamatan dan pengujian akan dijelaskan lebih lanjut berikut ini.

4.1 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Tampilan Fisik Gemuk

Dalam penelitian ini dibuat dengan dua macam variasi *base oil* dan *thickener* yaitu sabun lithium stearat dengan penambahan asam azelat dengan perbandingan berat sebagai pengkompleks. Variasi komposisi *base oil* dan *thickener* yang diujikan adalah 86% w/w dan 14% w/w serta 87% w/w dan 13% w/w, maka didapatkan tampilan gemuk sebagai berikut ini:

Tabel 4.1 Tampilan gemuk

1)	Tampilan	Keterangan
		<ul style="list-style-type: none">• Gemuk dengan 86% w/w <i>base-oil</i> dan 14% w/w <i>thickener</i>• Warna: putih sedikit kecokelatan• Tekstur: lunak berserat pendek

Tabel 4.1 Tampilan gemuk (lanjutan)

Tampilan	Keterangan
2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemuk dengan 86% w/w <i>base oil</i> dan 14% w/w <i>thickener</i> + 1% asam azelat • Warna : putih kecokelatan • Tekstur : lunak berserat pendek
3) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemuk dengan 86% w/w <i>base oil</i> dan 14% w/w <i>thickener</i> + 2,5% asam azelat • Warna : putih kecokelatan • Tekstur : lunak berserat pendek

Tabel 4.1 Tampilan gemuk (lanjutan)

Tampilan	Keterangan
4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemuk dengan 86% w/w <i>base oil</i> dan 14% w/w <i>thickener</i> + 3% asam azelat • Warna : coklat • Tekstur : lunak berserat pendek
5) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemuk dengan 86% w/w <i>base oil</i> dan 14% w/w <i>thickener</i> + 4% asam azelat • Warna : coklat • Tekstur : lunak berserat pendek

Tabel 4.1 Tampilan gemuk (lanjutan)

Tampilan	Keterangan
<p>6)</p>  	<ul style="list-style-type: none"> • Gemuk dengan 87% w/w <i>base oil</i> dan 13% w/w <i>thickener</i> + 0% asam azelat • Warna : putih kecokelatan • Tekstur : lunak berserat pendek
<p>7)</p>  	<ul style="list-style-type: none"> • Gemuk dengan 87% w/w <i>base oil</i> dan 13% w/w <i>thickener</i> + 1% asam azelat • Warna : kuning kecokelatan • Tekstur : lunak berserat panjang

Tabel 4.1 Tampilan gemuk (lanjutan)

Tampilan	Keterangan
8) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemuk dengan 87% w/w <i>base oil</i> dan 13% w/w <i>thickener</i> + 2,5% asam azelat • Warna : putih kecokelatan • Tekstur : lunak berserat panjang
9) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemuk dengan 87% w/w <i>base oil</i> dan 13% <i>thickener</i> + 3% asam azelat • Warna : coklat • Tekstur : lunak berserat panjang

Tabel 4.1 Tampilan gemuk (lanjutan)

Tampilan	Keterangan
10) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemuk dengan 87% w/w <i>base oil</i> dan 13% w/w <i>thickener</i> + 2,5% asam azelat • Warna : putih kecokelatan • Tekstur : lunak berserat panjang

Aroma:

Gemuk lithium kompleks azelat yang dihasilkan dari penelitian ini secara umum berbau khas minyak kelapa sawit dan sudah tidak berbau asam, walau pun dalam pembuatan base oil epoksidasi RBDPO menggunakan katalis asam. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses pembuatan epoksida RBDPO asam telah ternetralkan.

Warna:

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat sedikit perbedaan penampakan gemuk yang dihasilkan dengan base oil sebanyak 87% dan *thickener* sebanyak 13% dengan penambahan asam azelat sebagai pengompleks. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan warna yang lebih gelap dibandingkan dengan yang dihasilkan dengan menggunakan base oil sebanyak 86% dan *thickener* sebanyak 14%. Penambahan asam azelat ke dalam gemuk mempengaruhi warna serta struktur gemuk. Warna gemuk semakin menjadi coklat seiring penambahan asam azelat.

Tekstur:

Tekstur yang dihasilkan dari penelitian ini dilihat dari Tabel 4.1 di atas menunjukkan penambahan asam azelat terhadap komposisi berat akan menyebabkan tekstur gemuk dari struktur yang lembut menjadi lebih berserat. Tekstur gemuk ini dapat dilihat dengan menekan gemuk dengan ibu jari dan telunjuk kemudian dilepaskan secara perlahan akan menunjukkan kemampuan 'mulur' gemuk.

