

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
PENGARUH PENAMBAHAN *COMPLEXING AGENT* ASAM
SALISILAT PADA *LITHIUM GREASE* DENGAN *BASE OIL*
MINYAK JARAK
DI PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI
MINYAK DAN GAS BUMI (LEMIGAS)
(20 Maret – 20 Mei 2016)



OLEH :

I DEWA AYU ANANDA WIDHIYANI
RISMA

1512017
1512035

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
PENGARUH PENAMBAHAN *COMPLEXING AGENT* ASAM
SALISILAT PADA *LITHIUM GREASE* DENGAN *BASE OIL*
MINYAK JARAK

Diajukan sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta



OLEH :

I DEWA AYU ANANDA WIDHIYANI	1512017
RISMA	1512035

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016

ABSTRAK

Penggunaan minyak bumi dalam pembuatan gemuk lumas relatif berbahaya karena mengandung senyawa sulfur dan aromatik, serta tidak bersifat *bio-degradable*. Selain itu, ketersediaan minyak bumi semakin menipis sehingga diperlukan penelitian untuk membuat gemuk lumas berbahan dasar minyak nabati dengan ketersediaan bahan lokal yang besar. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bahan dasar minyak jarak yang merupakan komponen utama pembuatan gemuk lumas, 12-HSA sebagai pengentalnya, dengan penambahan *complexing agent* asam salisilat. Penambahan asam salisilat mempengaruhi hasil uji karakteristik gemuk lumas yaitu uji *dropping point*, uji penetrasi, dan uji *water washout*. Gemuk lumas litium kompleks yang memenuhi syarat didapatkan pada komposisi 0%, 6%, dan 11%. Ketiga komposisi tersebut menghasilkan nilai *dropping point* $\geq 183^{\circ}\text{C}$, tingkat konsistensi (*worked penetration*) pada NLGI 1-3, dan nilai *greases losses* $\leq 50\%$.

Kata kunci: Asam salisilat, minyak jarak, *complexing agent*, gemuk lumas litium kompleks, uji karakteristik gemuk lumas.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERNYATAAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR SINGKATAN	ix
ABSTRAK.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gemuk Lumas	5
2.2 Komposisi Gemuk Lumas.....	6
2.2.1 Minyak Lumas Dasar	7
2.2.1.1 Minyak Mineral (<i>Mineral Base Oil</i>).....	7
2.2.1.2 Minyak Nabati	9
2.2.1.3 Minyak Sintetik	11
2.2.2 Bahan Pengental	12
2.2.2.1 Pengental Sabun (<i>Soap Thickener</i>)	12
2.2.2.2 Pengental Bukan Sabun (<i>Non Soap Thickener</i>)	17
2.2.3 Bahan Tambahan (<i>Additive</i>).....	18
2.2.3.1 Aditif Antioksidan	19
2.2.3.2 Aditif <i>Metal Deactivator</i>	20
2.2.3.3 Aditif Anti Karat dan Anti Korosi	20
2.2.3.4 Aditif Anti Tekanan Ekstrim	21

2.2.3.5 Aditif Anti Jamur dan Bakteri	21
2.2.4 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	21
2.2.5 Zat Warna dan Parfum	22
2.2.6 <i>Complexing Agent</i>	22
2.3 Jenis Gemuk Lumas	23
2.3.1 Gemuk Sabun Litium	23
2.3.2 Gemuk Sabun Kalsium	24
2.3.3 Gemuk Sabun Natrium	24
2.4 Pembuatan Gemuk Lumas	25
2.4.1 Gemuk Didih atau Gemuk <i>Boiled</i>	25
2.4.2 Gemuk <i>Cold-Sett</i>	26
2.5 Spesifikasi Produk Gemuk Lumas Kendaraan Bermotor.....	26
2.5.1 Gemuk Lumas Kendaraan Bermotor Kode L (LA, LB).....	26
2.5.2 Gemuk Lumas Kendaraan Bermotor Kode G (GA, GB)	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.3 Pembuatan Gemuk Lumas Litium Kompleks dengan Penambahan Asam Salisilat	30
3.4 Variabel	31
3.4.1 Variabel Tetap.....	31
3.4.2 Variabel Bebas	31
3.5 Prosedur Pembuatan Gemuk Lumas Litium Kompleks.....	31
3.6 Karakterisasi <i>Lithium Complex Grease</i>	33
3.6.1 <i>Dropping Point</i> ASTM D 566	33
3.6.2 Konsistensi Menggunakan <i>Cone Penetration</i> ASTM D 217	34
3.6.3 <i>Water Washout</i> ASTM D1264.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Pengaruh Penambahan <i>Complexing Agent</i> pada Gemuk Litium terhadap <i>Dropping Point</i> Gemuk Lumas	39
4.2 Pengaruh Penambahan <i>Complexing Agent</i> pada Gemuk Litium	

terhadap Kekerasan (Penetrasi) dan Konsistensi Gemuk Lumas ..	40
4.3 Pengaruh Penambahan <i>Complexing Agent</i> pada Gemuk Litium	
terhadap Uji <i>Water Washout</i> Gemuk Lumas	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Komposisi Asam Lemak Minyak Jarak (<i>Risinus communis L.</i>)	10
Tabel II.2	Karakteristik SRMO dan Minyak Jarak Sebagai Bahan Dasar Pelumas	11
Tabel II.3	Karakteristik Kimia Fisika Minyak Jarak (<i>Risinus communis L.</i>) ..	11
Tabel II.4	Karakteristik Litium Dihidroksida (LiOH).	14
Tabel II.5	Karakteristik Fisika-Kimia Asam 12-Hidroksistearat	15
Tabel II.6	Jenis Pengental dan Karakteristiknya	16
Tabel II.7	Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas <i>Chassis</i> Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI LA	27
Tabel II.8	Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas <i>Chassis</i> Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI LB	27
Tabel II.9	Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas <i>Chassis</i> Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI GA.....	28
Tabel II.10	Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas <i>Chassis</i> Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI GB.....	28
Tabel II.11	Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas <i>Chassis</i> Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI GC.....	28
Tabel III.1	Komposisi Gemuk Lumas Li-Salisilat dengan 15.2% <i>Thickener</i>	30
Tabel III.2	Tingkat Kekerasan Gemuk Lumas.....	35
Tabel IV.1	Hasil Uji Karakteristik Gemuk Lumas di Laboratorium	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Komposisi Gemuk Lumas	7
Gambar II.2	Struktur Kimia Minyak Bumi n-Parafinik	8
Gambar II.3	Struktur Kimia Minyak Bumi Iso Parafinik	8
Gambar II.4	Struktur Kimia Minyak Bumi Naftenik	8
Gambar II.5	Struktur Kimia Minyak Bumi Aromatik	9
Gambar II.6	Struktur Asam Risinoleat	10
Gambar II.7	Mekanisme Reaksi Hidrogenasi Asam Risinoleat dengan Katalis Nikel	15
Gambar II.8	Struktur Serat Sabun Litium Hidroksistearat	17
Gambar III.1	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar III.2	Reaksi Penyabunan dari Litium Hidroksida, Asam 12- Hidroksistearat dan Asam Salisilat.....	30
Gambar III.3	Prosedur Pembuatan Gemuk Lumas Litium Kompleks dengan Penambahan Asam Salisilat.....	32
Gambar III.4	Alat Uji <i>Dropping Point</i>	36
Gambar III.5	Alat Uji Penetrometer	38
Gambar III.6	Alat Uji <i>Water Washout</i>	39
Gambar IV.1	Pengaruh Penambahan <i>Complexing Agent</i> pada Gemuk Litium terhadap <i>Dropping Point</i> Gemuk Lumas	40

Gambar IV.2 Pengaruh Penambahan <i>Complexing Agent</i> Asam Salisilat pada Gemuk Litium terhadap Kekerasan <i>Unworked</i> dan <i>Worked</i> Gemuk Lumas	41
Gambar IV.3 Pengaruh Penambahan <i>Complexing Agent</i> Asam Salisilat pada Gemuk Litium terhadap <i>Worked Penetration</i> Gemuk Lumas	42
Gambar IV.4 Pengaruh Penambahan <i>Complexing Agent</i> Asam Salisilat pada Gemuk Litium terhadap % Perubahan Konsistensi Gemuk Lumas	43
Gambar IV.5 Pengaruh Penambahan <i>Complexing Agent</i> Asam Salisilat pada Gemuk Litium terhadap Uji <i>Water Washout</i> Gemuk Lumas	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelumas dapat didefinisikan sebagai zat di antara dua permukaan yang bergerak supaya mengurangi gesekan di antara keduanya (Caines dan Haycock, 1996). Berdasarkan jenisnya, pelumas terbagi atas dua golongan, yaitu minyak lumas (*lubricating oil*) dan gemuk lumas (*lubricating grease*). Gemuk lumas merupakan minyak lumas yang diberi bahan pengental (*thickening agent*) atau dapat dikatakan sebagai hasil dispersi bahan pengental dalam pelumas cair yang sifatnya padat sampai semi padat. Minyak lumas merupakan jenis pelumas yang berbentuk cair tanpa zat pengental (*thickening agent*).

Tiga hal yang paling berpengaruh dalam proses pemilihan pelumas adalah jenis kegunaan, kekentalan dan mutu. Dari kegunaannya, pelumas cair biasa digunakan pada mesin otomotif sedangkan untuk *grease*, karena kentalnya gemuk lumas yang akan menempel terus pada komponen yang dilumasi dan tidak akan menetes, sehingga cocok untuk komponen-komponen terbuka seperti engsel pintu, sendi-sendi batang, lengan suspensi, dan lain sebagainya.

Pada umumnya gemuk lumas terbuat dari minyak mineral dengan bahan dasar minyak bumi. Tetapi penggunaan minyak mineral dalam pembuatan gemuk lumas berbahaya bagi kesehatan karena mengandung senyawa sulfur dan aromatik, serta tidak bersifat *bio-degradable*, sehingga menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Selain itu, ketersediaan minyak bumi juga semakin menipis sehingga diperlukan penelitian untuk membuat gemuk lumas dengan ketersediaan bahan lokal yang besar, ramah lingkungan dan aman bagi kesehatan (*Centers For Disease Control and Prevention (CDC)*, 2011).

Minyak Jarak (*castor oil*) dihasilkan dari biji tanaman jarak (*Ricinus communis L.*) yang dengan mudah tumbuh di daerah tropis dan sub tropis, salah satunya di Indonesia. Pada tahun 2000, luas area tanaman jarak di Indonesia telah mencapai 12.791 hektar dengan produksi biji jarak sebesar 1.504 ton/tahun.

Produksi biji jarak di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Sampai akhir tahun 2003, produksi biji jarak Indonesia telah mencapai 2.978 ton/tahun. Dengan jumlah ketersediaan yang besar, minyak jarak berpotensi untuk menggantikan minyak mineral sebagai bahan baku pembuatan gemuk lumas. Adanya variasi pemanfaatan minyak jarak diharapkan dapat menambah nilai produk minyak jarak di Indonesia

Komposisi gemuk lumas terdiri dari minyak lumas dasar (*base oil*) sebesar 75% sampai 95%, bahan pengental (*thickener*) sebesar 10% sampai 20%, dan untuk komposisi selebihnya itu adalah bahan tambahan (*additive*), bahan pengisi (*filler*), zat warna, parfum dan *complexing agent*. Bahan pengental yang umum digunakan dalam pembuatan gemuk lumas antara lain sabun kalsium, sabun aluminium dan sabun litium.

Gemuk litium dibuat menggunakan sabun litium dengan reaksi saponifikasi litium hidroksida dan asam 12-hidroksistearat (12-HSA), pada suhu 160°C-250°C, tergantung pada minyak dasar dan jenis reaktor yang digunakan (Mortier dkk, 2010). Gemuk litium diproduksi dan dikembangkan pada masa Perang Dunia II. Awalnya, jenis gemuk ini harganya masih sangat mahal. Kini gemuk litium ini telah dipergunakan secara luas, bukan saja pada mesin pesawat, melainkan sudah merambah ke mesin industri ataupun otomotif, harganya pun sudah tidak lagi mahal. Gemuk litium memiliki kelebihan yaitu secara fisik memiliki tekstur yang halus (*smooth*), warna yang agak terang, memiliki kinerja yang baik pada suhu yang tinggi dan suhu rendah, serta memiliki kestabilan oksidasi yang baik tetapi kelemahan gemuk litium adalah ketahanannya terhadap air kurang baik (Ludema, 1996).

Penambahan *complexing agent* pada gemuk litium mampu mengubah *fiber structure thickener* yang berimbas pada karakteristik gemuk. Semakin panjang dan rapat struktur serabut yang diperoleh, maka kemampuan untuk bereaksi dan pembentukan ulang dengan struktur serabut yang berdekatan menjadi lebih reaktif. Imbas dari hal tersebut adalah peningkatan nilai konsistensi dan *dropping point* karena diperlukan energi yang lebih besar untuk bisa menguraikan struktur

serabut. Untuk itu *complexing agent* perlu ditambahkan kedalam formula gemuk lumas, salah satunya adalah asam salisilat.

Berkaitan dengan hal itu, muncul ide untuk memproduksi gemuk lumas *Li-Kompleks-Salisilat* dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas gemuk yang dihasilkan. Pencampuran sabun litium dengan asam salisilat (*complexing agent*) tersebut akan memberikan sifat dan karakteristik yang saling memperbaiki sehingga diharapkan dapat diperoleh hasil yang maksimal baik dalam suhu tinggi, tampilan fisik, konsistensi yang relatif konstan (NLGI) dan sifat ketahanan terhadap *water washout* yang tinggi.

Pada penelitian ini, akan dibuat gemuk lumas nabati dengan tingkat konsistensi NLGI 1-3 menggunakan minyak jarak sebagai *base oil* dan sabun berupa campuran litium hidroksida dengan asam 12-hidroksistearat (12-HSA) serta asam salisilat sebagai *complexing agent*. Gemuk lumas nabati yang dihasilkan akan diuji karakteristiknya yang meliputi pengujian sifat fisika dan pengujian semi unjuk kerja.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang melatarbelakangi penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mendapatkan karakteristik dan performa yang baik dari gemuk lumas litium kompleks dengan nilai NLGI 1-3 dan *dropping point* yang tinggi?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *complexing agent* asam salisilat terhadap kestabilan konsistensi pada gemuk lumas litium kompleks?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *complexing agent* asam salisilat terhadap ketahanan gemuk lumas pada air?
4. Bagaimana mendapatkan gemuk lumas yang memenuhi syarat pada uji *dropping point*, penetrasi, dan *water washout*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Pengental yang digunakan adalah pengental sabun litium hidroksistearat (Li-12 HSA).

