

**PEMBUATAN ADITIF PENINGKAT INDEKS VISKOSITAS
UNTUK MINYAK LUMAS MELALUI KOPOLIMERISASI
LATEKS KARET ALAM-STIRENA**

SKRIPSI

**FERRY CATUR ANDRYANTO
0606076375**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2010**

**PEMBUATAN ADITIF PENINGKAT INDEKS VISKOSITAS
UNTUK MINYAK LUMAS MELALUI KOPOLIMERISASI
LATEKS KARET ALAM-STIRENA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

**FERRY CATUR ANDRYANTO
0606076375**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

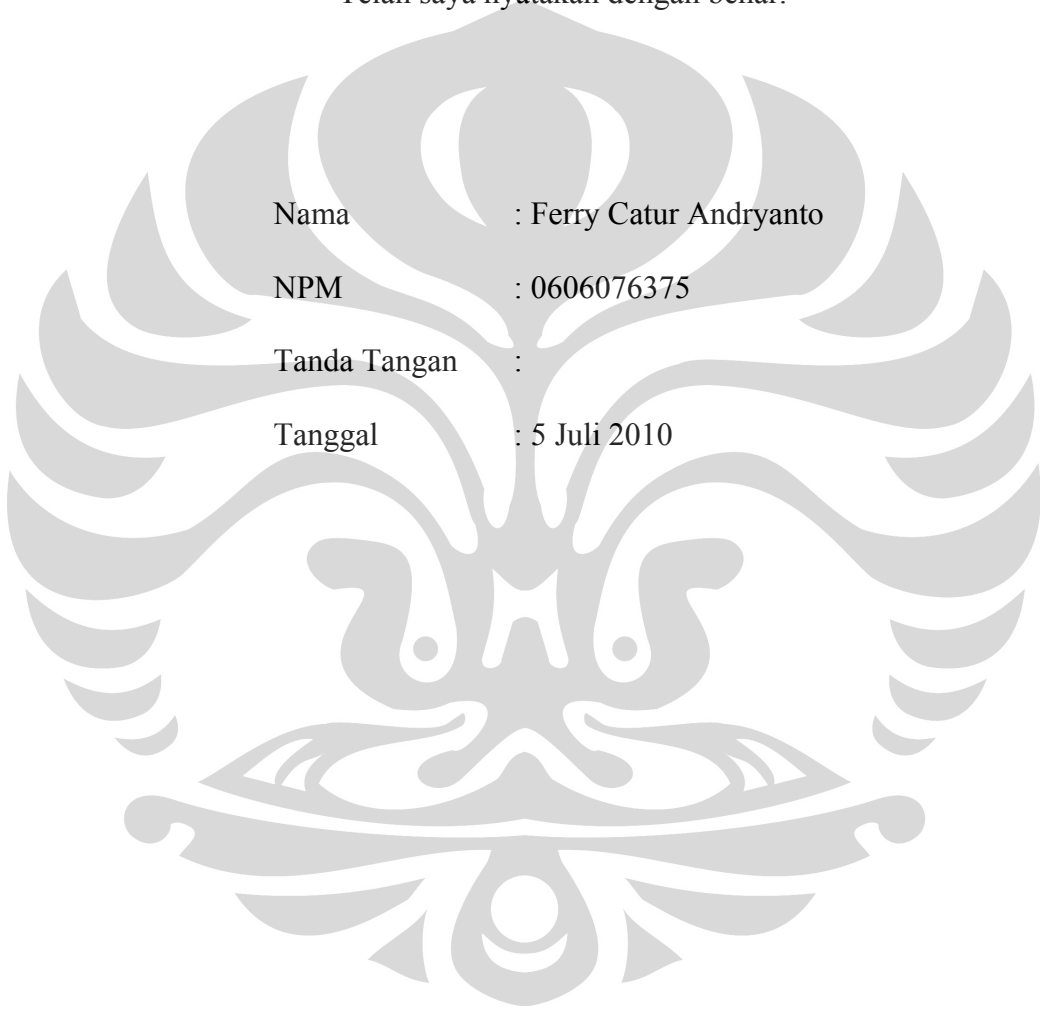
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Ferry Catur Andryanto

NPM : 0606076375

Tanda Tangan :

Tanggal : 5 Juli 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ferry Catur Andryanto
NPM : 0606076375
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pembuatan Aditif Peningkat Indeks Viskositas
untuk Minyak Lumas melalui Kopolimerisasi
Lateks Karet Alam-Stirena