Dari pengujian terhadap gemuk yang dibuat hasil penelitian didapat nilai mulur seperti tabel berikut ini:

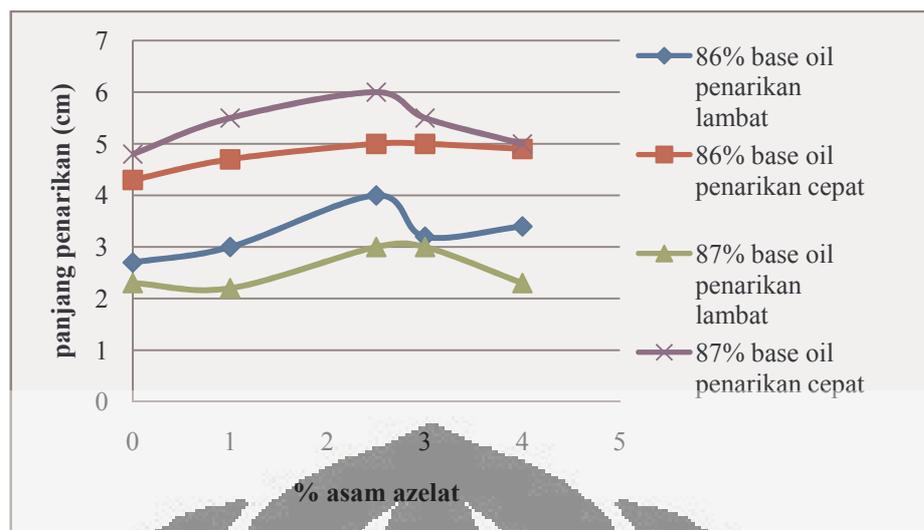
Tabel 4.2 Hasil penarikan gemuk dengan 86% base oil dan 14% *thickener*

Jumlah Asam Azelat (%)	Rentang penarikan lambat (cm)	Rentang penarikan cepat (cm)
0	2,7	4,3
1	3	4,7
2,5	4	5
3	3,2	5
4	3,4	4,9

Tabel 4.3 Hasil penarikan gemuk dengan 87% base oil dan 13% *thickener*

Jumlah Asam Azelat (%)	Rentang penarikan lambat (cm)	Rentang penarikan cepat (cm)
0	2,3	4,8
1	2,2	5,5
2,5	3	6
3	3	5,5
4	2,3	5

Dari kedua tabel di atas dibuat grafik pengamatan seperti berikut:



Gambar 4.1 Grafik hasil uji penarikan (86% *base oil* dan 14% *thickener* serta 87% *base oil* dan 13% *thickener*)

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan 4.3 serta Gambar 4.1, gemuk yang hanya terdiri dari sabun konvensional hanya memiliki kemampuan mulur yang tidak seberapa dibandingkan dengan gemuk dengan penambahan sabun pengompleks. Pada gemuk dengan sabun konvensional kemampuan matriks dari sabun konvensional memerangkap minyak dalam jaringan-jaringan porius antar sabun lebih lemah dibandingkan dengan gemuk yang diberikan penambahan sabun kompleks.

Dari grafik dapat dilihat untuk gemuk dengan 86% *base oil* dan 14% *thickener* nilai mulur terbaik didapat untuk penambahan asam azelat sebanyak 3%. Untuk gemuk dengan 87% *base oil* dan 13% *thickener* didapat hasil terbaik untuk penambahan 3% asam azelat.

Dari hasil percobaan yang dihasilkan dapat dilihat gemuk dengan perbandingan jumlah *base oil* dan *thickener* yang berbeda menghasilkan gemuk dengan penampakan dan sifat fisik yang berbeda pula.

4.2 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji Penetrasi

Uji penetrasi dilakukan untuk menentukan tingkat kekerasan atau konsistensi dari gemuk yang dibuat. Untuk gemuk lithium kompleks yang dihasilkan dari penelitian ditunjukkan dalam tabel-tabel berikut ini:

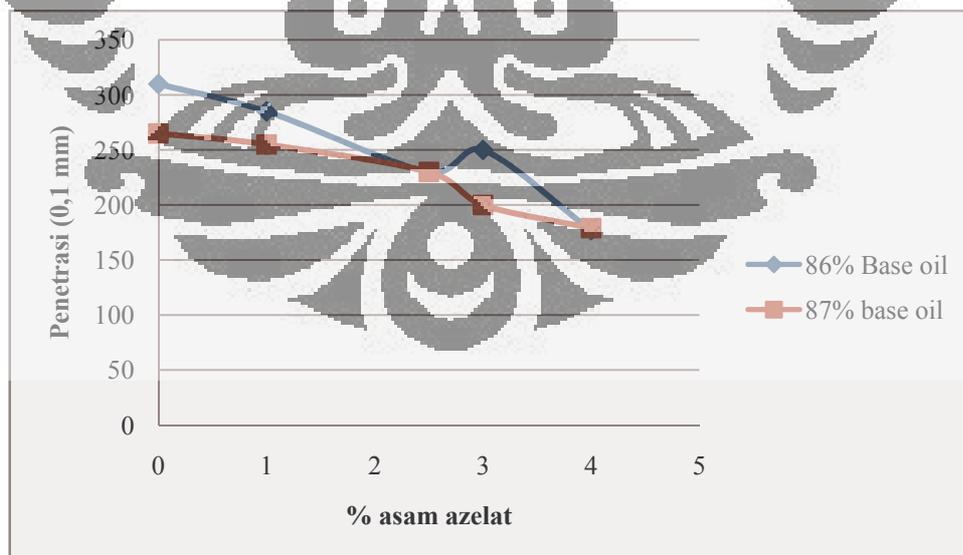
**Tabel 4. 4 Hasil uji penetrasi terhadap produk gemuk bio lithium
(86% base oil dan 14% thickener)**