2. Komposisi pembuatan *thickener* (pengental) pada gemuk lumas dihitung berdasarkan stokiometri karena reaksi ini merupakan reaksi penyabunan yang merupakan suatu reaksi kimia.
3. Jumlah presentasi pengental adalah 15.2% w/w dari berat gemuk lumas berdasarkan percobaan dan literatur yang ada.
4. Untuk menilai kualitas gemuk lumas yang diperoleh, hanya beberapa parameter mutu yang digunakan yaitu tingkat kekerasan gemuk lumas yang dinyatakan dengan tingkat NLGI, nilai *dropping point*, persentase ketahanan gemuk terhadap air dengan *water washout test*.
5. Klaim bersifat ramah lingkungan tidak didasarkan pada pengukuran *biodegradabilitas*, namun didasarkan pada asumsi bahwa gemuk bio yang diperoleh ini minyak dasarnya adalah minyak nabati turunan dari minyak jarak dengan *biodegradabilitas* masih tidak berubah dari asalnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan karakteristik dan performa yang baik pada gemuk lumas litium kompleks, dalam hal ini memiliki nilai NLGI 1-3 dan *dropping point* yang tinggi. gemuk lumas litium kompleks dengan asam salisilat sebagai *complexing agent* dengan
2. Mendapatkan pengaruh penambahan *complexing agent* asam salisilat terhadap kestabilan konsistensi pada gemuk lumas litium kompleks.
3. Mendapatkan pengaruh penambahan *complexing agent* asam salisilat terhadap ketahanan gemuk lumas pada air.
4. Mendapatkan gemuk lumas yang memenuhi syarat pada uji *dropping point*, uji penetrasi, dan uji *water washout*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Didapatkan gemuk bio dari minyak nabati yang ramah lingkungan.
2. Didapatkan prosedur pembuatan gemuk lumas Li-Kompleks-Salisilat.
3. Didapatkan data teknis mengenai penambahan asam salisilat sebagai *complexing agent* dengan gemuk lumas litium (Li-Kompleks-Salisilat).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gemuk Lumas

Istilah gemuk lumas pada awalnya berasal dari bahasa latin yaitu “*crassus*” yang berarti lemak. Gemuk lumas (*grease*) merupakan lumas dalam bentuk setengah padat (*semi-solid*) tetapi lembut, masyarakat mengenal jenis lumas ini dengan sebutan gemuk atau *veselin* atau *stempet* (Wartawan, 1998).

Gemuk lumas, seperti semua jenis lumas lainnya baik lumas cair maupun padat, bekerja dengan cara membentuk lapisan pada permukaan, mencegah kontak langsung antar dua permukaan yang bergesekan, agar berkurang keausan (*wear*) dan kehilangan energinya akibat gesekan (*friction*) tersebut. Dengan demikian keberadaan lapisan gemuk lumas dimaksudkan untuk memudahkan gerakan pada setiap elemen mesin, terutama bantalan peluru dan roda gerigi, yang selanjutnya berkontribusi menaikkan efisiensi mesin (Wartawan, 1998).

Beberapa alasan digunakannya gemuk lumas untuk melumasi bagian mesin adalah sebagai berikut (Wartawan, 1998) :

- a. Gemuk lumas memiliki karakteristik fisik yang memadai untuk dapat diterapkan di dalam tugasnya melumasi mesin.
- b. Gemuk lumas dapat bersifat sebagai penyekat (*seal*) untuk menahan masuknya kotoran dan air.
- c. Gemuk lumas dapat menahan kebocoran dan penetesannya dari permukaan yang dilumasi.
- d. Gemuk lumas dapat memberi perlindungan permukaan yang dilumasi dari terjadinya korosi.
- e. Gemuk lumas dapat memberikan perubahan tahanan pada kerja mekanis yang diterima permukaan yang dilumasi.

Ditinjau dari perbedaan antara penggunaan gemuk lumas dan minyak lumas dalam melumasi mesin, gemuk lumas lebih ekonomis dibandingkan minyak lumas. Hal ini karena beberapa alasan, yaitu:

- a. Melumasi dengan gemuk lumas tidak perlu banyak penggantian.
- b. Dalam penggunaannya, gemuk lumas juga berfungsi sebagai penyekat untuk menahan masuknya kotoran dan debu ke dalam bantalan.
- c. Penetasan dan penyemprotan tidak terjadi pada pelumasan yang menggunakan gemuk lumas sebagai pelumasnya.
- d. Gemuk lumas lebih cocok digunakan pada beberapa kondisi kerja yang ekstrim, seperti suhu tinggi, tekanan tinggi, kecepatan rendah, adanya beban kejutan dari bantalan yang beroperasi dengan kondisi mesin yang berjalan atau berhenti dan berputar balik berulang kali.

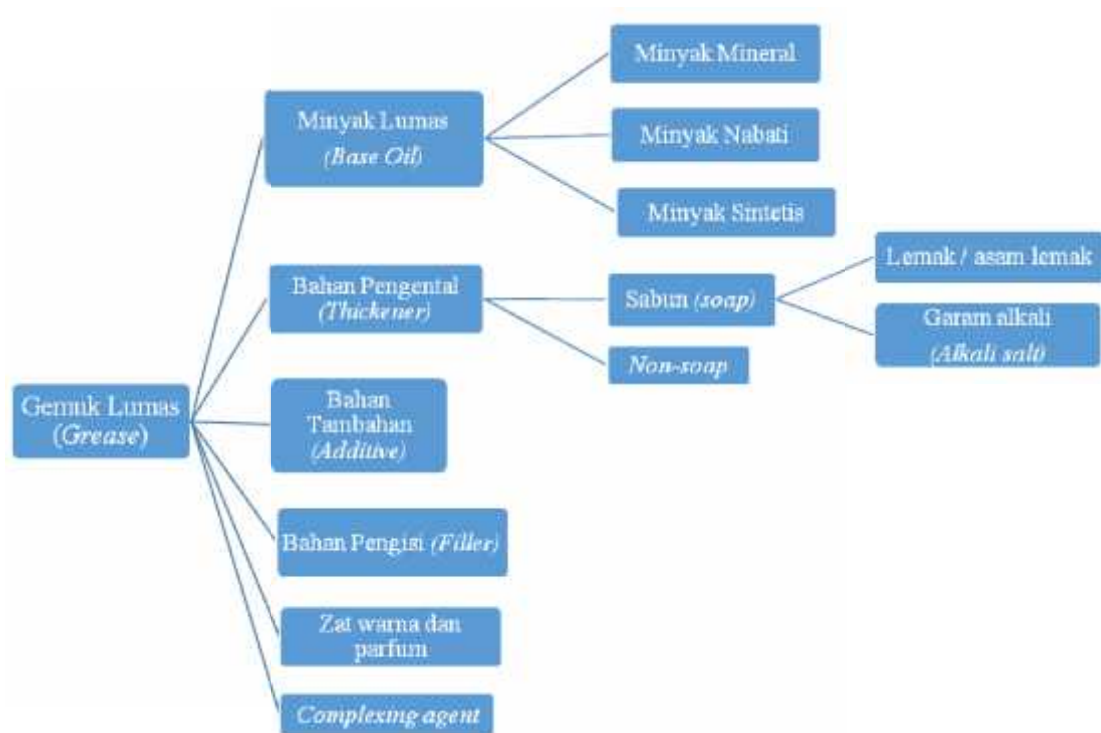
(Wartawan, 1998)

Disamping banyak keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan gemuk lumas pada mesin, terdapat pula beberapa segi yang merugikan yang tidak dihindari. Gemuk lumas pada kenyataannya bukan bahan yang baik untuk digunakan sebagai media pendingin. Sebaliknya, minyak lumas merupakan bahan pendingin yang baik digunakan pada sistem pendinginan pada mesin. Selain itu, gemuk lumas juga memiliki beberapa kekurangan lainnya yaitu pada saat pengisian dan penggantian yang sulit. Cara memberi gemuk lumas pada bagian mesin adalah dengan menggunakan bedil gemuk (*grease gun*). (Wartawan, 1998).

Karena banyaknya jenis gemuk lumas yang beredar di pasaran, penggunaan gemuk lumas harus disesuaikan dengan perangkat yang akan dilumasi, apalagi setiap gemuk lumas memiliki kemampuan kerja yang berbeda. Gemuk lumas khusus untuk sasis misalnya, harus memiliki spesifikasi tahan terhadap air, kotoran, tekanan dan guncangan. Hal ini disebabkan sasis mobil selalu berhubungan dengan kotoran, debu dan lumpur.

2.2 Komposisi Gemuk Lumas

Pada dasarnya, gemuk lumas terdiri dari minyak lumas dasar (*base oil*), bahan pengental (*thickener*), bahan tambahan (*additive*), bahan pengisi (*filler*), zat warna dan parfum. Komposisi gemuk lumas secara umum dapat dilihat pada Gambar II.1 :



Gambar II.1. Komposisi Gemuk Lumas

(Tim Pelaksana Kerja Sama Direktorat Jendral Litbang (AURI) dengan LEMIGAS, 1970)

2.2.1 Minyak Lumas Dasar

Komposisi terbesar pada gemuk lumas adalah minyak lumas dasar (*base oil*), yaitu sekitar 75-95%. Minyak lumas dasar (*base oil*) dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu: (1) Minyak mineral, yang berasal dari proses pengolahan minyak bumi; (2) Minyak nabati, yang berasal dari tumbuh-tumbuhan contohnya: minyak jarak, minyak kelapa dan lain-lain; (3) Minyak sintesis, yang merupakan hasil rekayasa ahli kimia untuk membuat minyak lumas baru yang lebih baik kualitasnya contohnya: *Polyalphaolefin*.

2.2.1.1 Minyak Mineral (*Mineral Base Oil*)

Minyak mineral umum digunakan sebagai minyak lumas dasar (*base oil*) dalam pembuatan pelumas. Menurut HEPPLER (1967), bahan dasar pelumas adalah fraksi minyak bumi dengan atau tanpa aditif yang mempunyai kisaran titik didih antara 380°C – 550°C dan digunakan untuk tujuan pelumasan (Caines dan Haycock, 1996).

Minyak bumi atau biasa disebut minyak mineral terdiri dari campuran senyawa yang kompleks, mengandung bermacam-macam senyawa hidrokarbon yang bercampur menjadi satu. Menurut komposisi dan jenis hidrokarbonnya, minyak bumi dapat digolongkan menjadi empat jenis, yaitu (Guthrie, 1960) :

a. Minyak Bumi Parafinik

Minyak bumi parafinik memiliki rantai karbon yang berbentuk lurus atau isoparafinik (bercabang). Golongan ini mengandung tidak kurang dari 75% hidrokarbon parafinik. Struktur kimia minyak bumi n-parafinik dan iso parafinik dapat dilihat pada Gambar II.2 dan II.3 :



Gambar II.2 Struktur Kimia Minyak Bumi n-parafinik



Gambar II.3 Struktur Kimia Minyak Bumi Iso Parafinik

b. Minyak Bumi Naftenik

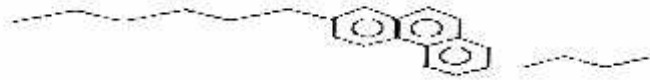
Minyak bumi naftenik memiliki rantai atom karbon jenuh yang tertutup atau siklo parafin, struktur kimia minyak bumi naftenik dapat dilihat pada Gambar II.4 :



Gambar II.4 Struktur Kimia Minyak Bumi Naftenik

c. Minyak Bumi Aromatik

Minyak bumi ini memiliki struktur hidrokarbon cincin benzene aromatik dan turunan-turunannya. Struktur kimia minyak bumi aromatik dapat dilihat pada Gambar II.5 :



Gambar II.5 Struktur Kimia Minyak Bumi Aromatik

d. Minyak Bumi Campuran

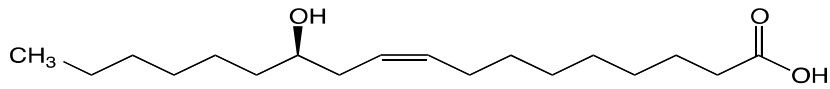
Merupakan minyak bumi campuran antara parafinik, naftenik dan aromatik, ataupun antara parafinik dengan naftenik, naftenik dengan aromatik dan parafinik dengan aromatik.

2.2.1.2 Minyak Nabati

Salah satu minyak nabati yang diusulkan sebagai bahan dasar pelumas menggantikan minyak mineral adalah minyak jarak (*castor oil*) yang diperoleh dari biji tanaman jarak *Ricinus communis L.* Jarak *Ricinus communis L.* adalah jenis tanaman yang termasuk dalam famili *Euphorbiaceae* berasal dari Afrika Timur dan Utara, sudah tersebar dan tumbuh baik di berbagai daerah tropis maupun subtropis (Leslie, 2006).

Minyak jarak (*Ricinus communis L.*) adalah minyak nabati yang berpotensi menggantikan minyak mineral sebagai bahan dasar minyak lumas karena minyak jarak lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan minyak mineral, dapat terdegradasi secara biologis (*biodegradable*) dan juga dapat diperbaharui (*renewable*). Meskipun, minyak jarak memiliki stabilitas oksidasi yang kurang baik sehingga lebih mudah teroksidasi (Leslie, 2006), namun stabilitas oksidasinya lebih tinggi bila dibandingkan dengan minyak nabati lainnya.

Minyak jarak berbeda dari minyak nabati lainnya, karena minyak jarak mempunyai bobot jenis, viskositas, bilangan asetil dan kelarutan dalam alkohol yang tinggi. Ciri khas yang dimiliki minyak jarak ialah kandungan asam lemak tidak jenuh yang mengandung gugus hidroksil (*unsaturated hydroxyl fatty acid*), *cis 9,12 hydroxy octadecenoic acid*, yang umum disebut asam risinoleat (*ricinoleic acid*) dengan rumus molekul yang dapat dilihat pada Gambar II.6



Gambar II.6 Struktur Asam Risinoleat

Hasil penelitian terhadap 19 sampel minyak jarak yang berasal dari tanaman yang tumbuh di berbagai tempat di dunia, maka diperoleh komposisi campuran dari asam-asam lemak minyak jarak (*Ricinus communis L.*) yaitu asam risinoleat 91.4% sampai 94.9%, linoleat 4.5% sampai 5.0%, oleat dalam jumlah kecil dan asam-asam lemak jenuh tidak lebih dari 1%. Komposisi asam lemak minyak jarak dapat dilihat pada Tabel II.1 .