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sukirno, M.Eng ()
Penguji : Ir. Dewi Tristantini, MT, PhD ()
Penguji : Ir. Bambang Heru Susanto, MT ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 5 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Sukirno, M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
 2. Prof. E. Suhardono dan Ibu Roza yang telah memberikan penjelasan dan bantuan bahan dalam pelaksanaan penelitian.
 3. Fikri Ibrahim Ramadhan, Yasir Sulaiman Kuwair, dan Yogi Putra Wirandi sebagai rekan satu lab POT yang telah berjuang bersama.
 4. Kak Prolesa dan Mbak Ayu yang telah memberikan penjelasan tentang polimer.
 5. Mang Izal, Kang Jajat, dan Mas Eko sebagai teknisi laboratorium yang telah membantu saya secara teknis.
 6. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
 7. Tekim 06 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
- Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 5 Juli 2010

Penulis

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

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

Nama : Ferry Catur Andryanto

NPM : 0606076375

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 Aditif Peningkat Indeks Viskositas untuk Minyak Lumas melalui
Kopolimerisasi Lateks Karet Alam-Stirena”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 5 Juli 2010

Yang menyatakan

(Ferry Catur Andryanto)

ABSTRAK

Nama : Ferry Catur Andryanto
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pembuatan Aditif Peningkat Indeks Viskositas untuk Minyak Lumas melalui Kopolimerisasi Lateks Karet Alam-Stirena

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan aditif peningkat indeks viskositas berbasis lateks karet alam (*Deproteinized Natural Rubber*) melalui reaksi kopolimerisasi lateks karet alam-stirena (LKA-Stirena) dengan menggunakan inisiator benzoil peroksida. Selanjutnya, LKA-Stirena yang terbentuk dilarutkan ke dalam xylene setelah dipisahkan dari homopolimer. Produk yang diperoleh diuji kemampuannya dalam meningkatkan indeks viskositas pada minyak lumas dasar HVI 160. Produk dilarutkan ke dalam pelarut untuk memperoleh aditif peningkat indeks viskositas. Sebanyak 5% aditif ditambahkan ke dalam minyak lumas HVI 160 untuk diukur indeks viskositasnya dengan menggunakan metode ASTM D2270. Penambahan aditif dapat meningkatkan indeks viskositas minyak lumas HVI 160 dari 98 menjadi 129,05.

Kata kunci: Aditif, Peningkat Indeks Viskositas, Kopolimerisasi, LKA-Stirena

ABSTRACT

Name : Ferry Catur Andryanto
Study Program : Chemical Engineering
Judul : Preparation of Viscosity Index Improver for Lubricating Oils Additive through Copolymerization of Natural Rubber Latex-Styrene

In this research, preparation of viscosity index improver additive base of natural rubber latex (*Deproteinized Natural Rubber*) is done through copolymerization reaction to natural rubber latex-styrene (LKA-styrene) using benzoyl peroxide initiator. Furthermore, LKA-formed styrene dissolved into xylene after being separated from Homopolymers. Products obtained tested for its ability in improving the viscosity index lubricating oil base in HVI 160. Product was dissolved into the solvent to obtain a viscosity index improver additive. As many as 5% additives added to HVI 160 lubrication base oil for viscosity index measurement using ASTM method D2270. Additive derived can increase the viscosity index of lubricating oil HVI 160 from 98 to 129.05.

Key words: Additive, Viscosity Index Improver, copolymerization, LKA-Styrene

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Aditif Minyak Lumas	6
2.2 Viskositas	7
2.2.1 Pengaruh Temperatur pada viskositas (Perilaku V-T)	8
2.3 Indeks Viskositas	9
2.3.1 Hubungan Tekanan-Viskositas	10
2.3.2 Penggolongan Viskositas	11
2.3.3 Penggambaran Fisik <i>Viscosity Index Improver</i> (VII)	12
2.3.4 Struktur dan sifat kimia VII	15
2.3.5 Mekanisme Peningkatan Indeks Viskositas	15
2.3.6 Efek Pengentalan Polimer	18
2.3.7 Pengaruh <i>Base Oil</i>	19
2.3.8 Pengaruh <i>Base Oil</i> dan Komposisi Polimer	19
2.3.9 Perubahan Viskositas Akibat <i>Shear Stress</i>	19
2.3.10 Stabilitas mekanik	20
2.3.11 Kestabilan termal dan termooksidasi	22
2.3.12 Karakteristik temperatur rendah	22
2.4 Stirena	22
2.5 Karet Alam	23
2.6 Modifikasi Karet Alam	25
2.7 Polimerisasi	26
2.8 Mekanisme Kopolimerisasi	28
2.9 Perancangan Reaktor Berpengaduk	30
2.9.1 Ukuran reaktor	31
2.9.2 Jenis dan posisi pengaduk	31
2.9.3 Kecepatan pengaduk	32

3. METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Diagram Alir Penelitian	33
3.2 Variabel penelitian	34
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	34
3.4 Prosedur Penelitian	35
3.4.1 Perancangan Reaktor	35
3.4.2 Pembuatan Kopolimer Lateks Karet Alam-Stirena	35
3.4.3 Penentuan Spektrum Infra Merah	36
3.4.4 Pembuatan Aditif Peningkat Indeks Viskositas (VII).....	36
3.4.5 Pengujian VII pada Minyak Lumas	36
4. PEMBAHASAN	38
4.1 Perancangan reaktor.....	39
4.1.1 Tutup reaktor.....	39
4.1.2 Stirer.....	40
4.1.3 Alat pengukur suhu.....	41
4.1.4 Sistem pemanas.....	41
4.1.5 Reaktor.....	42
4.2 Pembuatan Kopolimer Lateks Karet Alam-Stirena	43
4.3 Penentuan Spektrum Infra Merah	45
4.3 Pembuatan Aditif Peningkat Indeks Viskositas	48
4.4 Pengukuran Indeks Viskositas	49
5. KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR REFERENSI.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penjelasan mekanisme viskositas.....	7
Gambar 2.2 Karakteristik aliran minyak lumas Newtonian dan non-Newtonian...	8
Gambar 2.3 Perilaku V-T pada berbagai jenis minyak: a. <i>paraffinic base oil</i> ; b. <i>naphthenic base oil</i> ; dan c. <i>rapeseed oil</i>	9
Gambar 2.4 Hubungan viskositas terhadap temperatur (VI-T).....	10
Gambar 2.5 Peningkatan viskositas terhadap tekanan, 1. Minyak aromatik, Minyak naftanik, 3. Minyak parrafinik, 4. <i>Biodegradable polyester</i> 11	11
Gambar 2.6 Perbandingan penggolongan viskositas untuk berbagai aplikasi.....	12
Gambar 2.7 Jenis polimer, struktur rantai, dan susunan monomer aditif peningkat indeks viskositas (VII).....	15
Gambar 2.8 Mekanisme aditif peningkat indeks viskositas pada minyak lumas ketika (a) temperatur rendah dan (b) temperatur tinggi.....	16
Gambar 2.9 Efek penambahan indeks viskositas pada minyak lumas.....	17
Gambar 2.10 Efisiensi pengentalan dan kestabilan VII.....	18
Gambar 2.11 Perbedaan antara kehilangan viskositas.....	20
Gambar 2.12 Struktur ikatan stirena.....	23
Gambar 2.13 Struktur ikatan lateks (1,4 cis isoprena).....	24
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	33
Gambar 3.2 Viskometer <i>Canon Fenske Routine</i>	37
Gambar 4.1 Tutup reaktor.....	40
Gambar 4.2 Sirip pengaduk.....	41
Gambar 4.3 Termometer digital.....	41
Gambar 4.4 Sistem pemanas.....	42
Gambar 4.5 Reaktor.....	43
Gambar 4.6 Hasil Perhitungan Derajat Penempelan.....	45
Gambar 4.7 Spektrum FTIR Lateks Karet Alam.....	46
Gambar 4.8 Spektrum FTIR LKA-Stirena pada variasi waktu 2,5 jam.....	47
Gambar 4.9 Spektrum FTIR LKA dengan penambahan Benzoil Peroksida.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik VI-T pada berbagai minyak	10
Tabel 2.2 Polimer yang telah digunakan sebagai VII	14
Tabel 2.3 Panjang bagian rantai polimer (Kuhn)	18
Tabel 2.4 Sifat fisik Stirena	23
Tabel 2.5 Komposisi kimia Lateks <i>Hevea brasiliensis</i>	24
Tabel 4.1 Hasil pelarutan sampel	49
Tabel 4.2 Pengukuran Indeks Viskositas	50



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Reaktor kopolimerisasi LKA-Stirena	54
Lampiran 2 Dokumentasi proses perendaman dan pelarutan	55
Lampiran 3 Tahapan proses kopolimerisasi LKA-Stirena.....	57
Lampiran 4 Tabel ASTM D2270	61



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sumber daya hayati yang besar sehingga dikenal sebagai negara *megabiodiversity*. Luas daratan Indonesia yang berkisar 190 juta hektar, sekitar 64-69 juta dapat dan sudah dimanfaatkan menjadi lahan pertanian dan perkebunan. Lahan sawah berjumlah 7,7 juta hektar, sisanya tegalan 10,6 juta hektar, perkebunan (rakyat dan swasta) 19,6 juta hektar, kayu-kayuan 9,4 juta hektar, dan 12,4 juta hektar masih berupa semak belukar atau alang-alang. Meskipun kekayaan sumber daya hayati tersebut sudah banyak dieksploitasi dalam bidang pertanian, perkebunan, dan kehutanan, nilai tambah sumber daya hayati yang dihasilkan masih relatif kecil akibat proses pengolahan yang masih sangat sederhana atau dijual secara langsung dalam bentuk bahan alami.