Jumlah Asam Azelat (%)	Penetrasi (x 0,1 mm)	NLGI	Consistency
0	310	1	Sangat lembut
1	285	2	Lunak
2,5	230	3	Creamy
3	250	3	Semi solid
4	177	4	Sangat keras

**Tabel 4. 5 Hasil uji penetrasi terhadap produk gemuk bio lithium
(87% base oil dan 13% thickener)**

Jumlah Asam Azelat (%)	Penetrasi (x 0,1 mm)	NLGI	Consistency
0	265	2	Semi solid
1	255	3	Semi solid
2,5	230	3	Keras
3	200	4	Keras
4	179	4	Sangat keras

Dari kedua tabel di atas dibuat grafik uji penetrasi sebagai berikut:



**Gambar 4.2 Grafik hasil uji penetrasi terhadap produk gemuk bio lithium
(86% base oil dan 14% thickener serta 87% base oil dan 13% thickener)**

Gemuk dengan komposisi pengompleks sebanyak 0% hanya mengandung sabun konvensional lithium 12-hidroksistearat yang memiliki nilai penetrasi yang masih cukup besar. Gemuk yang dihasilkan penelitian ini memiliki kekerasan yang semakin meningkat seiring dengan penambahan asam azelat sebagai pengompleks. Sebagai pengompleks, asam azelat membentuk sabun lithium azelat. Interaksi antar molekul sabun konvensional lithium 12-hidroksistearat dan sabun lithium azelat membentuk jaringan-jaringan kompleks sehingga kerapatan serta kekuatan struktur matriks dari gemuk yang dihasilkan menjadi semakin kuat.

Gemuk dengan 87% base oil memiliki kekerasan yang tidak berbeda jauh jika dibandingkan dengan gemuk yang mengandung 86% base oil. Pengurangan 1% jumlah *thickener* hanya sedikit mempengaruhi tingkat kekerasan dari gemuk yang dibuat. Tingkat kekerasan gemuk akan mempengaruhi kemampuan untuk melumasi permukaan logam serta nilai *dropping point* dari gemuk itu sendiri.

4.3 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap *Dropping point*

Uji *dropping point* dilakukan untuk mengetahui pada suhu berapa gemuk yang dihasilkan mulai berubah fasa atau mencair. Semakin kuat struktur suatu gemuk akan semakin sulit untuk berubah fasa pada suhu tinggi. Gemuk akan mengalami perubahan fasa saat struktur gemuk mengalami kerusakan dan tidak mampu untuk memerangkap *base oil* di dalam matriks strukturnya pada suhu tertentu, hal itulah yang disebut nilai *dropping point*.

Gemuk mulai berubah fasa karena sabun yg terdapat dalam gemuk mulai berubah fasa dan mencair. Perubahan fasa ini disebabkan putusnya ikatan lithium dengan 12-hidroksistearat serta lithium dengan azelat akibat pemanasan pada suhu tinggi.

Nilai *dropping point* gemuk yang dihasilkan dari penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel berikut ini:

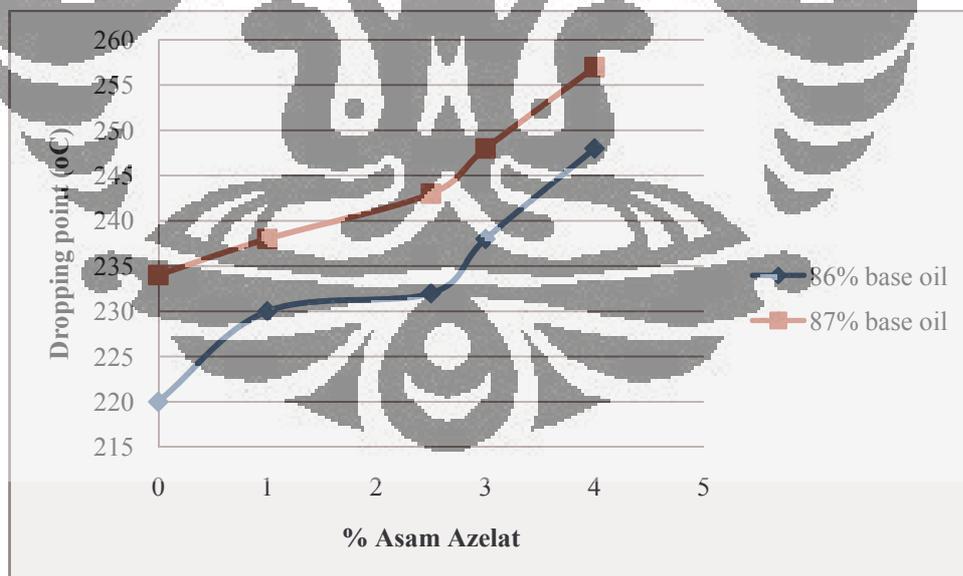
Tabel 4. 6 Hasil uji *dropping point* terhadap produk gemuk bio lithium (86% *base oil* dan 14% *thickener*)