Minyak jarak dapat larut di dalam etil alkohol 95% pada suhu ruang, dapat larut pada pelarut organik polar dan sedikit larut di dalam golongan hidrokarbon alifatis (Wartawan, 1998., Kirk dan Othmer, 1964). Karakteristik kimia fisika minyak jarak jenis *Ricinus communis L* dapat dilihat pada Tabel II.3

Tabel II.1 Komposisi Asam Lemak Minyak Jarak (*Ricinus communis L.*)

Asam Lemak	Rumus Molekul	Jumlah	
		a)	b)
Risinoleat	$C_{18}H_{34}O_3$	89.5	89.0 – 89.4
Dihidroksistearat	$C_{18}H_{36}O_4$	0.7	1.3 – 1.4
Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	1.0	0.9 – 1.2
Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	1.0	0.7 – 1.2
Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	3.0	3.2 – 3.3
Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	4.2	3.4 – 3.7
Linolenat	$C_{18}H_{30}O_2$	0.3	0.2
Eiscosanoat	$C_{18}H_{40}O_2$	0.3	Tidak Disebut

Sumber : a) Kirk dan Othmer (1993)

b) Patterson

Minyak jarak memiliki ketahanan beban (ketahanan terhadap keausan) serta indeks viskositas yang lebih baik dibandingkan dengan *super refined mineral oil* (SRMO) yang merupakan bahan dasar pelumas, seperti dalam Tabel II.2 :

Tabel II.2 Karakteristik SRMO dan Minyak Jarak Sebagai Bahan Dasar Pelumas

Karakteristik Fisika Kimia	SRMO	Minyak Jarak
Bilangan iod	-	81
Viskositas pada 40°C, (mm ² /s)	72	252
Viskositas pada 100°C, (mm ² /s)	8.4	19.9
Indeks viskositas	83	90
<i>Wear scar diameter</i> (mm)	0.72	0.622

(Asadauskas , 1997)

Tabel II.3 Karakteristik Kimia Fisika Minyak Jarak (*Risinus communis L.*)

Karakteristik Minyak Jarak	Nilai
Viskositas 25°C (cSt = mm ² /s)	615 – 790
Bobot Jenis 15.5/15.5°C	0.957 – 0.967
Bilangan Asam	0.3 – 6.0
Bilangan Penyabunan	177 – 187
Bilangan tidak tersabunkan (%)	0.3 – 1.0
Bilangan Iod (Wijs)	80 – 90
Warna (<i>Appearance</i>)	Bening
Indeks Bias, 25°C	1.476 – 1.478
Kelarutan dalam Alkohol, 20°C	“no turbidity”
Bilangan Asetil	144 – 150
Titik Nyala (<i>Tag Close Cup</i>), °C	230
Titik Nyala (<i>Cleveland Open Cup</i>), °C	285
Suhu Pembakaran, °C	499
Titik Api, °C	322
Putaran Optik (polarimeter, 200 mm)	+7.5 – 9.0
Titik Tuang, °C	-23
Tegangan Permukaan Pada 20°C, dyne/cm	39.0

(Kirk dan Othmer, 1993)

2.2.1.3 Minyak Sintetis

Sumber lain dari pelumas adalah minyak sintetis. Secara tradisional, definisi sintetis adalah sebuah produk yang direaksikan secara kimia dari bahan dengan berat molekul rendah untuk menghasilkan cairan dengan berat molekul tinggi yang dirancang untuk memberikan sifat tertentu. Saat ini, ada dua jenis minyak dasar sintetis tersedia secara komersial, yaitu *polyalphaolefiens* (PAO) dan minyak dasar *hydrocracked*. Hingga pertengahan 1990, PAO adalah yang paling banyak digunakan untuk pelumas sintetis konvensional di AS dan Eropa. PAO dibuat dengan menggabungkan dua atau lebih molekul yang layak menjadi oligomer atau panjang rantai pendek polimer. Karena PAO adalah struktur hidrokarbon dan bebas dari lilin, memiliki titik tuang rendah, biasanya di bawah -40°C, indeks viskositas yang sangat tinggi dan stabilitas termal yang baik. Tetapi

karena terbatasnya ketersediaan bahan baku, produksi PAO terbatas pada aplikasi yang sangat spesifik (Techni-Tips,1998).

2.2.2 Bahan Pengental

Bahan pengental merupakan bahan yang ditambahkan untuk mengentalkan minyak lumas dasar menjadi gemuk lumas. Kandungan bahan pengental dalam gemuk lumas sebesar 10% sampai 20% umum digunakan untuk menghasilkan gemuk lumas dengan tingkat kekerasan di kelas NLGI 2. *Thickener* memberikan karakteristik kekakuan atau konsistensi terhadap gemuk lumas yang merupakan ukuran resistensi terhadap deformasi oleh gaya yang diberikan (Sukirno dkk, 2009).

Ada dua jenis bahan pengental yang digunakan dalam pembuatan gemuk lumas, yaitu pengental sabun (*soap thickener*) yang pengental bukan sabun (*non-soap thickener*).

2.2.2.1 Pengental Sabun (*Soap Thickener*)

Pengental yang paling banyak digunakan dalam formulasi gemuk adalah pengental sabun, yang berperan memberikan sifat semi padat kepada gemuk. Partikel sabun di dalam gemuk tidak berbentuk bulat atau butiran, melainkan merupakan struktur seperti jalinan benang sehingga memberikan tekstur berserat.

Pengental sabun dibuat melalui melalui proses penyabunan (saponifikasi) antara asam lemak atau lemak dengan alkali hidroksida. Pengental sabun tidak hanya memberikan efek terhadap konsistensi gemuk lumas, tetapi juga ketahanan terhadap air dan panas serta terhadap sifat pemompaan. Jumlah bahan pengental yang ditambahkan tidak mempengaruhi jumlah aditif yang ditambahkan untuk memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Akan tetapi, bahan pengental mempengaruhi proses saponifikasi, perubahan bentuk atau tekstur dan karakteristik gemuk lumas setelah digunakan secara mekanis pada temperatur tinggi, karena setiap jenis sabun memiliki karakteristik tersendiri. Reaksi antara asam lemak dengan alkali hidroksida tersebut disebut dengan proses saponifikasi. Proses saponifikasi ini dilakukan dengan mereaksikan satu jenis atau lebih lemak atau asam lemak tersebut di atas dengan logam hidroksida untuk menghasilkan sabun (Barriga, 2006).

Pada reaksi penyabunan, asam lemak yang digunakan dapat berasal dari lemak hewan seperti lemak babi, minyak ikan, atau dari lemak nabati seperti *olive*, *castor*, *soybean*, kacang dan lainnya. Alkali yang umum digunakan adalah hidroksida dari logam seperti aluminium, kalsium, litium dan sodium. Asam lemak rantai panjang, seperti stearat akan bereaksi dengan hidroksida logam, membentuk sabun. Sabun tersebut akan membentuk suatu gumpalan berserat yang akan memperangkap *base oil* sehingga terbentuk suatu material gemuk lumas. Konsentrasi sabun dapat divariasikan untuk menghasilkan kekerasan gemuk lumas yang dikehendaki. Kekentalan *base oil* juga dapat mempengaruhi kekerasan gemuk lumas. Oleh karena kualitas sabun juga ditentukan oleh jenis asam lemak yang digunakan, maka tidak semua sabun yang mengandung logam yang sama bersifat identik. Pemberian nama sabun berkaitan dengan metal yang dipakai (kalsium, litium, dll) pada saat pembuatan sabun (Barriga, 2006).

Sabun dihasilkan dari dua bahan, yaitu :

a) Litium Hidroksida (LiOH)

Litium hidroksida merupakan senyawa anorganik dengan rumus LiOH. Berbentuk kristal putih dan merupakan material yang higroskopis. LiOH dapat larut dalam air namun sedikit larut dalam etanol. Umumnya tersedia secara komersial dalam bentuk *Anhydrate* dan *Monohydrate*, keduanya merupakan basa kuat.

Litium hidroksida terutama digunakan untuk produksi gemuk litium. Gemuk litium yang sangat populer adalah litium stearat yaitu perpaduan litium hidroksida dengan asam lemak 12-Hidroksistearat. Tujuan umum gemuk lumas litium adalah karena resintensi yang tinggi terhadap air dan kegunaan pada kedua suhu tinggi dan rendah (Theo Mang dan Wilfried , 2007).

Litium hidroksida tidak dapat larut dalam minyak, dapat larut dalam air dengan bantuan suhu dan pengadukan. Informasi umum mengenai material LiOH beserta karakteristiknya dapat dilihat pada Tabel II.4.

Tabel II.4 Karakteristik Litium Hidroksida (LiOH)

Karakteristik Litium Hidroksida (LiOH) menurut Lide dan David R. :

Properti	
Rumus Molekul	LiOH
Massa molar	23,95 g/mol (<i>anhydrate</i>) 41,96 g/mol (<i>monohydrate</i>)
Penampilan	Higroskopis putih solid Tanpa bau
Titik lebur	426 °C
Titik didih	924 °C

(Lide, David R., ed., 2006)

Karakteristik Litium Hidroksida (LiOH) menurut Khosravi dan Javad :

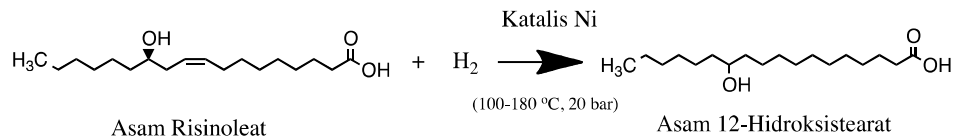
Properti	
Daya larut dalam methanol	<i>Anhydrate:</i> 9,76 g/100 g (20 °C, 48 jam pencampuran) <i>Monohydrate:</i> 13,69 g/100 g (20 °C, 48 jam pencampuran)
Kelarutan dalam etanol	<i>Anhydrate:</i> 2,36 g/100 g (20 °C, 48 jam pencampuran) <i>Monohydrate:</i> 2,18 g/100 g (20 °C, 48 jam pencampuran)
Daya larut dalam isopropanol	<i>Anhydrate:</i> 0 g/100 g (20 °C, 48 jam pencampuran) <i>Monohydrate:</i> 0,11 g/100 g (20 °C, 48 jam pencampuran)
Indeks bias (n D)	1,464 (<i>anhydrate</i>) 1,460 (<i>monohydrate</i>)

(Khosravi, Javad, 2007)

b) Asam 12-Hidroksistearat

Asam 12-hidroksistearat adalah senyawa turunan dari minyak jarak yang dimanfaatkan untuk bahan gemuk lumas. Asam 12-hidroksistearat merupakan asam lemak jenuh pada minyak jarak dengan karakteristik yaitu padatan berwarna putih, tidak beracun, tidak berbahaya, larut dalam sejumlah pelarut organik dan tidak larut dalam air. Asam 12-hidroksistearat merupakan komponen dasar untuk pembuatan pengental/*thickener* pelumas bersama litium hidroksida. Pemanfaatan asam 12-hidroksistearat sebagai *thickener* dapat meningkatkan performa gemuk lumas, memberikan tekstur yang lebih baik serta meningkatkan *dropping point* pada gemuk lumas.

Asam 12-hidroksistearat dapat dibuat dari asam risinoleat minyak jarak, dengan reaksi hidrogenasi dilakukan untuk memutus ikatan rangkap pada rantai karbonnya dan membuatnya jenuh. Reaksi hidrogenasi asam risinoleat menjadi asam 12-hidroksistearat dapat dilihat pada Gambar II.7 (Tri Purnami, 2013).



Gambar II.7 Mekanisme Reaksi Hidrogenasi Asam Risinoleat dengan Katalis Nikel

Asam 12-hidroksistearat pada minyak jarak memiliki ikatan jenuh yang menyebabkan asam berbentuk padatan ini tidak tengik sehingga asam dapat disimpan lebih lama. Ikatan jenuh pada asam 12-hidroksistearat menyebabkan gugus hidroksil pada asam lebih stabil sehingga tidak mudah teroksidasi oleh udara dan panas. Karakteristik fisika dan kimia asam 12-hidroksistearat ditunjukkan pada Tabel II.5.

Tabel II.5 Karakteristik Fisika-Kimia Asam 12-hidroksistearat

Rumus kimia	C ₁₈ H ₃₆ O ₃
Berat molekul	300 g/mol
Bentuk fisik	Padatan putih tulang
Titik lebur	72-84 °C
Kelarutan dalam air	Tidak larut
Bilangan asam	170 min
Bilangan hidroksil	155
Bilangan iod	4 max
Bilangan penyabunan	180 min
Colour	5 max

(Maskaev, 2004)

Prinsip kerja *thickener* dalam memerangkap *base oil* pada gemuk lumas digambarkan seperti *spons* yang bisa menyerap air di dalamnya. Ketika struktur *spons* memiliki rongga yang semakin kecil, maka ia semakin banyak menyerap air dan memerangkapnya dengan kuat. Deskripsi ini dapat membantu dalam pengembangan *thickener* yang lebih baik jika melihat dari *fiber structure thickener*. Tidak seperti tetesan yang

terdispersi dalam emulsi, partikel *thickener* tidak berbentuk *spherical*, melainkan berbentuk *fiber* (serat) (Booser, 1992., Lansdown, 2004).

Perbedaan pada bahan *thickener* menyebabkan perbedaan pada karakteristik gemuk lumas yang dihasilkan seperti terlihat pada Tabel II.6.