Karet merupakan salah satu hasil perkebunan yang menjadi komoditas ekspor Indonesia. Sejumlah lokasi di Indonesia memiliki keadaan lahan yang cocok untuk pertanaman karet, sebagian besar berada di wilayah Sumatera dan Kalimantan. Luas area perkebunan karet tahun 2005 tercatat mencapai lebih dari 3,2 juta ha yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Diantaranya 85% merupakan perkebunan karet milik rakyat, dan hanya 7% perkebunan besar negara serta 8% perkebunan besar milik swasta. Produksi karet secara nasional pada tahun 2005 mencapai 2,2 juta ton. Jumlah ini masih akan bisa ditingkatkan lagi dengan melakukan peremajaan dan memberdayakan lahan-lahan pertanian milik petani serta lahan kosong/ tidak produktif yang sesuai untuk perkebunan karet. Ekspor Karet Indonesia selama 20 tahun terakhir terus menunjukkan adanya peningkatan dari 1.0 juta ton pada tahun 1985 menjadi 1.3 juta ton pada tahun 1995 dan 2.0 juta ton pada tahun 2005. Pendapatan devisa dari komoditi ini pada semester pertama tahun 2006 mencapai US\$ 2.0 milyar, dan diperkirakan nilai ekspor karet pada tahun 2006 akan mencapai US\$ 4,2 milyar (Kompas, 2006). Potensi hasil perkebunan yang besar ini selama ini hanya dimanfaatkan

untuk diekspor. Padahal karet dapat memberikan nilai ekonomi yang lebih besar jika diolah lebih lanjut.

Salah satu pemanfaatan karet adalah sebagai bahan baku dalam pembuatan aditif peningkat indeks viskositas atau dikenal dengan *viscosity index improver* (VII). Saat ini, kebutuhan VII di dalam negeri masih disuplai dari negara lain seperti Amerika. Beberapa perusahaan yang telah memproduksi VII dengan menggunakan bahan yang berbeda-beda antara lain: Texaco Inc. dengan menggunakan bahan polimetakrilat dan du Pont dengan menggunakan bahan diisoprene-stirena terhidrogenasi. VII merupakan salah satu aditif yang banyak dikembangkan saat ini dan digunakan pada minyak lumas dasar untuk menambah kemampuan minyak lumas dalam mempertahankan kekentalannya terhadap perubahan temperatur. Minyak lumas yang memiliki indeks viskositas tinggi, memiliki perubahan kekentalan yang stabil apabila terjadi perubahan suhu secara ekstrim. Keberadaan minyak lumas bagi suatu mesin merupakan suatu kebutuhan primer. Tanpa adanya minyak lumas, kerja mesin menjadi lebih berat, tidak efisien dan usia mesin menjadi lebih pendek. Kerugian daya mekanis mesin sebesar 70% diantaranya disebabkan oleh gesekan mekanis. Kerugian daya ini terlihat melalui kenaikan panas minyak lumas.

Salah satu bahan aditif yang dikembangkan saat ini adalah aditif peningkat indeks viskositas. Kekentalan minyak lumas sangat tergantung pada temperatur, semakin tinggi temperatur maka minyak lumas semakin encer. Perbedaan kekentalan yang timbul akibat perbedaan temperatur ini dinyatakan dalam suatu bilangan yang disebut indeks viskositas. Penambahan indeks viskositas bertujuan untuk menambah kemampuan minyak lumas dalam mempertahankan kekentalannya terhadap temperatur.

Terdapat berbagai macam aditif yang dapat digunakan sebagai aditif peningkat indeks viskositas, misalnya polimetakrilat, kopolimer olefin, kopolimer styrene-diene terhidrogenasi, dan poli-stiren. Kopolimer olefin paling banyak dipakai sebagai aditif peningkat indeks viskositas.