Jumlah Asam Azelat (%)	<i>Dropping point</i> (°C)
0	220
1	230
2,5	232
3	238
4	248

Tabel 4. 7 Hasil uji *dropping point* terhadap produk gemuk bio lithium (87% *base oil* dan 13% *thickener*)

Jumlah Asam Azelat (%)	<i>Dropping point</i> (°C)
0	234
1	238
2,5	243
3	248
4	257

Data dari tabel-tabel di atas dapat dilihat dalam bentuk grafik berikut:



Gambar 4.3 Grafik hasil uji *dropping point* terhadap produk gemuk bio lithium (86% *base oil* dan 14% *thickener* serta 87% *base oil* dan 13% *thickener*)

Dari data-data di atas gemuk yang dihasilkan memiliki nilai *dropping point* di atas 220°C untuk gemuk dengan 86% *base oil* dan 14% *thickener* dan 230°C untuk gemuk dengan 87% *base oil* dan 13% *thickener*. Dapat dilihat gemuk

dengan jumlah *base oil* 87% memiliki *drooping point* yang lebih tinggi dibandingkan dengan gemuk dengan *base oil* 86%.

Penambahan asam azelat terhadap persen berat keseluruhan gemuk memberikan penambahan nilai *drooping point* sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa penambahan asam dibasic pada gemuk akan meningkatkan nilai *drooping point*-nya (Kennedy, C.S. dan Zelman, F., 2001). Penambahan asam azelat menyebabkan struktur jaringan sabun menjadi semakin kompleks dan membuat gemuk mampu bertahan hingga suhu yang tinggi. Atau dengan kata lain energi yang dibutuhkan untuk memutus atau merusak jaringan kompleks ini sangatlah besar. Gemuk dengan nilai *drooping point* yang tinggi memiliki kemampuan melumasi lebih baik pada kondisi operasi suhu tinggi karena mampu mempertahankan strukturnya pada suhu tinggi atau tidak mudah mencair.

4.4 Pengaruh Jumlah Agen Pengkompleks Terhadap Uji *Four Ball*

Untuk mengetahui performa dari gemuk yang dihasilkan dalam melindungi lapisan logam dari keausan dilakukan uji *four ball*. Nilai keausan dari logam pada uji *four ball* adalah selisih dari berat ke empat bola sebelum dan sesudah dilakukan uji *four ball*. Semakin sedikit selisih berat dari ke empat bola, maka semakin baik kemampuan gemuk untuk melindungi logam dari keausan.

Berikut ini hasil dari uji *four ball* yang disajikan dalam tabel:

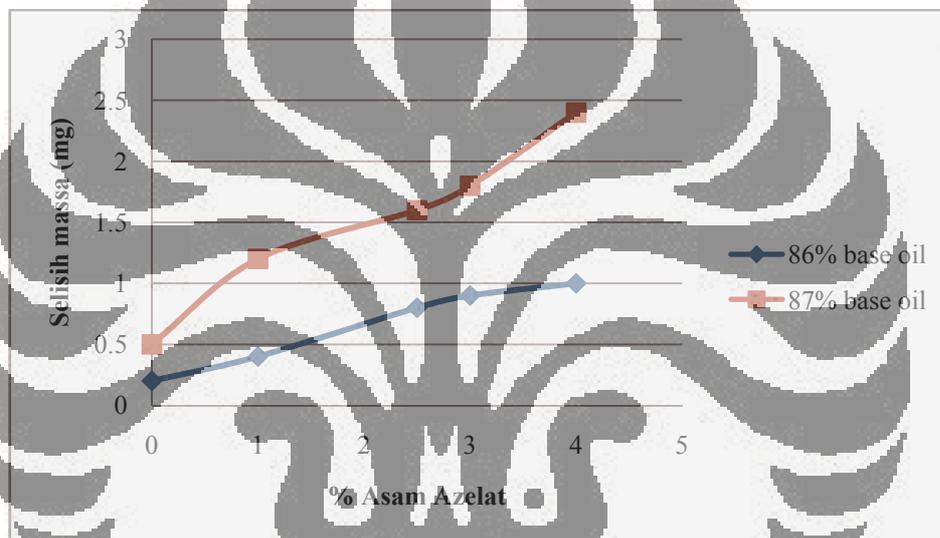
Tabel 4. 8 Hasil uji *four ball* terhadap produk gemuk bio lithium (86% *base oil* dan 14% *thickener*)

Jumlah Asam Azelat (%)	Δ massa 4 bola sebelum-sesudah(mg)
0	0.2
1	0.4
2,5	0.8
3	0.9
4	1

Tabel 4. 9 Hasil uji *four ball* terhadap produk gemuk bio lithium (87% *base oil* dan 13% *thickener*)

Jumlah Asam Azelat (%)	Δ massa 4 bola sebelum-sesudah(mg)
0	0.5
1	1.2
2,5	1.6
3	1.8
4	2.4

Dari tabel-tabel di atas dapat dibuat grafik seperti berikut:



Gambar 4.4 Grafik hasil uji *four ball* terhadap produk gemuk bio lithium (86% *base oil* dan 14% *thickener* serta 87% *base oil* dan 13% *thickener*)