Tabel II.6 Jenis Pengental dan Karakteristiknya

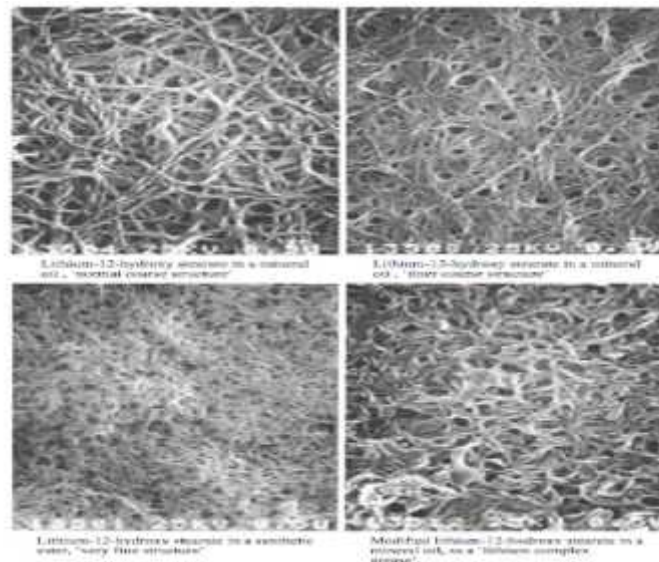
<i>Thickener</i>		<i>Penetration Worked</i>	<i>Oil Viscosity (Cst)</i>	<i>Dropping Point (°F)</i>
Jenis	Komposisi (%)			
<i>Aluminium Soap</i>	6 – 9	330 – 360	100 @ 210 °F	200
	10 – 12	265 – 295	275 @ 100 °F	195
<i>Barium Soap</i>	12 – 20	265 – 295	400 @ 100 °F	375
<i>Calcium Soap</i>	7 – 9	355 – 385	300 @ 100 °F	175
	10 – 12	310 – 340	300 @ 100 °F	180
	12 – 14	265 – 295	300 @ 100 °F	190
	14 – 16	220 – 250	300 @ 100 °F	195
	17 – 20	175 – 205	300 @ 100 °F	200
	21 – 25	130 – 160	300 @ 100 °F	205
	4 – 6	<i>Semi fluids</i>	65 @ 210 °F	285
	6 – 7	370 – 390	80 @ 210 °F	190
	8 – 9	340 – 370	120 @ 210 °F	200
9 – 11	265 – 295	500 @ 100 °F	280	
<i>Litium Soap</i>	5 – 7	355 – 385	300 @ 100 °F	340
	7 – 9	310 – 340	700 @ 100 °F	350
	9 – 11	265 – 295	700 @ 100 °F	360
<i>Sodium Soap</i>	9 – 11	310 – 340	300 @ 100 °F	320
	11 – 13	265 – 295	300 @ 100 °F	330
	14 – 18	220 – 250	300 @ 100 °F	340
<i>Sodium – Calcium Soap</i>	4 – 6	355 – 385	150 @ 210 °F	320
	7 – 9	310 – 340	150 @ 210 °F	330
	14 – 16	220 – 250	80 @ 210 °F	335
<i>Modified Bentonite</i>	8 – 10	310 – 340	400 @ 100 °F	*
<i>Fine Silica</i>	9 – 11	310 – 340	400 @ 100 °F	*

(Guthrie, 1960)

Gemuk sabun litium merupakan gemuk sabun sederhana yang banyak digunakan untuk aplikasi tujuan umum dimana suhu tidak melebihi 130°C (266°F). Gemuk dengan pengental litium hidrosistearat hasil formulasi litium bersama asam 12-hidrosistearat telah dianggap sebagai salah satu yang berkinerja baik pada suhu rendah, sedangkan sabun litium kompleks telah dianggap sebagai salah satu yang berkinerja baik pada suhu tinggi biasanya diformulasikan dengan sabun yang

kompleks. Dalam hal ini, lemak kompleks sering disebut sebagai lemak suhu tinggi karena peningkatan *dropping point* yang berasal dari sistem pengental dua bagian.

Untuk menghasilkan *fiber structure* yang lebih baik pada *thickener* sabun, cara yang lazim digunakan adalah dengan penambahan *complexing agent* sehingga dihasilkan sabun yang kompleks seperti terlihat pada Gambar II.8. Berdasarkan adanya teori sunflo bahwa struktur lemak dapat saja divisualisasikan sebagai jaringan tiga dimensi dari serat sabun, serat acak, serat berorientasi dan sebagian kristalin (Yousif, 1982., Sukirno dkk, 2009., Wiggins, 1997).



Gambar II.8 Struktur Serat Sabun Litium Hidroksistearat
(Mortier dkk, 2010)

2.2.2.2 Pengental Bukan Sabun (*Non-soap Thickener*)

Salah satu bahan pengental non sabun adalah poliurea. Merupakan polimer organik dengan berat molekul yang rendah dan dibuat dengan mereaksikan senyawa amin dengan iso-sianat, yang menghasilkan pengental kimia yang dapat larut dalam minyak. Lemak poliurea mempunyai ketahanan terhadap oksidasi yang sangat baik karena tidak mengandung sabun logam. Daya pelumasannya sangat baik untuk batasan temperatur yang lebar yaitu -20°C sampai 177°C dan mempunyai umur pakai yang panjang. Ketahanan terhadap air sangat baik. Dapat

digunakan pada material *seal elastomer* dan sangat sesuai untuk melumasi bantalan khususnya bantalan roda (Barriga, 2006).

Jenis pengental non sabun lainnya adalah *Organo clay*, umumnya digunakan sebagai pengental an-organik. *Clay* pada bentuk aslinya tidak larut dalam minyak, tetapi karena proses kimia yang kompleks dirubah menjadi *pellet* yang mampu menahan minyak. Struktur pengental *organo clay* berbentuk seperti kristal dan seperti gel tanpa serat. Gemuk lumas ini memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap panas karena *clay* tidak dapat meleleh. Temperatur operasi maksimum ditentukan oleh temperatur penguapan dari minyak mineral yaitu sekitar 177°C. Titik leleh dari gemuk jenis ini adalah sekitar 260°C. Namun pada umumnya gemuk lumas ini dibuat dari minyak lumas dasar berviskositas tinggi untuk mencapai stabilitas *thermal* yang tinggi sehingga memiliki unjuk kerja yang baik pada temperatur tinggi. *Organo clay* memiliki ketahanan terhadap air yang baik tetapi membutuhkan aditif anti oksidan dan *corrosion inhibitor*. Karakteristik pemompaan dan separasi minyak juga baik untuk gemuk jenis ini (Barriga, 2006). Jenis pengental gemuk lumas yang bukan sabun lainnya adalah silika gel, biasanya digunakan untuk pemakaian pada suhu tinggi (Barriga, 2006).

2.2.3 Bahan Tambahan (*Additive*)

Selain tersusun oleh minyak lumas dasar (*base oil*), didalam gemuk lumas juga terdapat senyawa-senyawa yang sengaja ditambahkan untuk meningkatkan mutu atau kinerja gemuk lumas, yang disebut sebagai bahan aditif. Aditif yang ditambahkan ke dalam gemuk lumas mempunyai bermacam-macam fungsi, yang pada dasarnya untuk memperbaiki karakteristik sifat kimia fisika yang dimiliki gemuk lumas secara alamiah, ataupun menambahkan karakteristik sifat kimia fisika yang baru, sehingga gemuk lumas yang dihasilkan dapat menjalankan fungsinya sebagai pelumas pada mesin sesuai dengan spesifikasinya. Untuk dapat menghasilkan kinerja pelumasan yang optimal, aditif dalam gemuk lumas harus memiliki beberapa sifat umum (Wartawan, 1998), yaitu:

- a. Kelarutan, mudah larut didalam minyak lumas dasar.

- b. Stabil dalam waktu yang lama. Bahan aditif harus mempunyai kestabilan yang tinggi terhadap perubahan temperatur serta tahan terhadap hidrolisis, sehingga tidak terjadi dekomposisi pada saat penyimpanan.
- c. Dapat bercampur dengan bahan aditif lain.
- d. Sifat penguapannya rendah, sehingga saat pencampuran pada suhu tinggi, tidak akan mengalami penguapan. Bila terjadi penguapan maka akan mengakibatkan penurunan konsentrasi dan efektivitas aditif tersebut.
- e. Aktivitas aditif harus terkendali. Aditif yang digunakan harus bekerja secara efektif dan terkendali pada jangkauan suhu operasi mesin yang dilumasi dan dilindungi.
- f. Aditif harus memiliki sifat multiguna sehingga dapat mengurangi jumlah pemakaian beraneka ragam aditif.

Beberapa aditif yang biasa digunakan dalam pembuatan gemuk lumas, antara lain (Wartawan, 1998):

2.2.3.1 Aditif Antioksidan

Tujuan utama penambahan aditif antioksidan adalah mencegah terjadinya dekomposisi karena oksidasi. Antioksidan atau disebut juga penghindar oksidasi, adalah aditif yang biasa digunakan untuk memenuhi persyaratan menjadi gemuk lumas tertentu. Tujuan penggunaan aditif penghindar oksidasi ini adalah melindungi gemuk lumas selama penyimpanan, dan tertentu selama penggunaan. Dalam penggunaannya, gemuk lumas sering kontak langsung dengan udara, logam dan bahan kimia lain yang bersifat katalisator, sehingga pada temperatur tinggi memungkinkan akan terjadinya oksidasi. Hasil oksidasi yang akan terbentuk adalah peroksida-peroksida, yang akan bereaksi dengan logam mengakibatkan terjadinya korosi dan keausan pada mesin.

Hampir semua gemuk lumas multiguna (*multipurpose grease*) dan gemuk yang dirancang khusus bekerja pada suhu tinggi mengandung aditif penghindar oksidasi untuk memperpanjang usia penggunaannya dan memperpanjang interval waktu pemberian gemuk lumas. Jenis-jenis aditif antioksidan diantaranya, logam dialkali ditiopospat, amin aromatik dan alkil fenol.

Antioksidan ini bekerja dengan mekanisme melepaskan hidrogen sehingga pembentukan radikal bebas dapat dicegah, karena oksigen bereaksi dengan hidrogen dari antioksidan. Selain mencegah terbentuknya radikal bebas, hidrogen dari antioksidan akan berikatan dengan radikal bebas yang sudah ada di dalam minyak. Selanjutnya antioksidan ini melepaskan elektron untuk mengimbangi kelebihan muatan.

2.2.3.2 Aditif *Metal Deactivator*

Aditif ini ditambahkan untuk melawan aktivitas katalitik tembaga dan logam lainnya yang dapat mempercepat terjadi oksidasi, ditambahkan *metal deactivator*. Jenis aditif *metal deactivator* adalah senyawa organik kompleks yang mengandung nitrogen atau sulfur, amina, sulfida dan fosfit. Senyawa tersebut membentuk lapisan tipis pada permukaan logam dengan cara membentuk senyawa kompleks dengan ion logam.

Deaktifator logam memiliki fungsi sebagai antioksidan, namun mekanisme kerjanya berbeda. Seperti telah diketahui bahwa reaksi oksidasi dipercepat oleh logam seperti tembaga, besi, dll, yang bertindak sebagai katalisator. Deaktifator logam bekerja dengan cara membuat logam hasil keausan yang bersifat prooksidan tersebut menjadi tidak aktif. Contoh deaktifator logam adalah senyawa heterosiklik sulfur-nitrogen (Raab dan Sibtain, 2003).

2.2.3.3 Aditif Anti Karat dan Anti Korosi

Aditif *corrosion inhibitor* pada permukaan logam, membentuk lapisan pelindung. Lapisan pelindung ini harus dapat melekat dengan kuat pada permukaan logam, jika tidak melekat dengan baik maka deterjen atau dispersan akan melepaskannya dengan mudah dan membiarkan permukaan logam dimakan korosi. *Disodium sebacate* adalah senyawa polar, diharapkan dapat melekat dengan kuat pada permukaan logam yang dilindunginya, sehingga terhindar dari korosi.

Mekanisme kerja aditif *corrosion inhibitor* adalah bereaksinya aditif dengan logam membentuk lapisan yang melekat kuat pada permukaan logam tersebut, untuk melawan korosi. Inhibitor korosi yang paling efektif untuk gemuk berbasis sabun adalah eksek logam hidroksida (Konzman, 2000).

2.2.3.4 Aditif Anti Tekanan Ekstrim

Aditif anti tekanan ekstrim (TE) adalah aditif yang dapat memberi tambahan perlindungan terhadap beban kejut pada gemuk lumas, menurunkan gesekan dan keausan, mencegah goresan pada permukaan logam.

Penambahan aditif ini dimaksudkan untuk menghindari timbulnya kerusakan atau keausan akibat kontak antar logam, pada permukaan logam yang saling bergerak relatif. Selain itu, penambahan aditif ini dapat meningkatkan kemampuan mengangkat beban dan memberi tambahan perlindungan dibawah beban kejut pada gemuk lumas.

Aditif TE dapat bekerja karena terjadinya reaksi dengan permukaan logam membentuk lapisan selaput garam logam atau sabun yang dapat melekat kuat pada permukaan logam tersebut. Lapisan yang terbentuk tersebut bersifat sebagai peredam (*shock absorber*), sehingga pada saat terjadi kontak antar logam, maka proses keausan dapat dihindari (Raab dan Sibtain, 2003).

2.2.3.5 Aditif Anti Jamur dan Bakteri

Bahan dasar gemuk lumas yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yaitu minyak jarak, sangat berpotensi menjadi berbau tengik. Hal ini dapat juga ditandai dengan adanya jamur dan bakteri pada *grease* tersebut. Oleh karena sebab itu ditambahkan aditif anti jamur dan bakteri di dalam produk *grease* tersebut. Aditif anti jamur ini diharapkan akan mencegah tumbuhnya jamur dan mencegah bau tengik pada produk *grease*.

2.2.4 Bahan Pengisi (Filler)

Bahan yang umum digunakan sebagai bahan pengisi adalah grafit, molybdenum disulfida, oksida logam dan karbon hitam. Penggunaan bahan pengisi (*filler*) pada gemuk lumas tidak selamanya dilakukan, walaupun demikian bahan pengisi yang tepat dapat meningkatkan kinerja gemuk lumas dalam berbagai macam kondisi (Wartawan, 1998., Paul dan David, 1999).

1. Grafit, membantu meminimalkan terjadinya kontak antar logam sehingga mencegah terjadinya keausan.

2. Molybdenum disulfida atau disingkat dengan moly pada konsentrasi lebih dari 3% memberikan perlindungan dengan cara mempertahankan selaput di saat gemuk lumas sulit dijaga.
3. Zinc dan magnesium oksida telah digunakan dalam proses industri makanan. Warnanya yang lembut dan kemampuannya menetralkan asam adalah keistimewaan utamanya. Untuk mendapatkan kinerja yang terbaik, oksida ini harus dilarutkan dalam gemuk dengan pelindung.
4. *Carbon black* memiliki sifat penebalan pada gemuk yang digunakan.

2.2.5 Zat Warna dan Parfum

Kebanyakan zat warna yang dipakai oleh gemuk lumas adalah hijau, jingga, merah dan kuning yang larut dalam *base oil*. Contoh zat warna yang dapat digunakan dalam pembuatan gemuk lumas adalah *oil soluble anilin colour*. Gemuk lumas juga memakai bermacam-macam parfum maupun campurannya.

2.2.6 Complexing Agent

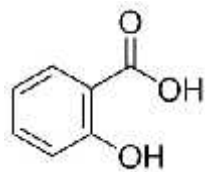
Asam lemak yang lebih pendek direaksikan kembali dengan logam alkali disebut *complexing agent*. Dengan kombinasi beberapa asam lemak tersebut maka struktur sabun menjadi lebih kompleks sehingga bisa menghasilkan gemuk dengan tingkat suhu operasi yang lebih tinggi. Semakin panjang rantai asam lemak pada sabun akan meningkatkan konsistensi (kekerasan) gemuk yang berpengaruh pada sifat gemuk lainnya (Gow, 2010).

Penambahan *complexing agent* pada sabun litium juga mampu mengubah *fiber structure thickener* yang berimbas pada karakteristik gemuk. Semakin panjang dan rapat struktur serabut yang diperoleh, maka kemampuan untuk bereaksi dan pembentukan ulang dengan struktur serabut yang berdekatan menjadi lebih reaktif. Imbas dari hal tersebut adalah peningkatan nilai konsistensi dan *dropping point* yang didapat akan semakin tinggi karena perlu energi yang lebih besar untuk bisa menguraikan struktur serabut.