Melihat adanya keterkaitan antara kebutuhan aditif peningkat indeks viskositas dan jumlah produksi karet yang cukup tinggi di Indonesia, maka pada penelitian ini akan dilakukan proses kopolimerisasi lateks karet alam dan styrena

untuk menghasilkan aditif peningkat indeks viskositas. Banyak penelitian yang telah mempelajari pembuatan aditif peningkat indeks viskositas dan mekanisme kopolimerisasi lateks karet alam dan stirena. Redi Pelita mempelajari sintesis dan karakterisasi aditif pelumas otomotif dari kopolimerisasi Lateks Karet Alam-Stirena. Nursiah mempelajari variasi jumlah inisiator dan lama proses pada sintesis aditif peningkat indeks viskositas dari kopolimerisasi Lateks Karet Alam-Stirena (Nursiah, 2005). Nampitch, T dan Vatabotham, T mempelajari efisiensi penempelan emulsi kopolimerisasi LKA-Stirena (Nampitch, T dan Vatabotham, T, 2006). Pukkate Nanthaporn, Yamamoto Yoshimasa, dan Seiichi Kawahara mempelajari pengaruh inisiator dan monomer terhadap kopolimer yang dihasilkan (Pukkate Nanthaporn, dkk, 2008). Penelitian yang dilakukan oleh Nursiah memberikan kesimpulan bahwa hasil reaksi kopolimerisasi dengan variasi benzoil peroksida sebesar 0,5 gram dan 1 gram, serta variasi waktu proses selama 3 jam dan 5 jam tidak memberikan perbedaan signifikan apabila keempat polimer dicacah lalu didispersikan ke dalam minyak lumas dasar dengan menggunakan teknik *blending*. Penelitian yang dilakukan Redi memberikan kesimpulan bahwa temperatur optimal untuk mendapatkan *grafting* kopolimer LKA-stirena yaitu pada temperatur 80 °C. Akan tetapi pada penelitian tersebut jumlah maksimum kopolimer yang dapat dilarutkan hanya sebesar 15%. Merujuk pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pada penelitian ini dilakukan proses kopolimerisasi antara lateks karet alam dan stirena dengan menggunakan DPNR (*Deproteinized Natural Rubber*).

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dicoba diselesaikan pada penelitian ini adalah kemudahan kopolimer untuk larut dalam minyak lumas dasar sehingga dapat meningkatkan indeks viskositas minyak lumas dasar.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Memperoleh kopolimer LKA-Stirena dengan proses pengadukan yang optimal.
2. Menyelidiki kelarutan kopolimer LKA-Stirena, LKA, dan Stirena di dalam xylene dan minyak lumas.
3. Menyelidiki pengaruh penambahan kopolimer LKA-Stirena pada peningkatan indeks viskositas minyak lumas.
4. Memperoleh aditif peningkat indeks viskositas (VII) dengan menggunakan metode kopolimerisasi LKA-Stirena, yang dapat diaplikasikan pada industri minyak lumas di Indonesia.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, masalah dibatasi sebagai berikut:

1. Lateks yang digunakan pada prose kopolimerisasi LKA-Stirena yaitu DPNR (*Deproteinized Natural Rubber*).
2. Jenis inisiator yang digunakan adalah benzoil peroksida.
3. Bahan dasar minyak lumas yang digunakan adalah HVI 160.
4. Penelitian ini dilakukan pada kondisi temperatur 80 °C dengan jumlah inisiator benzoil peroksida sebanyak 0,5 gram dan waktu reaksi selama 1, 1,5, dan 2 jam.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

- **BAB I. PENDAHULUAN**
Berisikan latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**
Berisikan studi literatur secara umum dan secara khusus mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian seperti aditif minyak lumas, viskositas, *viscosity index improver* (VII), indeks viskositas, stirena, karet alam, modifikasi karet alam, polimerisasi, dan kopolimer.