Dari tabel-tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa gemuk yang dihasilkan dari penelitian memiliki nilai keausan yang semakin bertambah. Bertambahnya nilai keausan disebabkan penambahan asam azelat sebagai pengompleks berfungsi untuk membuat jaringan sabun dengan struktur yang semakin rapat sehingga gemuk semakin menjadi keras dan gemuk tidak mampu melumasi permukaan logam dengan baik. Gemuk yang semakin keras akan sulit untuk masuk ke sela-sela empat bola yang diujikan dan memberikan lapisan perlindungan.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan bab pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan *complexing agent* asam azelat memberikan nilai *dropping point* pada gemuk bio lithium kompleks meningkat melebihi angka 206⁰C.
2. Warna gemuk lithium kompleks yang dihasilkan semakin berwarna coklat tua seiring meningkatnya konsentrasi dari asam azelat sebagai pengompleks.
3. Tektur gemuk semakin berserat seiring penambahan asam azelat dan mencapai jumlah tertentu hingga terjadi penurunan karena penambahan asam azelat lebih banyak.
4. Nilai penetrasi semakin rendah seiring penambahan *complexing agent* sehingga struktur gemuk makin keras dan membuat gemuk tidak mampu melindungi permukaan logam terhadap keausan hal ini dapat dilihat dari nilai uji *four-ball* yang semakin besar.
5. Produk terbaik pada penelitian ini didapatkan pada komposisi penambahan *complexing agent* 3 % untuk gemuk dengan *base oil* 86% dan *thickener* 14%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhvaryu, A., Erhan, S. Z., dan Perez, J. M.. *Preparation of Soybean Oil-Based Greases : Effect of Composition and Structure on Physical Properties*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52. 2004.pp. 6456-6459.
- Andrew, David Leslie (1998). *Lithium Complex Grease with Extended Lubrication Life*. United States Patent No 5731274.
- Azelaic acid. (n.d.). 1 Juni 2010. http://en.wikipedia.org/wiki/Azelaic_acid
- Brown, T., Slack, D.A., dan Alexander, A.G. (1990). *Method of Improving the Shear Stability of Lithium Soap Grease*. United States Patent No 4904400.
- Caines, A., dan Roger, H. (1996). *Automotive Lubricants Reference Book*. United States: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Chtourou, M., Trabelsi, M., dan 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, p. 3-7.
- Dwivedi, M.C. dan Sapre, S. (2002). *Total Vegetabel-Oil Based Greases Prepared From Castor Oil*. Journal Synthetic Lubricant, 19, pp. 229-241.
- Drake, D.A. and Wulfers, Thomas F, 1992. *Environmentally Friendly Grease Compositions*. United States Patent No 5154840.
- Fenjerry, Y. (2006). *Pembuatan dan Karakterisasi EPOME Gliserol dan EPOME Monoalkohol Sebagai Pelumas Foodgrade*. Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI, Depok.
- Fessenden, R. J. dan Fessenden, J.S. (1999). *Kimia Organik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services. 21 CFR 178.3570 – *Lubricants with Incidental Food Contact*. Code of Federal Regulations – Title 21: Food and Drugs. <http://cfr.vlex.com/vid/178-lubricants-with-incident-contact-19706679>. (9 Januari 2011)

- Gunstone, F. (2007). Market update: Palm Oil. *International News on Fats, Oils, and Related Materials*, 18. pp. 835-836.
- Harris, J.W. dan Hall, R.S. (1993). *Preparation of Lithium Soap Grease*. United States Patent No 5236607.
- Hotten, B.W. (1964). *Advances in Petroleum Chemistry and Refining*. New York: Interscience Publishers.
- Kennedy, C.S. dan Zelman, F. (2001). *Dibasic acids to reduce coefficient of friction in rolling oils*. United States Patent No 4390438
- Landsdown, A.R. (1982). *Lubrication: A Practical Guide to Lubricant Selection*. United Kingdom: Pergamon Press.
- Lorimor, Jhon J. (2009, June 13-16). *An Investigation into the Use of Boron Esters to Improve the High-Temperature Capability of Lithium 12-Hydroxystearate Soap Thickened Grease*. NLGI 76th Annual Meeting Tucson, Arizona, USA.
- Malchev, Ivan. (2008). *Plant-oil-based Lubricants*. Department of Plant Agriculture, Ontario Agriculture College, University of Guelph.
- Mardiansyah, D. (2007). *Penggunaan efamegli (pelumas bio) dan minyak mineral sebagai base oil pada pembuatan gemuk bio*. Skripsi, Departemen Teknik Kimia, FTUI, Depok
- Marius. (2007). *Pembuatan Grease Calcium dan Grease Lithium Berbahan Dasar EPOME Gliserol*. Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI, Depok.
- Mauludi, Insan H. (2008). *Pembuatan Gemuk Bio Lithium Kompleks Menggunakan Pelumas Hasil Epoksidasi Minyak Sawit*. Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI, Depok.
- Merck KgaA. (2010). 820116 *Azelaic acid*. Darmstadt, Germany, <http://www.merck.co.id>, 1 Juni 2010
- National Lubricating Grease Institute [NLGI]. (1984). *Lubricating Grease Guide*. Kansas City, Missouri.
- Newsoroff, George P. (1990). *Lithium Complex Grease Thickener and High Dropping Point Thickened Grease*. United States Patent No 4897210