Asam dari monokarboksilat, ester *Amide* atau turunan asam karboksilat dapat digunakan sebagai *complexing agent* salah satunya adalah asam salisilat. Asam Salisilat (*salicylic acid*) adalah suatu senyawa kimia dengan rumus $C_6H_4(OH)COOH$. Produk ini merupakan bahan kimia berbentuk kristal berwarna

merah muda terang hingga kecoklatan yang memiliki berat molekul sebesar 138,123 g/mol dengan titik leleh sebesar 156°C dan densitas pada suhu ruangan sebesar 1,443 g/mL. Mudah larut dalam air dingin tetapi dapat melarutkan dalam keadaan panas. Asam salisilat dapat menyublim tetapi dapat terdekomposisi dengan mudah menjadi karbon dioksida dan phenol bila dipanaskan secara cepat pada suhu sekitar 200°C.

Asam salisilat memiliki struktur bangun sebagai berikut :



2.3 Jenis Gemuk Lumas

Dilihat dari bahan dasar sabun yang dipergunakan, secara umum gemuk lumas dapat digolongkan dalam jenis-jenis sebagai berikut (Wartawan, 1998., Caines dan Haycock, 1996) :

2.3.1 Gemuk Sabun Litium

Gemuk sabun litium dibuat menggunakan sabun litium dengan reaksi saponifikasi litium hidroksida dan asam 12-hidroksistearat, pada suhu 160°C sampai 250°C, tergantung pada minyak dasar dan jenis reaktor yang digunakan (Mortier dkk, 2010).

Gemuk ini diproduksi dan dikembangkan pada masa Perang Dunia II. Awalnya, jenis gemuk ini harganya masih sangat mahal. Kini gemuk sabun litium ini telah dipergunakan secara luas, bukan saja pada mesin pesawat, melainkan sudah merambah ke mesin industri ataupun otomotif, harganya pun sudah tidak lagi mahal. Gemuk sabun litium ini mempunyai sifat lembut, ketahanan terhadap air, stabilitas terhadap gesekan, respon terhadap aditif bagus, ketahanan kinerja yang baik pada suhu yang tinggi, stabilitas oksidasi bagus. Oleh karena itu gemuk litium paling populer dan aplikasinya luas, dimulai dari gemuk litium EP berbasis pelumas mineral berviskositas tinggi ($200-1000 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$ pada 40°C) untuk aplikasi beban berat, sedangkan yang berviskositas sedang ($60-120 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$ pada 40°C) untuk aplikasi bantalan peluru. Gemuk litium adalah gemuk sabun tunggal paling

besar, disusul gemuk kalsium, natrium dan alumunium (Theo Mang dan Wilfried, 2007., Lansdown, 2004).

2.3.2 Gemuk Sabun Kalsium

Gemuk sabun kalsium atau gemuk *lime* merupakan gemuk lumas pertama yang diproduksi secara besar-besaran. Gemuk sabun kalsium dalam melayani operasi mesin, umumnya memiliki titik lebur sekitar 80°C sampai 90°C. Sampai saat ini produksi gemuk lumas sabun kalsium berjumlah kurang lebih separuh dari semua gemuk lumas yang diproduksi. Menurut sejarahnya, sudah lebih lima puluh tahun jenis gemuk lumas ini digunakan orang untuk melumasi bantalan dengan memberikan penurunan gesekan pada mesin industri dan otomotif. Jenis gemuk lumas ini memiliki beberapa keuntungan, yaitu dapat dimodifikasi, jika perlu dengan menambahkan aditif seperti aditif tekanan ekstrim, harganya tidak mahal dan tahan terhadap air atau kedap air. Gemuk lumas jenis ini bentuk sabunya memiliki serat yang sangat kecil dibandingkan dengan serat sabun gemuk lumas lainnya, sehingga jenis gemuk lumas ini mempunyai sifat halus dan lembut. Sifat yang halus memberi pengaruh kepada gemuk yang dapat membantu dalam menghidupkan mesin dengan putaran lambat. Selain itu, dengan sifat ini gemuk lumas lebih mudah didistribusikan dalam sirkuit gemuk lumas yang ada pada mesin.

2.3.3 Gemuk Sabun Natrium

Sabun natrium yang dibuat dari asam 12-hidroksistearat memiliki *dropping point* 165°C sampai 175°C, dan suhu operasi maksimalnya sekitar 120°C. Sabun ini memiliki struktur fibril panjang mencapai 0,2×100 m dan menjadikannya memiliki kapasitas menahan beban tinggi pada roda gigi. Gemuk ini juga mampu memberikan perlindungan sangat baik terhadap korosi. Namun memiliki kelemahan, yaitu relatif mudah larut dalam air membentuk gel yang menyebabkan viskositasnya naik dan akhirnya merusak struktur gemuk. Gemuk natrium ini memiliki keunggulan lebih lengket. Sabun ini sedikit diminati dan hanya direkomendasikan untuk aplikasi tertentu, yaitu untuk motor listrik. Sifat gemuk sabun natrium yang mengabsorpsi air dan membentuk emulsi minyak di

dalam air ini, menjadikan daya proteksinya menjadi terbatas (Wartawan, 1998., Theo Mang dan Wilfried, 2007., Lansdown, 2004).

2.4 Pembuatan Gemuk Lumas

Hal yang paling penting pada pembuatan gemuk lumas adalah memilih dengan tepat minyak dasar dan sabun yang akan disenyawakan. Sabun yang digunakan umumnya diperoleh dari lemak hewan atau tumbuh-tumbuhan yang bercampur dengan logam alkali. Unsur logam alkali yang sering dijumpai dalam ikatan sabun biasanya adalah kalsium dan natrium. Kedua logam ini biasanya disebut *lime* untuk kalsium dan soda untuk natrium dalam penyabunan. Disamping itu, kerap juga dijumpai sabun dengan logam litium yang digunakan untuk membuat gemuk.

Menurut Wartawan, 1998., Caines dan Haycock, 1996., Pakan, 1991 metode yang digunakan dalam membuat gemuk, secara umum dapat dibagi dalam dua bagian besar, yaitu :

2.4.1 Gemuk Didih atau Gemuk *Boiled*

Metode gemuk didih ini dilakukan dengan mencampurkan secara kimia dalam jumlah yang tepat bahan lemak dan logam alkali yang kemudian membentuk sabun, kemudian ditambahkan minyak lumas yang jumlahnya kira-kira sama dengan jumlah sabun. Campuran tersebut dapat ditempatkan dalam bejana tertutup dengan memberi tekanan pada campuran. Tekanan yang diberikan akan mempercepat pembuatan gemuk lumas. Selanjutnya, bejana yang berisi campuran tersebut dipanaskan hingga terbentuk sabun di dalam minyak, kemudian dialirkan ke dalam bejana terbuka lainnya. Minyak lumas seluruhnya dicampurkan ke dalam bejana yang terbuka dan kemudian diaduk-aduk tanpa henti sampai dingin sehingga diperoleh gemuk yang diinginkan. Pada pembuatan gemuk dengan bahan dasar sabun aluminium atau litium, yang mula-mula dilakukan adalah membuat sabun terlebih dahulu, setelah itu baru ditambahkan minyak lumas dasar. Campuran tersebut kemudian dipanasi hingga sabun menjadi larut dan mendispersi seluruhnya ke dalam minyak.

2.4.2 Gemuk *Cold-Sett*

Gemuk *cold-sett* dibuat melalui proses dengan suhu yang tidak terlalu tinggi. Sebagian besar gemuk *cold-sett* dibuat dari minyak nabati dan sabun yang berasal dari *lime* atau kalsium dan minyak yang digunakan sebagian merupakan minyak yang berasal dari pohon pinus. Caranya adalah sebagian dari minyak lumas dasar yang digunakan dicampur dengan minyak pinus atau minyak nabati lainnya dan sebagian lagi dicampurkan secara terpisah dengan *lime* dan air. Kedua campuran itu disatukan pada suhu yang cukup hangat, kemudian secara perlahan-lahan terbentuk sabun kalsium (sabun *lime*) di dalam minyak. Selanjutnya, dilakukan pengadukan hingga campuran menjadi dingin dan akhirnya terbentuk gemuk yang dimaksud. Pembuatan gemuk ini cukup sederhana dan murah.

Proses yang terjadi dalam pembuatan gemuk lumas baik secara gemuk didih atau gemuk *boiled* maupun gemuk *cold-sett* secara umum adalah :

1. Saponifikasi/penyabunan
2. Dispersi
3. Dehidrasi
4. Pemanasan (*heating*)
5. Pendinginan (*cooling*)

2.5 Spesifikasi Produk Gemuk Lumas Kendaraan Bermotor

Standar dan mutu gemuk lumas kendaraan bermotor yang dipasarkan di Indonesia diatur berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor : 2808 K/20/MEM/2006 (Keputusan Menteri ESDM, 2006). Gemuk lumas kendaraan bermotor diklasifikasikan menjadi dua kode berdasarkan penggunaannya, yaitu :

2.5.1 Gemuk Lumas Kendaraan Bermotor Kode L (LA, LB)

Gemuk lumas kendaraan bermotor kode LA dan kode LB digunakan untuk melumasi kendaraan bermotor khusus bagian *chassis* kendaraan bermotor, perbedaan karakteristik gemuk lumas kode LA dengan kode LB dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel II.7 Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas *Chassis*
Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI LA**

No.	Karakteristik	Satuan	Spesifikasi	Metode Uji
1	Penetrasi, <i>Worked</i> , 25°C		220 - 340	ASTM D217
2	NLGI grade ^{*)}		3 - 1	NLGI
3	<i>Dropping Point</i>	°C	Min. 80	ASTM D566
4	Warna		Sesuai spes. produsen	Visual
5	Kandungan logam dan unsur lain dari pengental	% berat	Sesuai spes. produsen	ASTM D 4628

^{*)} Dapat dilihat pada tabel 3.2

**Tabel II.8 Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas *Chassis*
Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI LB**

No.	Karakteristik	Satuan	Spesifikasi	Metode Uji
1	Penetrasi, <i>Worked</i> , 25°C		220 - 340	ASTM D217
2	NLGI grade ^{*)}		3 - 1	NLGI
3	<i>Dropping Point</i>	°C	Min. 150	ASTM D566
4	Warna		Sesuai spes. produsen	Visual
5	Kandungan logam dan unsur lain dari pengental	% berat	Sesuai spes. produsen	ASTM D4628

^{*)} Dapat dilihat pada tabel 3.2

2.5.2 Gemuk Lumas Kendaraan Bermotor Kode G (GA,GB,GC)

Gemuk lumas kendaraan bermotor kode GA, GB dan kode GC digunakan untuk melumasi kendaraan bermotor bagian bantalan kendaraan bermotor. Perbedaan karakteristik gemuk lumas kode GA, GB kode GC yaitu :

**Tabel II.9 Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas Bantalan
Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI GA**

No.	Karakteristik	Satuan	Spesifikasi	Metode Uji
1	Penetrasi, <i>Worked</i> , 25°C		220 - 340	ASTM D217
2	NLGI grade ^{*)}		3 - 1	NLGI
3	<i>Dropping Point</i>	°C	Min. 80	ASTM D566
4	Warna		Sesuai spes. produsen	Visual
5	Kandungan logam dan unsur lain dari pengental	% berat	Sesuai spes. produsen	ASTM D4628

^{*)} Dapat dilihat pada tabel 3.2

**Tabel II.10 Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas Bantalan
Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI GB**

No.	Karakteristik	Satuan	Spesifikasi	Metode Uji
1	Penetrasi, <i>Worked</i> , 25°C		220 - 340	ASTM D217
2	NLGI grade ^{*)}		3 - 1	NLGI
3	<i>Dropping Point</i>	°C	Min. 175	ASTM D566
4	Warna		Sesuai spes. produsen	Visual
5	Kandungan logam dan unsur lain dari pengental	% berat	Sesuai spes. produsen	ASTM D 4628

^{*)} Dapat dilihat pada tabel 3.2

**Tabel II.11 Spesifikasi Karakteristik Fisika Kimia Gemuk Lumas
Bantalan Kendaraan Bermotor Tingkat Mutu Unjuk Kerja NLGI GC**

No.	Karakteristik	Satuan	Spesifikasi	Metode Uji
1	Penetrasi, <i>Worked</i> , 25°C		220 - 340	ASTM D217
2	NLGI grade ^{*)}		3 - 1	NLGI
3	<i>Dropping Point</i>	°C	Min. 220	ASTM D566
4	Warna		Sesuai spes. produsen	Visual
5	Kandungan logam dan unsur lain dari pengental	% berat	Sesuai spes. produsen	ASTM D 4628

^{*)} Dapat dilihat pada tabel 3.2

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kelompok Pelumas, KPPP Teknologi Aplikasi Produk, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS, Cipulir, Jakarta Selatan. Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan pada bulan 20 Maret 2016 – 20 Mei 2016.

3.2 Diagram Alir Penelitian

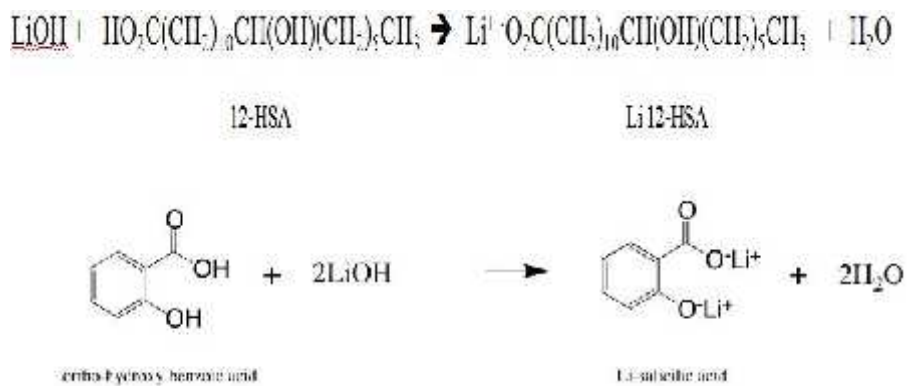
Diagram alir yang digunakan untuk penelitian ini ditunjukkan pada Gambar III.1.



Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Pembuatan Gemuk Lumas Litium Kompleks dengan Penambahan Asam Salisilat

Reaksi penyabunan dari litium hidroksida, asam 12-hidroksistearat dan salisilat dengan reaksi sebagai berikut:



Gambar III.2 Reaksi Penyabunan dari Litium Hidroksida, Asam 12-Hidroksistearat dan Asam Salisilat

Pada percobaan ini dilakukan variasi komposisi Li-Salisilat yang digunakan dalam proses pembuatan gemuk lumas Li-Kompleks-Salisilat. Komposisi yang digunakan dalam pembuatan gemuk lumas terdiri dari bahan-bahan pembentuk yang sama, namun dengan jumlah pembentuk sabun yang berbeda. Hal ini dimaksudkan agar penyebab terjadinya perbedaan hasil uji dapat diketahui dengan mudah, sehingga pengaruh *complexing agent* asam salisilat pada gemuk lumas dapat dipelajari. Komposisi bahan-bahan gemuk lumas dapat dilihat pada Tabel III.1.