- **BAB III. METODE PENELITIAN**

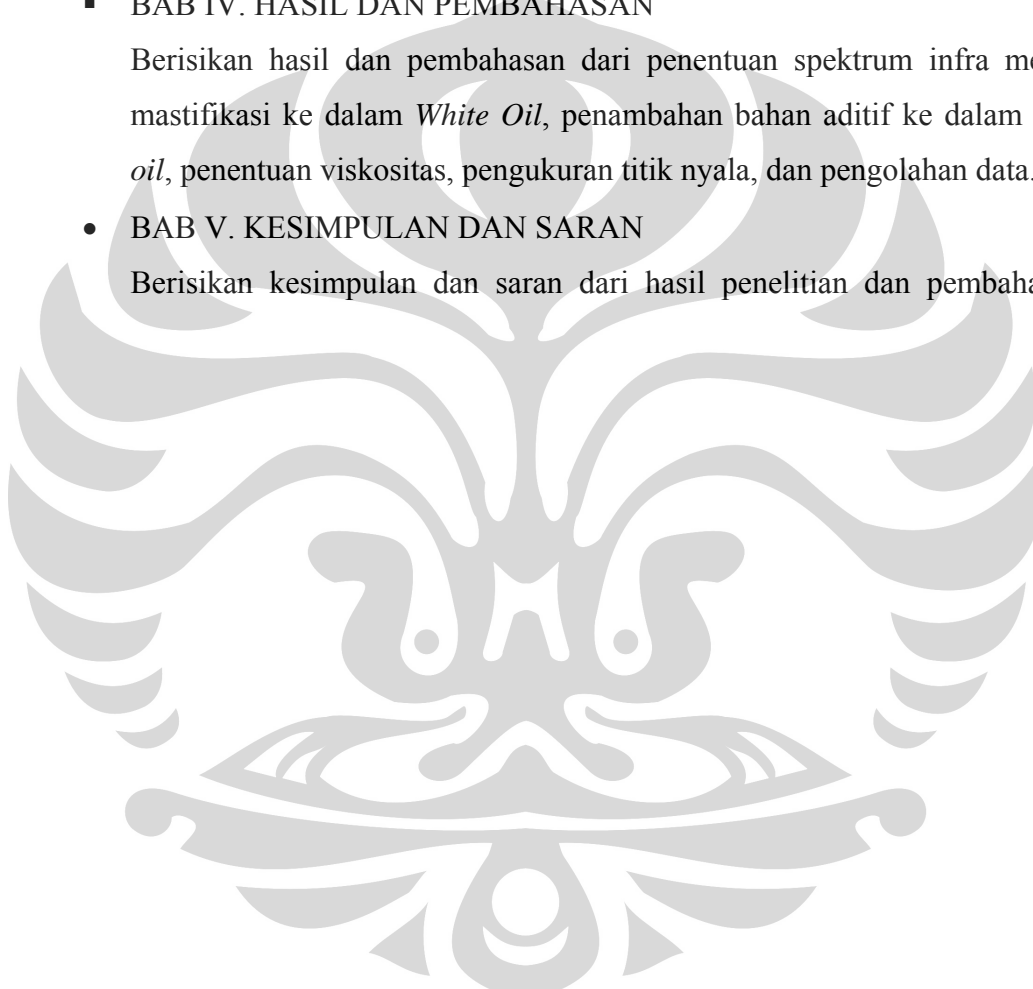
Berisikan diagram alir penelitian, bahan & alat yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian yang meliputi pembuatan kopolimer lateks karet alam-stirena, penentuan spektrum infra merah, pencampuran kopolimer ke dalam *white oil*, penambahan bahan aditif ke dalam minyak dasar (*base oil*), penentuan viskositas, pengukuran titik nyala, dan pengolahan data.

- **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisikan hasil dan pembahasan dari penentuan spektrum infra merah, mastifikasi ke dalam *White Oil*, penambahan bahan aditif ke dalam *base oil*, penentuan viskositas, pengukuran titik nyala, dan pengolahan data.

- **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian dan pembahasan.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aditif Minyak Lumas

Aditif minyak lumas merupakan suatu bahan yang ditambahkan ke dalam minyak lumas. Penambahan aditif minyak lumas bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat yang ada dan memberikan sifat-sifat baru yang belum dimiliki minyak lumas dasar. Aditif dapat meningkatkan kinerja mesin, memperpanjang efisiensi kerja mesin, dan memperpanjang masa kerja mesin.

Aditif yang ditambahkan pada minyak lumas harus memiliki sifat-sifat tertentu agar efektif saat digabungkan dengan minyak lumas dasar. Sifat-sifat tersebut adalah :

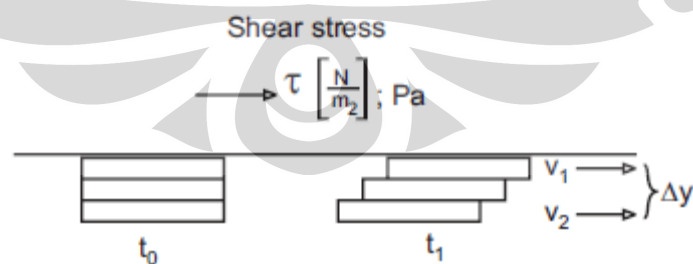
1. Mudah larut dalam minyak dasar.
2. Dapat bercampur dengan bahan aditif lainnya.
3. Stabil dalam waktu yang lama.
4. Tidak beracun dan tidak memiliki bau yang merangsang.
5. Memiliki titik penguapan yang rendah.