- 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.
- Spagnoli, J.E., Nadasdi, T.T., Stober, S.T., Doner, J.P., Graham, J.K., Sundstorm, N.C., Grives, P.R., Carfolite, B.A., Van Auken, J.F. (2005). *Method and Equipment for Making A Complex Lithium Grease*. United States Patent No US 2005/0082014 A1.
- Sukirno, Fajar, R., Bismo, S. and Nasikin, M. (2009). *Biogrease Based on Palm Oil and Lithium Soap Thickener: Evaluation of Antiwear Property*. *World Applied Sciences Journal* 6 (3): pp 401-407.
- Tambun, Rondang. (2006). *Buku Ajar Teknologi Oleokimia*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- The Petroleum HPV Testing Group. (2003, December 31). *HPV Grease Thickeners Test Plan: "Fatty Acids, Lithium and Calcium Salts used as Grease Thickeners"*. US EPA
- Tuszynski, W. dan Bessette P. A. (2008, July). *An Evaluation of Sebasie Acid and Azelaic Acid as Thickener in Lithium Complex Greases*. *NLGI Spokesman*, Vol. 72, No. 4.
- Witte Jr., Arnold C., Stone, Aubrey L. and Woloszyn, Patrick F. (1984). *Lithium Complex Soap Thickened Grease Containing Calcium Acetate*. United States Patent No 4483776

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Komposisi Gemuk Bio

A. Gemuk Bio lithium kompleks azelat dengan *base oil* 86% massa dan 14% *thickener*

$$\begin{aligned}\text{Bobot } \textit{Base Oil} &= \% \text{ massa minyak} \quad \times \quad \text{Massa gemuk} \\ &= 86\% \quad \times \quad 1000 \text{ g} \\ &= 860 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bobot } \textit{Thickener} &= (\text{Massa gemuk} \quad \times \quad 14\%) \\ &= (1000 \text{ gram} \quad \times \quad 14\%) \\ &= 140 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total bobot gemuk bio} &= \text{bobot } \textit{base oil} + \text{bobot } \textit{thickener} \\ &= 860 \text{ gram} + 140 \text{ gram} = 1000 \text{ gram}\end{aligned}$$

Untuk kebutuhan 12-*hidroxy*stearic dan *lithium hydroxide* dihitung dari basis mol sabun lithium.

$$\text{mol a} = \frac{\text{bobot } \textit{thickener}}{\text{Mr } \textit{thickener}} = \frac{140 \text{ gram}}{306 \text{ gram/mol}} = 0.46 \text{ mol}$$

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

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

$$\begin{aligned}\text{Bobot } 12\text{-}\textit{hidroxy}\text{stearic acid} &= \text{mol b} \quad \times \text{Mr } 12\text{-}\textit{hidroxy}\text{stearic acid} \\ &= 0.46 \text{ mol} \quad \times 300 \text{ gram/mol} \\ &= 138 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bobot } \textit{lithium hydroxide} &= \text{mol c} \quad \times \text{Mr } \textit{lithium hydroxide} \\ &= 0.46 \text{ mol} \quad \times 42 \text{ gram/mol} \\ &= 19.32 \text{ gram}\end{aligned}$$

Lanjutan Lampiran 1

Untuk memastikan semua 12-*hidroxystearic acid* habis bereaksi dengan *lithium hydroxide* maka bobot *lithium hydroxide* dibuat berlebih 5 persen.

$$\begin{aligned} \text{Bobot } \textit{lithium hydroxide} \text{ berlebih} &= 19,32 \text{ gram} \times 5 \% \\ &= 0,966 \text{ gram} \end{aligned}$$

Untuk bobot *complexing agent* dihitung dari reaksi dibawah ini :



Mol d = mol *lithium azelat*

Mol e = mol asam azelat

Mol f = mol *lithium hydroxide*

Contoh perhitungan :

Dengan basis bobot total lemak bio maka

$$\begin{aligned} \text{Bobot } \textit{complexing agent} &= \% \text{ bobot } \textit{complexing agent} \times \text{bobot total lemak bio} \\ &= 3 \% \times 1000 \text{ gram} \\ &= 30 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{mol } \textit{lithium azelat} = \frac{\text{bobot } \textit{complexing agent}}{\text{Mr } \textit{complexing agent}} = \frac{30 \text{ gram}}{200,2 \text{ gram/mol}} = 0,15 \text{ mol}$$

Karena koefisien garam *lithium azelat* : *lithium hydroxide* : asam azelat = 1 : 2 : 1

Maka :

$$\begin{array}{l} \text{Bobot asam azelat} \\ \text{mol e} \times \\ 0,15 \text{ mol} \\ \times 188,2 \text{ gram/mol} \\ 32,08 \text{ gram} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Bobot } \textit{lithium hydroxide} \\ \text{mol f} \times \\ 2 \times 0,15 \\ \text{mol} \\ \times 42 \text{ gram/mol} \end{array}$$

$$14,32 \text{ gram}$$

Untuk memastikan semua asam azelat habis bereaksi dengan *lithium hydroxide* maka bobot *lithium hydroxide* dibuat berlebih 5 persen.