Tabel III.1 Komposisi Gemuk Lumas Li-Salisilat dengan 15.2% *Thickener*

Kode Sampel	15.2 % <i>Thickener</i>		Minyak Jarak (%)
	Li-Salisilat (%)	Li-12 HSA (%)	
Li-Sal 1	0	100	84.8
Li-Sal 2	6	94	84.8
Li-Sal 3	11	89	84.8
Li-Sal 4	16	84	84.8
Li-Sal 5	23	77	84.8

3.4 Variabel

Dua jenis variabel dalam penelitian gemuk litium kompleks diantaranya :

3.4.2. Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang tidak berubah selama penelitian berlangsung. Variabel tetap yang digunakan selama penelitian ini yaitu komposisi massa minyak jarak sebesar 84.8%.

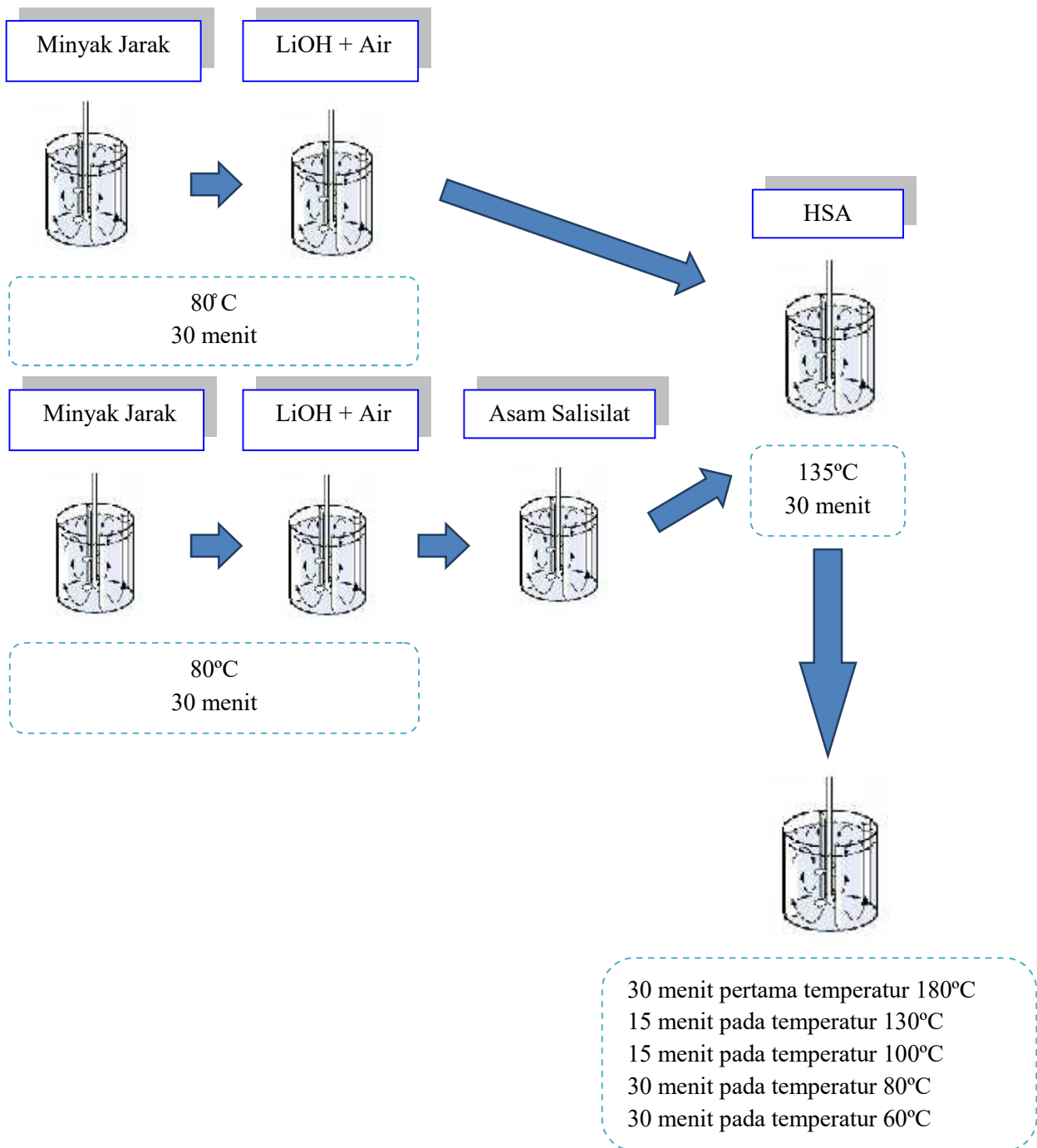
3.4.2. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang divariasikan selama penelitian berlangsung. Bertujuan untuk mencari titik optimasi atau titik yang terbaik pada setiap penelitian. Variabel bebas yang digunakan yaitu :

1. Komposisi Li-Sal sebesar (0, 6, 11, 16, dan 23 %)
2. Komposisi Li-12 HSA sebesar (100, 94, 89, 84, dan 77%)

3.5 Prosedur Pembuatan Gemuk Litium Kompleks

Pada penelitian ini, prosedur pembuatan gemuk lumas litium kompleks diperlihatkan pada Gambar III.3. Prosedur pembuatan gemuk lumas litium kompleks ini dilakukan dengan penambahan asam salisilat pada temperatur di atas temperatur titik leleh bahan baku yang digunakan.



Gambar III.3 Prosedur Pembuatan Gemuk Lumas Litium Kompleks dengan Penambahan Asam Salisilat

Prosedur ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

- 1) Pemanasan 12-HSA pada temperatur 135°C hingga mencair sempurna.
- 2) Pemanasan LiOH yang telah dicampurkan air sebanyak lima kali lipat berat LiOH pada temperatur 80°C
- 3) Pemanasan awal minyak jarak pada temperatur 80°C sebelum proses *blending* untuk mencegah rentang temperatur yang cukup ekstrim.
- 4) Pembuatan sabun litium dilakukan pada temperatur 180°C selama 30 menit dimulai dengan pencampuran setengah bagian minyak jarak dengan setengah bagian LiOH + air kemudian dituang ke 12-HSA yang telah mencair sempurna
- 5) Pembuatan campuran setengah bagian minyak jarak, setengah bagian LiOH + air, dan asam salisilat. Setelah itu tambahkan sabun litium pada temperatur 130°C selama 15 menit kemudian temperatur diturunkan menjadi 100°C selama 15 menit
- 6) *Blending* gemuk lumas dilakukan selama 60 menit sampai homogen dengan temperatur *blending* pada temperatur 80°C dan setelah 30 menit temperatur diturunkan sebesar 20°C.

3.6 Karakterisasi Gemuk Lumas Litium Kompleks

Karakterisasi hasil pembuatan gemuk lumas litium kompleks, dilakukan dengan pengujian karakteristik gemuk lumas tersebut melalui uji laboratorium dengan beberapa parameter uji, yaitu:

3.6.1 *Dropping Point* ASTM D 566

Dropping point atau titik jatuh adalah temperatur dimana gemuk lumas mulai mencair dan terlepas ikatannya antara minyak dengan *thickener*-nya. Untuk parameter *dropping point*, target hasil yang diharapkan adalah $\geq 183^{\circ}\text{C}$, *Dropping point* tidak menunjukkan batasan maksimum temperatur kerja gemuk lumas, dimana pada umumnya temperatur kerja gemuk lumas jauh lebih tinggi dari *Dropping Point*-nya. Analisa *dropping point* dilakukan sesuai metode ASTM D 566, menggunakan alat seperti terlihat dalam Gambar III.4.

Prosedur pengujian *dropping point* yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Gemuk dimasukkan ke dalam *cup* lalu dipadatkan dengan menggunakan batang pematik.
2. *Cup* dimasukkan ke dalam *test tube*.
3. Termometer dimasukkan ke dalam *cup* tanpa menyentuh gemuk yang akan diuji.
4. Perangkat tersebut kemudian dimasukkan ke dalam aluminium *block oven* yang sudah dimasukkan termometer pada bagian *waterbath*.
5. Setelah semua perangkat terpasang, panaskan *heater* hingga temperaturnya naik secara perlahan hingga terjadi tetesan gemuk.
6. Dilakukan pengambilan nilai temperatur yang ditunjukkan kedua termometer ketika terjadi tetesan gemuk pertama. Kemudian kedua nilai tersebut dijumlahkan dan dirata-ratakan.



Gambar III.4 Alat Uji *Dropping Point*

(Lemigas, 2016)

3.6.2 Konsistensi menggunakan *Cone Penetration* ASTM D 217

Pengukuran menggunakan *cone penetration* dilakukan untuk menunjukkan tingkat kekerasan atau *consistency* gemuk lumas, dengan menggunakan *one quarter scale cone equipment*, seperti terlihat dalam Gambar III.5. Seperti halnya tingkat kekentalan untuk minyak lumas, untuk gemuk lumas dinyatakan dalam kekerasan atau *consistency*, pengelompokannya ditentukan oleh *National Lubricating Grease Institute* (NLGI).

NLGI adalah tingkat kekerasan gemuk lumas setelah *worked penetration* pada suhu $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ seperti terlihat pada Tabel III.1, kekerasan gemuk lumas

dibagi menjadi 9 tingkat kekerasan, dari tingkat kekerasan 000 sampai tingkat kekerasan 6 berdasarkan ASTM D217 atau D1403, dimana makin besar angka NLGI, maka makin keras gemuk lumas tersebut. Target NLGI pada penelitian ini adalah NLGI 1-3.

Langkah pengujian penetrasi adalah sebagai berikut :

1. Wadah penguji, *cup sample* dan *cone penetration* dibersihkan dengan menggunakan *wash benzene*.
2. Gemuk dimasukkan ke dalam *cup* sampai terisi penuh.
3. Atur posisi *cone penetration* diatas permukaan gemuk, lalu dibiarkan berpenetrasi ke dalam gemuk selama 5 detik
4. Kedalaman *cone penetration* yang masuk ke dalam gemuk menunjukkan nilai konsistensi gemuk.

Tabel III.2 Tingkat Kekerasan Gemuk Lumas

NLGI	Batasan Penetrasi Worked 25°C (0,1 mm)
000	445 – 475
00	400 – 430
0	335 – 385
1	310 – 340
2	265 – 295
3	220 – 250
4	175 – 205
5	130 – 160
6	85 – 115



Gambar III.5 Alat Uji Penetrometer

(Lemigas, 2016)

3.6.3 *Water Washout* ASTM D1264

Water washout adalah kemampuan gemuk bertahan terhadap efek keberadaan air tanpa mengalami perubahan kemampuan dalam pelumasan. Jika komponen gemuk lumas dapat larut atau berinteraksi dengan air, maka akan terjadi perubahan struktur gemuk lumas (konsistensi gemuk lumas) yang menyebabkan perurunan fungsi pelumasan.

Pengujian *Water Washout* ASTM D1264 seperti pada Gambar III.6 meliputi evaluasi ketahanan suatu gemuk pelumas untuk *washout* oleh air pada bantalan, ketika diuji pada temperatur 38°C dan 79°C (100°F dan 175°F) dibawah kondisi laboratorium yang ditentukan.

Pada gemuk lumas yang mempunyai *highly volatile oils* akan terdapat berat yang hilang (*weight loss*) yang terjadi akibat adanya penguapan ketika pengeringan.

Beberapa gemuk lumas mengandung komponen yang mengakibatkan kesulitan pengeringan sempurna pada temperatur 77°C ± 6°C. Pada kasus ini, temperatur pengeringan dapat ditingkatkan ke 93°C ± 3°C.

Langkah pengujian *water washout* adalah sebagai berikut:

1. Cawan petri, *ball bearing*, dan *housing* ditimbang untuk mengetahui berat total spesimen.
2. Gemuk lumas diaplikasikan pada *ball bearing* sebanyak 4.00 ± 0.05 gram.

3. Aquadest ditambahkan ke dalam *reservoir* sesuai dengan batas yang telah ditentukan
4. *Ball bearing* dan *housing* dipasang pada alat uji.
5. Temperatur diatur hingga 38°C atau 79°C (sesuai kebutuhan pengujian).
6. Tanpa menghidupkan motor penggerak *bearing*, pompa dihidupkan untuk sirkulasi air dengan kecepatan alir air 18 L/jam. Semprotan air dibelokkan dengan penahan yang terdapat pada *cover* penutup.
7. Ketika temperatur sudah mencapai 38°C atau 79°C, motor penggerak *bearing* dihidupkan dengan kecepatan putaran 600 rpm selama 60 menit.
8. Sekat penahan diputar 90° supaya semprotan air mengenai pelat penutup *bearing*.
9. Setelah 60 menit, putaran motor dan pemanasan akan berhenti. *Reservoir* akan mendingin setelah ditunggu ± 1 jam.
10. *Cover* penutup dibuka lalu rakitan spesimen dan sekat penahan dilepas, kemudian letakkan kedalam cawan petri.
11. Setelah selesai, alat uji dimatikan dan aquadest dibuang dengan cara *valve* yang ada di sebelah kanan alat dibuka dan ditampung menggunakan *beaker glass*.
12. n-hexane disemprotkan ke dalam alat uji untuk menghilangkan gemuk lumas yang menempel, kemudian aseton disemprotkan untuk mengeringkan alat uji.
13. Spesimen dikeringkan dalam oven selama ± 15 jam pada temperatur 77°C.
14. Setelah di oven selama 15 jam, spesimen didiamkan ± 1 jam hingga mencapai suhu ruangan.
15. Spesimen ditimbang untuk mengetahui jumlah gemuk lumas yang hilang (*grease losses*).
16. Rata-rata hasil pengujian serta temperatur pada saat spesimen dirakit dan temperatur pengeringan dilaporkan untuk menunjukkan persentase gemuk lumas yang hilang pada temperatur uji.