Aditif antioksidan (*Oxidation Inhibitor*) berfungsi untuk menghindari terjadinya oksidasi yang ditimbulkan mesin akibat bekerja pada bidang sentuh kecil yang dapat menimbulkan panas. Bahan yang dipakai biasanya sulfida, fosfit, amina, fenol, selenida dan zink ditiofosfat. Aditif anti korosi dalam minyak lumas akan membentuk lapisan tipis di atas permukaan logam untuk memberikan perlindungan dari serangan karat. Bahan yang digunakan sebagai aditif anti korosi adalah logam ditiofosfat dan logam ditiokarbonat. Aditif peningkat indeks viskositas bertujuan meningkatkan kemampuan minyak untuk mempertahankan kekentalannya terhadap perubahan temperatur. Bahan yang biasa digunakan adalah poliisobuten, polimetakrilat, poliolefin atau isolefin. Aditif peningkat indeks viskositas biasanya berupa polimer organik yang sifatnya cenderung mengembang pada suhu yang meningkat, dengan demikian akan mempertahankan kekentalan larutannya (Rizvi, 1993).

Berdasarkan sifat-sifat fisika-kimianya, aditif minyak lumas dapat dikategorikan dalam dua kelompok utama (Tri Yanto, 2002). Kelompok pertama adalah aditif yang mempengaruhi sifat kimiawi minyak lumas seperti aditif deterjen, antioksidan, dan anti aus. Sedangkan kelompok kedua adalah aditif yang mempengaruhi sifat-sifat fisik minyak lumasnya, seperti aditif peningkat indeks viskositas, titik tuang, dan anti busa. Aditif pembersih dan pengurai (*Detergent and Dispersant additive*) berfungsi untuk menjaga agar permukaan logam tetap bersih dari semua pembentukan deposit atau lumpur oksidasi. Aditif pengurai biasanya dipakai untuk pelumasan yang melayani mesin kendaraan yang beroperasi secara berhenti dan jalan berulang-ulang. Bahan yang digunakan adalah sulfonat, fosfonat atau tiofonat, alkil yang disubsitusi salisilat dan fenat. Aditif anti busa (*Antifoam Agent*) bertujuan untuk memecahkan gelembung udara yang terdapat dalam minyak lumas secara cepat. Bahan yang digunakan sebagai aditif antara lain silikon dan kopolimer organik. Pada penelitian ini hanya akan dibahas salah satu dari jenis aditif, yaitu aditif peningkat indeks viskositas.

2.2 Viskositas

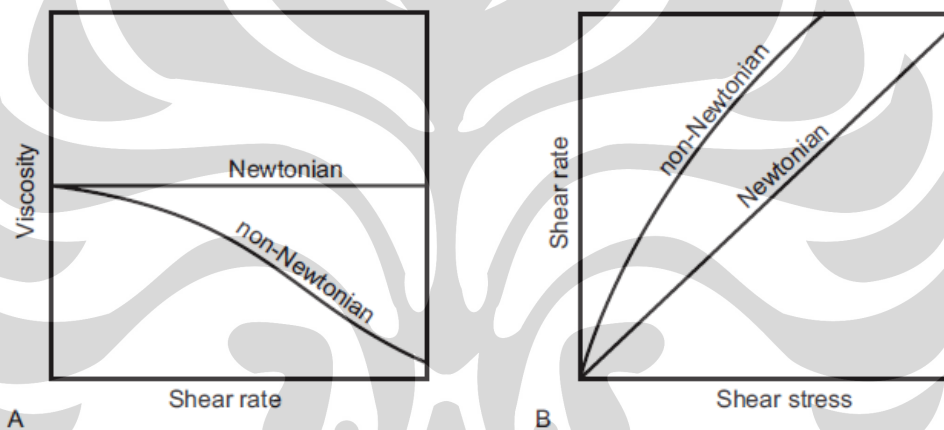
Aditif indeks viskositas berperan dalam meningkatkan viskositas minyak lumas. Viskositas merupakan suatu tahanan aliran fluida atau gesekan internal antara molekul cairan. Model lapisan paralel fluida secara molekular pada Gambar 2.1 memberikan penjelasan yang jelas tentang viskositas.