$$\begin{aligned} \text{Bobot } \textit{lithium hydroxide} \text{ berlebih} &= 14,32 \text{ gram} \times 5 \% \\ &= 0,72 \text{ gram} \end{aligned}$$

Lanjutan Lampiran 1

Dengan menggunakan program Microsoft Excel perhitungan di atas akan ditampilkan dalam tabel pada metodologi penelitian

B. Gemuk Bio lithium kompleks azelat dengan *base oil* 87% massa dan 13% *thickener*

$$\begin{aligned}\text{Bobot Base Oil} &= \% \text{ massa minyak} \quad \times \quad \text{Massa gemuk} \\ &= 87\% \quad \times \quad 988,5 \text{ g} \\ &= 860 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bobot Thickener} &= (\text{Massa gemuk} \quad \times \quad 13\%) \\ &= (988,5 \text{ gram} \quad \times \quad 13\%) \\ &= 128,5 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total bobot gemuk bio} &= \text{bobot base oil} + \text{bobot thickener} \\ &= 860 \text{ gram} + 128,5 \text{ gram} = 988,5 \text{ gram}\end{aligned}$$

Untuk kebutuhan 12-*hidroxy*stearic dan *lithium hydroxide* dihitung dari basis mol sabun lithium.

$$\text{mol a} = \frac{\text{bobot thickener}}{\text{Mr thickener}} = \frac{128,5 \text{ gram}}{306 \text{ gram/mol}} = 0,42 \text{ mol}$$

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

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

$$\begin{aligned}\text{Bobot 12-}i\text{hidroxy}i\text{stearic acid} &= \text{mol b} \quad \times \text{Mr 12-}i\text{hidroxy}i\text{stearic acid} \\ &= 0,42 \text{ mol} \quad \times 300 \text{ gram/mol} \\ &= 138 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Bobot } i\text{lithium hydroxide} &= \text{mol c} \quad \times \text{Mr } i\text{lithium hydroxide} \\ &= 0,42 \text{ mol} \quad \times 42 \text{ gram/mol} \\ &= 17,64 \text{ gram}\end{aligned}$$

Lanjutan Lampiran 1

Untuk memastikan semua 12-*hidroxystearic acid* habis bereaksi dengan *lithium hydroxide* maka bobot *lithium hydroxide* dibuat berlebih 5 persen.

$$\begin{aligned}\text{Bobot } \textit{lithium hydroxide} \text{ berlebih} &= 17,64 \text{ gram} \times 5 \% \\ &= 0,882 \text{ gram}\end{aligned}$$

Untuk bobot *complexing agent* dihitung dari reaksi dibawah ini :



Mol d = mol *lithium azelat*

Mol e = mol asam azelat

Mol f = mol *lithium hydroxide*

Contoh perhitungan :

Dengan basis bobot total lemak bio maka

$$\begin{aligned}\text{Bobot } \textit{complexing agent} &= \% \text{ bobot } \textit{complexing agent} \times \text{bobot total lemak bio} \\ &= 3 \% \times 998,5 \text{ gram} \\ &= 29,95 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{mol } \textit{lithium azelat} = \frac{\text{bobot } \textit{complexing agent}}{\text{Mr } \textit{complexing agent}} = \frac{29,95 \text{ gram}}{200,2 \text{ gram/mol}} = 0,15 \text{ mol}$$

Karena koefisien garam *lithium azelat* : *lithium hydroxide* : asam azelat = 1 : 2 : 1

Maka :

$$\begin{aligned}\text{Bobot asam azelat} &= \text{mol e} \times \text{Mr asam azelat} \\ &= 0,15 \text{ mol} \times 188,2 \text{ gram/mol} \\ &= 28,23 \text{ gram}\end{aligned}$$