Gambar III.6 Alat Uji *Water Washout*
(Lemigas, 2016)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

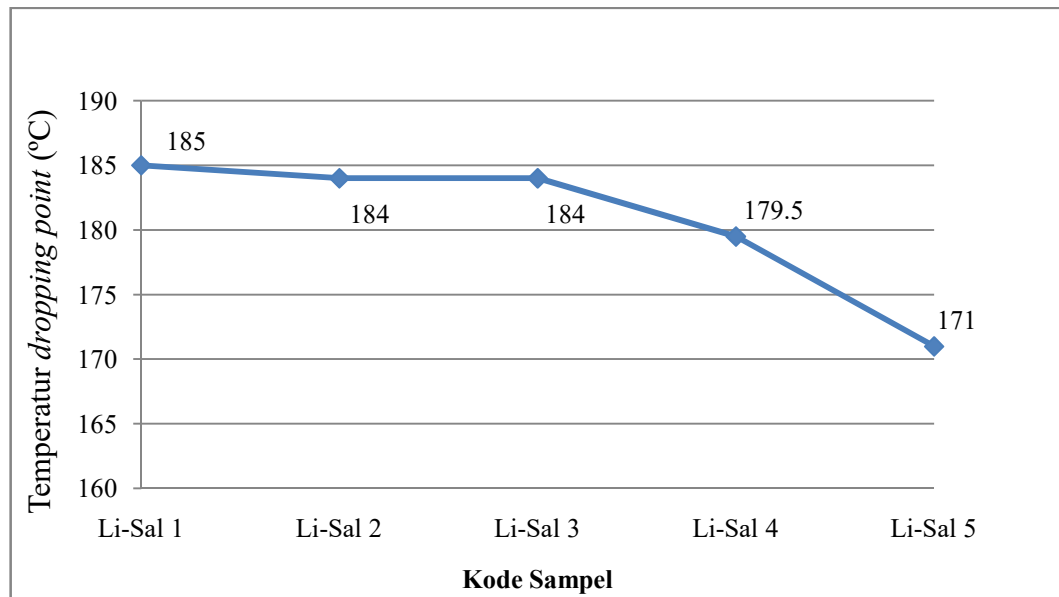
Uji karakteristik di laboratorium terhadap gemuk lumas dengan komposisi sesuai Tabel III.1 menunjukkan adanya perbedaan pada pengujiannya. Hasil uji karakteristik gemuk lumas berdasarkan hasil uji di laboratorium dapat dilihat pada Tabel IV.1.

Tabel IV.1 Hasil Uji Karakteristik Gemuk Lumas di Laboratorium

Karakteristik	Hasil Uji				
	Li-Sal 1	Li-Sal 2	Li-Sal 3	Li-Sal 4	Li-Sal 5
<i>Dropping Point</i> (°C)	185	184	184	179.5	171
<i>Unworked Penetration</i>	231	211	258	283	314
<i>Worked Penetration</i>	298	251	291	286	325
Kelas NLGI	1-2	2-3	2	2	1
Stabilitas Konsistensi	67	40	33	3	11
Perubahan Konsistensi (%)	29.0	19.0	12.8	1.1	3.5
<i>Water Washout</i> (%)	35	42	22	24	11

4.1 Pengaruh Penambahan *Complexing Agent* pada Gemuk Litium terhadap *Dropping Point* Gemuk Lumas

Pengaruh *complexing agent* terhadap hasil uji *dropping point* dari gemuk lumas dapat dilihat pada Gambar IV.1.



Gambar IV.1 Pengaruh Penambahan *Complexing Agent* pada Gemuk Litium terhadap *Dropping Point* Gemuk Lumas

Hasil uji *dropping point* menunjukkan bahwa penambahan *complexing agent* pada gemuk litium menurunkan temperatur *dropping point* pada gemuk lumas. Hal ini dapat dilihat dari temperatur *dropping point* yang mengalami penurunan seiring dengan kenaikan persentase Li-Salisilat, mulai dari persentase 0% hingga 23%. *Dropping point* yang dihasilkan berkisar antara 171°C–185°C. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi asam salisilat memberikan pengaruh negatif terhadap *dropping point* gemuk lumas litium. Hal ini bertentangan dengan tujuan penambahan *complexing agent* yaitu untuk meningkatkan nilai *dropping point* gemuk lumas litium.

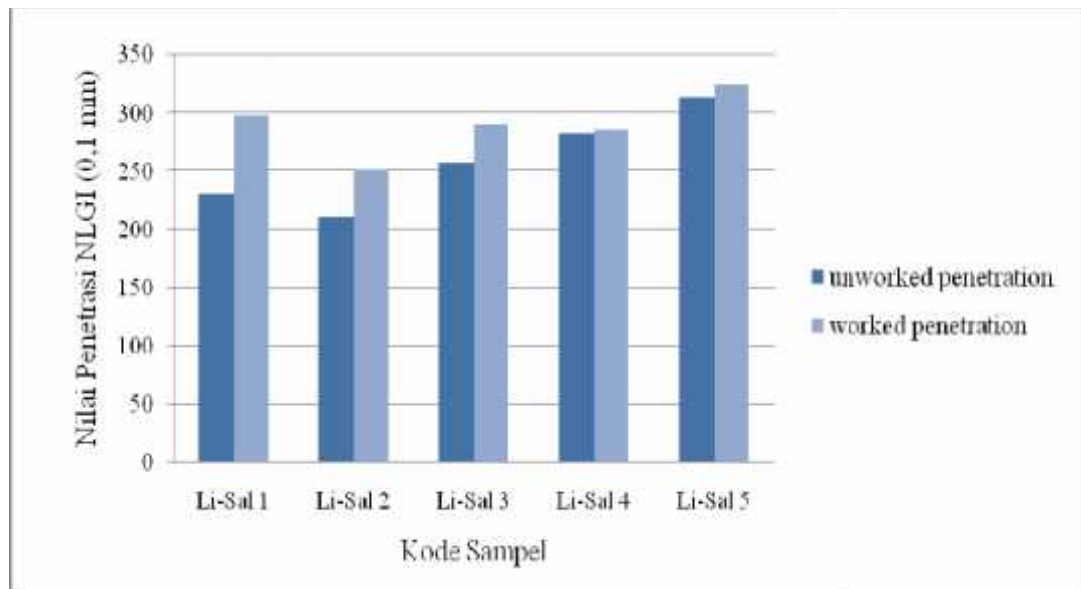
Penurunan *dropping point* kemungkinan disebabkan oleh asam salisilat yang tidak terdisosiasi sempurna. Asam salisilat yang mempunyai derajat disosiasi 2,9 menyebabkan atom H pada asam salisilat tidak tersubstitusi sempurna dengan litium saat pencampuran dengan minyak jarak yang mempunyai pH 6-7.

4.2 Pengaruh *Complexing Agent* Asam Salisilat pada Gemuk Lumas Litium terhadap Kekerasan (Penetrasi) dan Konsistensi Gemuk Lumas

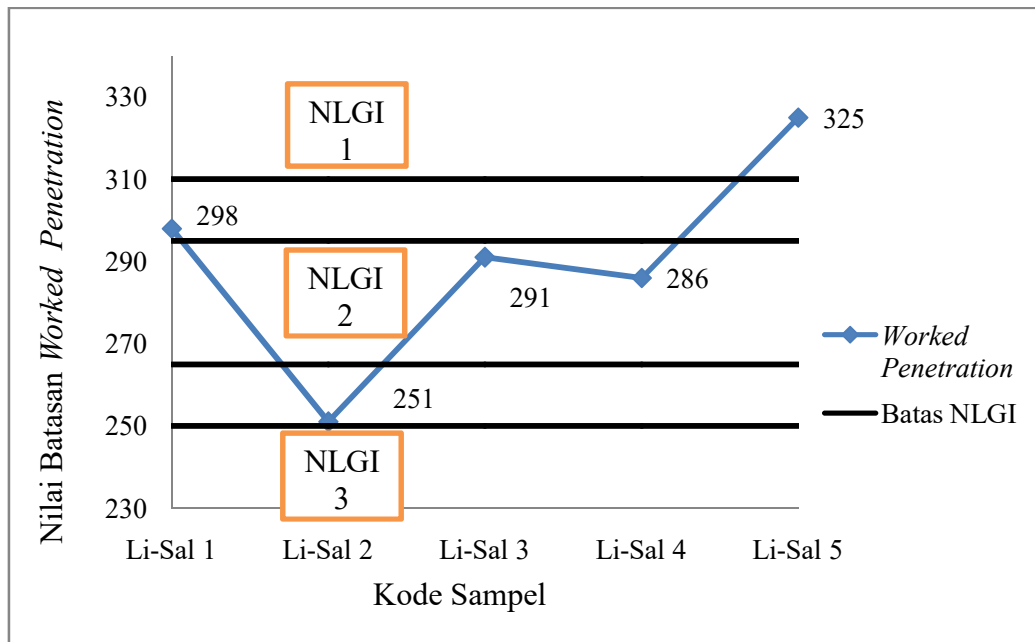
Tingkat kekerasan gemuk lumas diukur dengan melakukan penetrasi sebelum dan sesudah perlakuan kerja yang diterima oleh gemuk lumas. Penetrasi sesudah perlakuan kerja (*worked penetration*) dimaksudkan untuk melihat tingkat

kekerasan gemuk lumas sesuai dengan kelas NLGI. Hal ini digunakan konsumen untuk menyesuaikan tingkat kekerasan gemuk lumas dengan kebutuhan mesin yang akan diberi gemuk lumas. Sedangkan sebelum perlakuan kerja (*unworked penetration*) dimaksudkan sebagai nilai awal untuk mengukur perubahan tingkat kekerasan gemuk lumas yang dimaksudkan untuk melihat kestabilannya.

Pengaruh penggunaan *complexing agent* asam salisilat terhadap kekerasan gemuk lumas serta konsistensinya dapat dilihat grafik pada Gambar IV.2 dan Gambar IV.3.



Gambar IV.2 Pengaruh Penambahan *Complexing Agent* Asam Salisilat pada Gemuk Litium terhadap Kekerasan *Unworked* dan *Worked* Gemuk Lumas



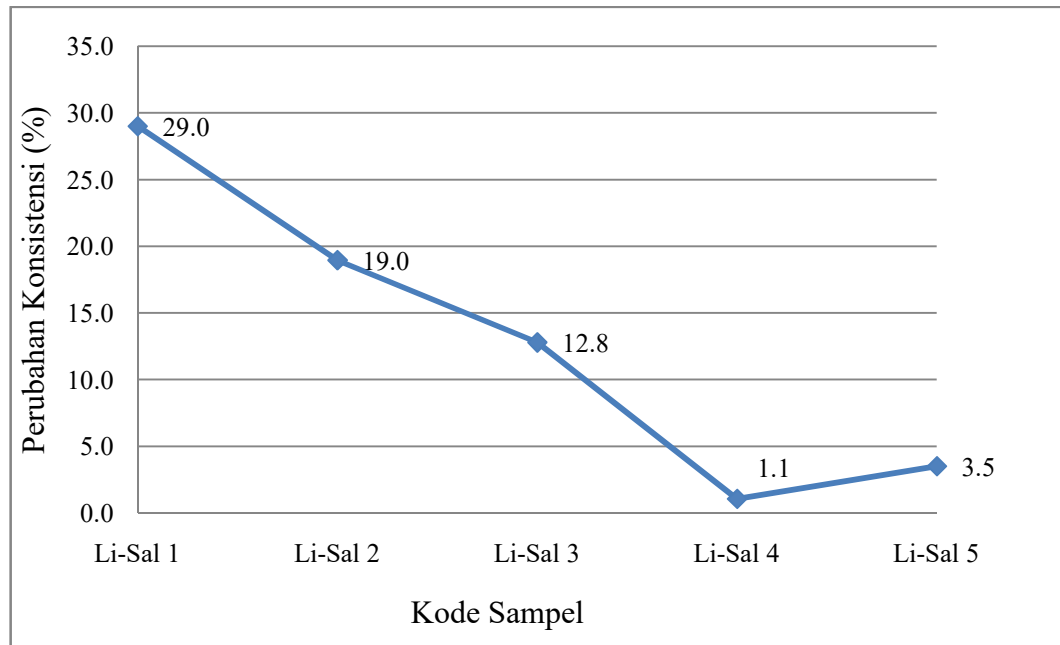
Gambar IV.3 Pengaruh Penambahan *Complexing Agent* Asam Salisilat pada Gemuk Litium terhadap *Worked Penetration* Gemuk Lumas

Berdasarkan grafik di atas, penggunaan *complexing agent* asam salisilat dalam gemuk lumas nabati mempengaruhi *worked penetration* (tingkat kekerasan) gemuk lumas. Li-Sal 1-4 menunjukkan nilai batasan *worked penetration* kurang dari 310, namun Li-Sal 5 menunjukkan nilai batasan *worked penetration* lebih dari 310. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *complexing agent* berupa asam salisilat pada gemuk litium akan membuat kekerasannya berkurang. Hal ini bisa terjadi akibat berkurangnya persentase 12-HSA yang digantikan oleh asam salisilat. Semakin besar jumlah asam salisilat ditambahkan maka semakin kecil jumlah 12-HSA. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah 12-HSA dalam sabun litium lebih mempengaruhi tingkat kekerasan gemuk lumas. Semakin banyak jumlah 12-HSA yang ditambahkan maka semakin keras gemuk yang dihasilkan.

Setelah gemuk lumas dikenakan perlakuan kerja, tingkat kekerasan berubah. Data hasil *worked penetration* menunjukkan perubahan tingkat kepadatan yang berarti perubahan gemuk lumas tersebut.

Besarnya perubahan tekstur gemuk lumas dapat dihitung dengan menggunakan persentase perubahan nilai kekerasan. Nilai persentase perubahan

gemuk lumas menunjukkan kestabilan gemuk lumas. Persentase perubahan konsistensi gemuk lumas dapat dilihat pada Gambar IV.4



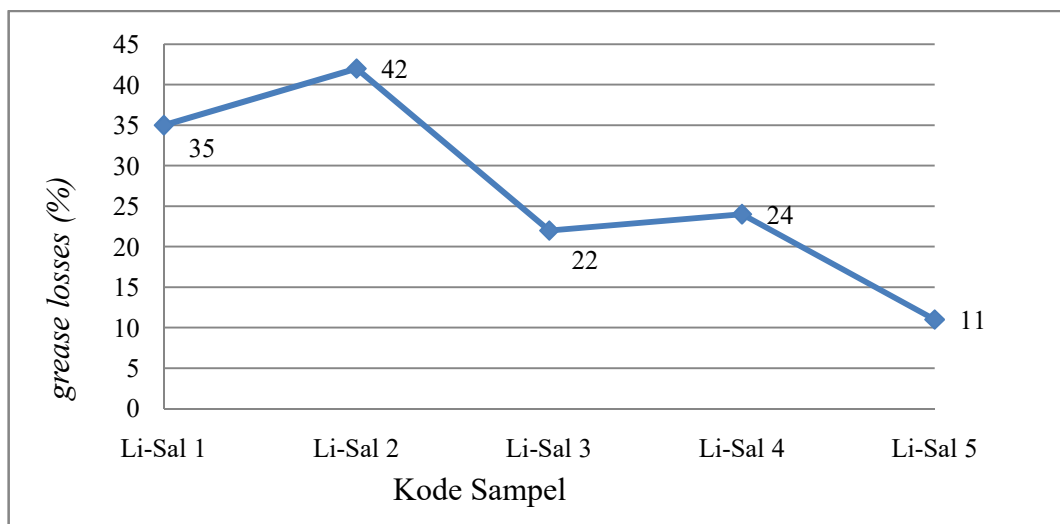
Gambar IV.4 Pengaruh Penambahan *Complexing Agent* Asam Salisilat pada Gemuk Litium terhadap % Perubahan Konsistensi Gemuk Lumas

Mechanical stability merupakan karakteristik utama pada kinerja gemuk lumas karena merupakan ukuran perubahan konsistensi gemuk lumas apabila terjadi gesekan dalam penggunaannya. *Mechanical stability* juga merupakan kemampuan gemuk lumas untuk kembali pada keadaan semula setelah adanya perlakuan kerja dengan perubahan konsistensi. Berdasarkan data persentase perubahan tekstur gemuk lumas, penambahan asam salisilat pada gemuk litium mengakibatkan perubahan kestabilan konsistensi (*mechanical stability*). Hal ini dapat terlihat dari persentase perubahan konsistensi yang semakin menurun seiring dengan penambahan jumlah asam salisilat. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan asam salisilat mampu meningkatkan kestabilan konsistensi gemuk lumas nabati hingga konsentrasi tertentu. Penambahan komposisi salisilat sebesar 16% mampu menghasilkan gemuk litium dengan tingkat kestabilan konsistensi yang sangat baik.