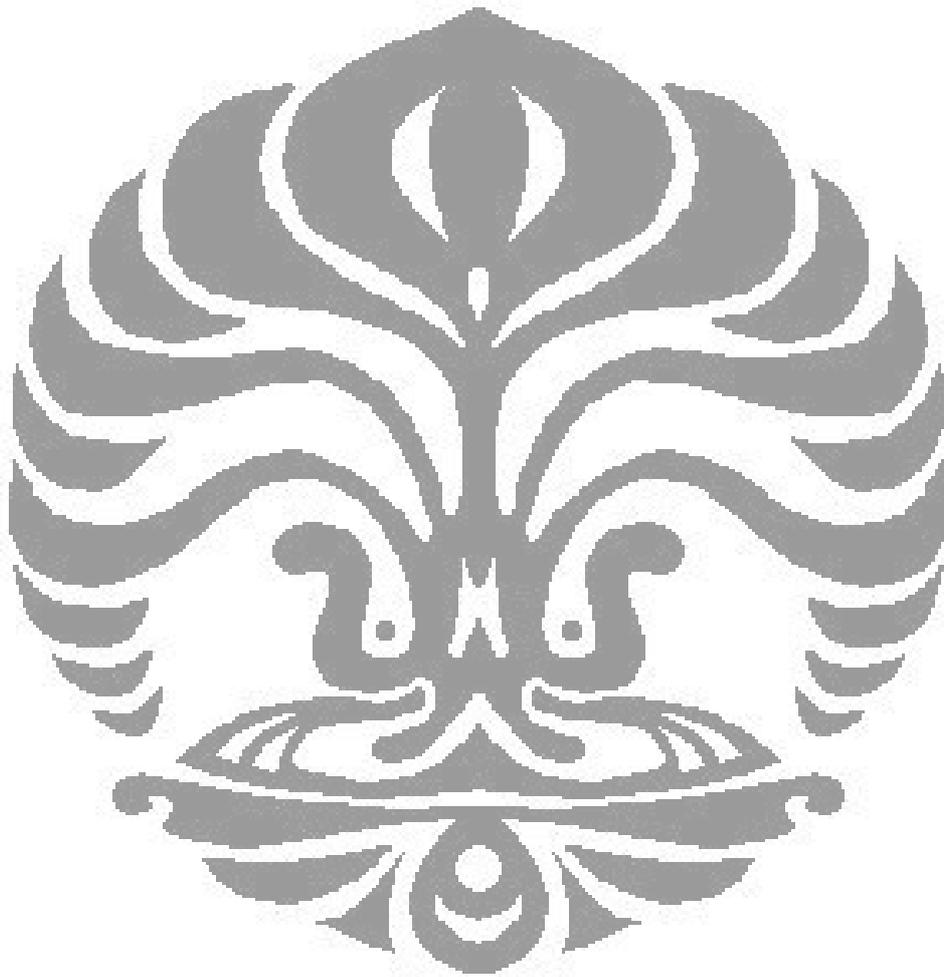
$$\begin{aligned}\text{Bobot } \textit{lithium hydroxide} &= \text{mol f} \times \text{Mr } \textit{lithium hydroxide} \\ &= 2 \times 0,15 \text{ mol} \times 42 \text{ gram/mol} \\ &= 12,6 \text{ gram}\end{aligned}$$

Untuk memastikan semua asam azelat habis bereaksi dengan *lithium hydroxide* maka bobot *lithium hydroxide* dibuat berlebih 5 persen.

$$\begin{aligned}\text{Bobot } \textit{lithium hydroxide} \text{ berlebih} &= 12,6 \text{ gram} \times 5 \% \\ &= 0,63 \text{ gram}\end{aligned}$$

Lanjutan Lampiran 1

Dengan menggunakan program Microsoft Excel perhitungan di atas akan ditampilkan dalam tabel pada metodologi penelitian

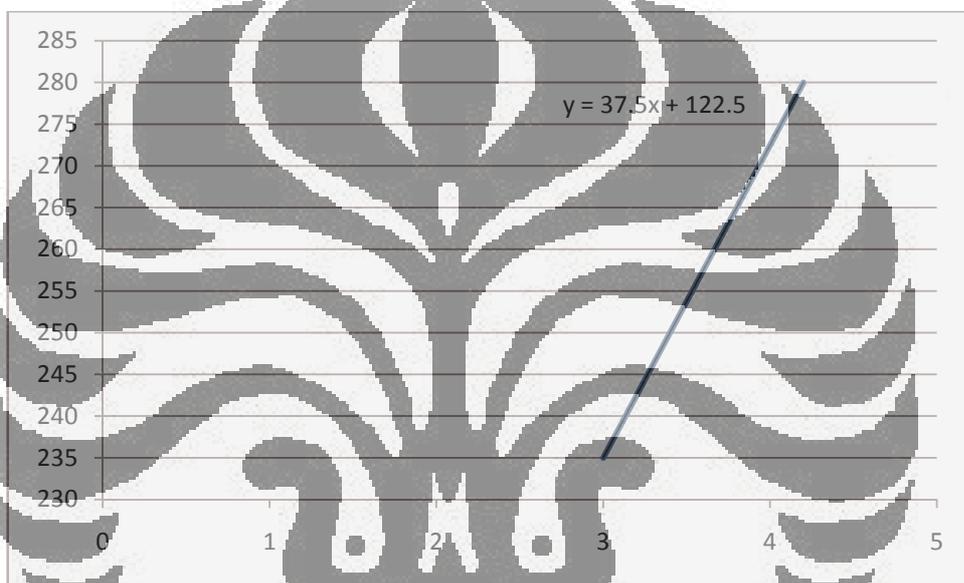


Lampiran 2. Kalibrasi Penetrometer

Pengkalibrasian penetrometer dilakukan sebelum melakukan uji penetrasi agar pengukuran yang dilakukan terhadap gemuk hasil percobaan menggunakan skala yang sama dengan gemuk komersil standar yang telah diketahui nomor NLGI-nya. Berikut ini data yang diperoleh dari kalibrasi:

Penetrasi standar (x 0,1 mm)	Penetrasi alat (cm)
235	3
280	4.2

Berikut ini grafik hasil kalibrasi:



Dari grafik di atas dapat ditentukan nilai kalibrasi penetrometer yang digunakan dengan standar NLGI yaitu: $y = 37,5x + 122,5$

Data hasil kalibrasi penetrometer ditampilkan pada pembahasan.