4.3 Pengaruh Penambahan *Complexing Agent* pada Gemuk Litium terhadap Uji *Water Washout* Gemuk Lumas

Uji *Water washout* digunakan untuk mengukur kemampuan gemuk lumas bertahan terhadap efek penyemprotan air tanpa mengalami perubahan kemampuan dalam pelumasan. Jika komponen gemuk lumas dapat berinteraksi dengan air, maka akan terjadi perubahan struktur (konsistensi) gemuk lumas yang menyebabkan penurunan fungsi pelumasan.

Hasil uji karakteristik ketahanan terhadap *water washout* ditunjukkan pada Tabel IV.1. Pengaruh penambahan *complexing agent* terhadap ketahanan gemuk lumas terhadap air dengan metode *water washout* ditunjukkan pada Gambar IV.5. Dari gambar tersebut terlihat bahwa secara keseluruhan penambahan jumlah asam salisilat mampu menurunkan jumlah gemuk lumas yang hilang (*grease losses*) dari sistem *bearing* akibat pengaruh *water washout*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan asam salisilat mampu meningkatkan ketahanan gemuk lumas litium terhadap air. Namun, berdasarkan grafik nilai *grease losses* masih belum stabil karena adanya *human error* sehingga hasil yang didapat belum akurat. Ketahanan terhadap air masih dapat ditingkatkan karena berdasarkan Gambar IV.5 masih terdapat kemungkinan *grease losses* lebih kecil dengan penambahan asam salisilat.



Gambar IV.5 Pengaruh Penambahan *Complexing Agent* pada Gemuk Litium terhadap Uji *Water Washout* Gemuk Lumas

Secara keseluruhan, hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan asam salisilat sebagai *complexing agent*, belum mampu meningkatkan karakteristik gemuk lumas terhadap nilai *dropping point* secara signifikan. Namun penambahan asam salisilat mampu meningkatkan kestabilan konsistensi (hingga konsentrasi tertentu) dan ketahanan gemuk lumas litium terhadap air.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan yang disajikan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu sebagai berikut :

1. Penambahan asam salisilat sebagai *complexing agent* mampu mendapatkan gemuk lumas litium kompleks dengan NLGI 1-3 namun belum dapat meningkatkan nilai *dropping point* secara signifikan.
2. Penambahan asam salisilat sebagai *complexing agent* mempengaruhi kestabilan konsistensi yang ditunjukkan pada komposisi 16% Li-Sal dengan persentase perubahan konsistensi mencapai 1.1%.
3. Penambahan asam salisilat sebagai *complexing agent* dapat meningkatkan ketahanan gemuk lumas terhadap air yang ditunjukkan pada komposisi 23% Li-Sal dengan persentase *grease losses* paling kecil 11%.
4. Gemuk lumas yang memenuhi syarat didapatkan pada komposisi 0%, 6%, dan 11% asam salisilat. Ketiga komposisi tersebut menghasilkan nilai *dropping point* $\geq 183^{\circ}\text{C}$, tingkat kekerasan (*worked penetration*) pada NLGI 1-3, dan nilai *grease losses* $\leq 50\%$.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disarankan sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan *complexing agent* lain yang diharapkan dapat menghasilkan gemuk lumas litium yang lebih optimal, contohnya : asam adipat dan asam sebasat.
2. Pengujian sampel dapat dilakukan dengan tiga kali atau lebih agar hasil yang didapat lebih akurat.
3. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan uji *fourball* untuk mengetahui kemampuan gemuk lumas dalam mencegah keausan terhadap logam.

4. Pembuatan gemuk lumas litium dapat ditambahkan dengan bahan penunjang untuk meningkatkan mutu atau kinerja gemuk lumas.

DAFTAR PUSTAKA

- Asadauskas, S., (1997). *Oxidative degradation of fluids based on synthetic and natural esters.*
- ASTM D 217 (2010), "*Standard Test Method for Cone Penetration of Lubricating Grease*".
- ASTM D 566 (2010), "*Standard Test Method for Dropping Point of Lubricating Grease*".
- ASTM D 1264 (2010), "*Standard Test Method for Determining the Water Washout Characteristics of Lubricating Grease*".
- Barriga JA (2006), "*Sunflower based grease for heavy duty applications*",
Mecanica, Exp., 13, pp: 129-133.
- Booser E.R. (1992) "*Handbook of Lubrication*" Volume II, (8th ed). Boca Raton: CRC Press, Inc.
- Caines, A.J. dan R.F. Haycock, 1996. *Automotive Lubricants Reference Book*. Society of Automotive Engineers, Inc., USA.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) and Centers For Disease Control and Prevention (CDC), (2011). "National diabetes fact sheet: national estimates and general information on diabetes and prediabetes in the united States, 2011". Atlanta, GA: US *Departement of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, 201.*
- Guthrie, V.B., 1960, *Petroleum Product Handbook*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.

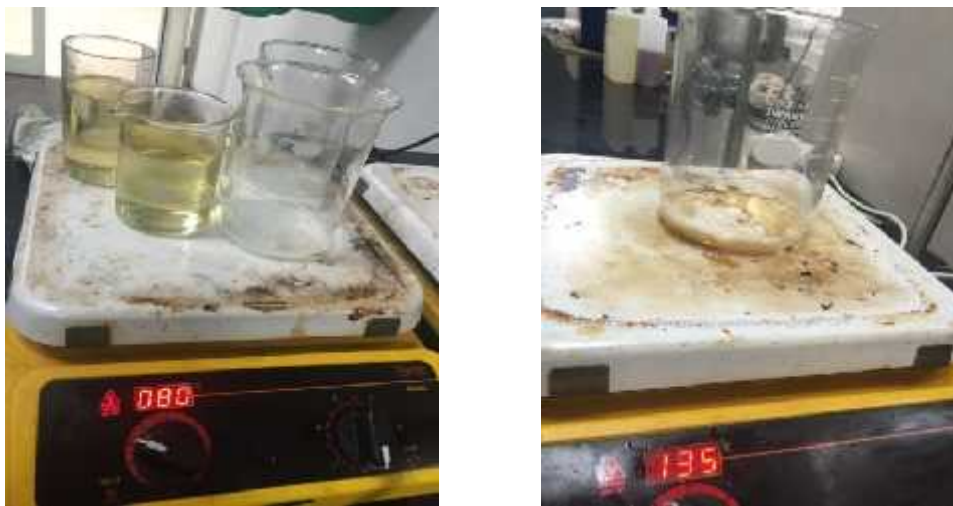
- Khosravi, Javad (2007). "9: Results". *"Production Of Lithium Peroxide And Lithium Oxide In An Alcohol Medium"*. ISBN 978-0-494- 38597-5.
- Konzman (2000), *"Grease Composition"*. United States Patent 6063742.
- Kirk, R.E dan Othmer D.F. (1993)., *Encyclopedia of Chemical Technology*, Volume: 5. The Interscience Encyclopedia Inc., New York.
- Lansdown A.R. (2004), *"Lubrications and Lubricant Selection"*, a Practical Guide, 3rd Edition, Professional Enggineering Published Limited, Suffolk, UK, pp: 128-131.
- Leslie R. Rudnick, (2006), *"Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants"* 459, ISBN 1-57444-723-8, Pennsylvania, USA, pp: 3- 5.
- Lide, David R., ed. (2006), *"CRC Handbook of Chemistry and Physics"* (87th.ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. ISBN 0-8493-0487-3.
- Ludema, K.C. (1996). *Friction, wear, lubrication: a textbook in tribology*. CRC press.
- Maskaev, A.K, Man'kovskaya, N.K, et al., 2004. *"Preparation of 12 Hydroxystearic Acid The Raw Material For Plastic Greases"*. UDC 547. 295. 94:655.4.
- Mortier, R.M., Fox, M.F., Orzulik, S.T., (2010), (ed), *"Chemistry and Techonology of Lubricant 3rd"* . Spinger, London, pp: 413-414.
- Pakan, T.S. (1991), *"Gemuk Pelumas (Grease)"*, PPPTMGB "LEMIGAS", Jakarta.
- Patterson, HBW. (1994), *"Handling and Storage of Oilseeds"*. Oils, Fats and Meal. Elsevier Applied Science, London.

- Paul A. Bessette and David S. Stone (1999), "*Synthetic Lubricants and High Performance Functional Fluids*", New York, ISBN: 0-82470194-1, pp: 519-537.
- Raab M.J. and Sibtain H. (2003), "*lubricant Additives Chemistry and Application, Additives for Food-Grade Lubricant Applicants*". New York. Marcel Dekker, Inc., ISBN: 0-8247-0857-1.
- Theo Mang & Wilfried Dresel, (2007), "Lubricants and Lubrication", 2nd Edition, Wiley-VCH, Weinheim, pp: 648-658.
- Tim Pelaksana Kerja Sama Direktorat Jendral Litbang (AURI) dengan LEMIGAS, 1970, *Penelitian Pembuatan Aviation Lubricating Grease*, Research Report No. LR-15/70. PPPTMG "LEMIGAS", Jakarta.
- Tri Purnami (2013), Laporan Penelitian "*Pembuatan Bahan Thickener Asam 12- Hidrosistearat Berbasis Minyak Jarak*", PPPTMGB Lemigas.
- Sukirno, Fajar, R. Bismo and Nasikim, M. (2009), "*Biogrease Based on Palm Oil and Lithium Soap Thickener: Evaluation of Antiwear Property*". *World Applied Sciences Journal*. 6 (33) pp: 401-407.
- Wartawan, L.A., 1998, "*Pelumas Otomotif dan Industri*", Balai Pustaka, Jakarta.
- Wiggins (1997), "Biodegradable vegetable oil grease". US Pat No 5,595,965
- Yousif, A.E (1982)., "*Rheological Propertis of Lubricating Greases Wear*", 82 (13) pp: 13-25.

LAMPIRAN A



Gambar A.1 Proses Penimbangan Bahan



Gambar A.2 Proses Pemanasan Bahan



Gambar A.3 Proses Saponifikasi



Gambar A.4 Proses Pencampuran Sabun Litium



Gambar A.5 Proses *Blending* Gemuk Lumas Litium Kompleks

LAMPIRAN B



Gambar B.1 Proses Uji *Dropping Point*

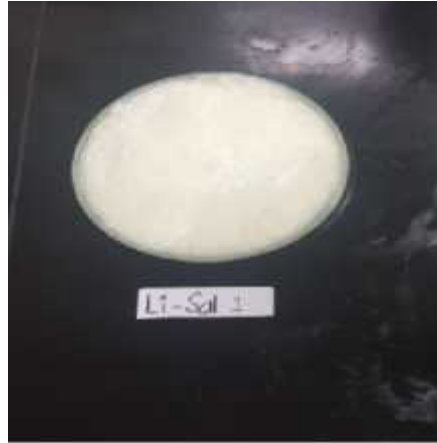


Gambar B.2 Proses Uji Penetrasi



Gambar B.3 Proses Uji *Water Wash Out*

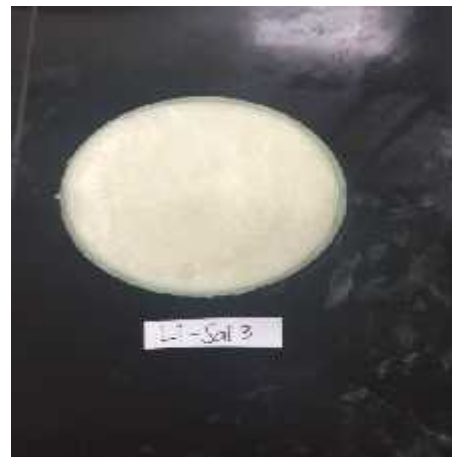
LAMPIRAN C



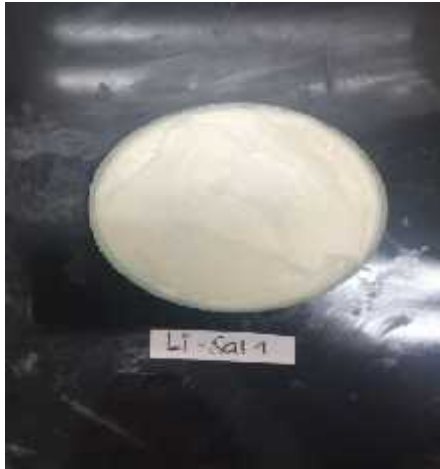
Gambar C.1 Gemuk Litium Tanpa Asam Salisilat



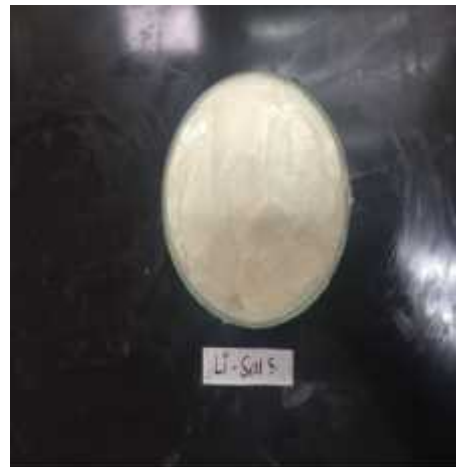
Gambar C.2 Gemuk Litium Kompleks dengan 6% Asam Salisilat



Gambar C.3 Gemuk Litium Kompleks dengan 11% Asam Salisilat



Gambar C.4 Gemuk Litium Kompleks dengan 16% Asam Salisilat



Gambar C.5 Gemuk Litium Kompleks dengan 23% Asam Salisilat