Gambar 2.1 Penjelasan mekanisme viskositas

Berdasarkan Gambar 2.1, setiap lapisan fluida akan bergerak searah dengan gaya gesekan jika lapisan fluida ini dikenakan gaya geser. Lapisan di

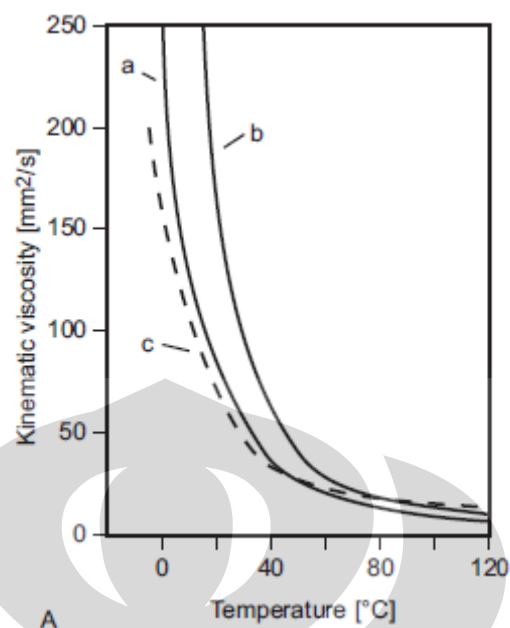
bagian atas bergerak lebih cepat daripada lapisan pada bagian bawah akibat adanya gaya molekular yang bertindak sebagai penahan antara setiap lapisan. Berdasarkan hukum aliran viskos, Newton menyatakan hubungan antara gaya-gaya mekanika suatu aliran sebagai berikut: viskositas fluida adalah konstan sehubungan dengan gesekannya (*shear*). Fluida yang mengikuti hukum ini dinamakan fluida Newtonian (*Newtonian fluids*). Perbedaan karakteristik fluida Newtonian dan non-Newtonian ditunjukkan pada Gambar 2.2. Gambar A menunjukkan hubungan tekanan gesekan (*shear stress*) terhadap viskositas, sedangkan Gambar B menunjukkan hubungan tekanan gesekan terhadap laju gesekan (*shear rate*).



Gambar 2.2 Karakteristik aliran minyak lumpur Newtonian dan non-Newtonian

2.2.1 Pengaruh Temperatur pada viskositas (Perilaku V-T)

Viskositas minyak lumpur dipengaruhi oleh temperatur, kenaikan viskositas dapat terjadi apabila temperatur turun dan akan berkurang apabila temperatur naik. Gambar 2.3 menunjukkan pengaruh temperatur pada sistem linear untuk senyawa *naphtenic oil*, *paraffinic HC-II/ Group III-oil*, dan *rapeseed oil*.

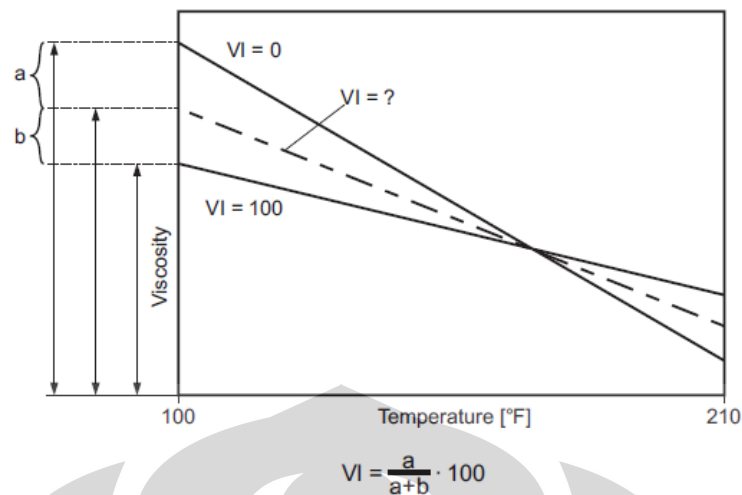


Gambar 2.3 Perilaku V-T pada berbagai jenis minyak: a. *paraffinic base oil*; b. *naphthenic base oil*; dan c. *rapeseed oil*

2.3 Indeks Viskositas

Untuk menentukan seberapa besar perubahan viskositas minyak lumas akibat adanya perubahan temperatur, dapat kita lihat dari nilai indeks viskositasnya. Indeks viskositas merupakan angka empirik yang menunjukkan penurunan viskositas minyak ketika temperatur meningkat. Minyak lumas berindeks viskositas tinggi memiliki viskositas yang sesuai saat temperatur ekstrem, atau dengan kata lain viskositas minyak lumas tidak terlalu kental dan tidak terlalu encer. Karakteristik yang demikian dapat diperoleh dengan pemurnian. Akan tetapi saat ini lebih dipilih penggunaan minyak *multigrade* ketika temperatur ekstrem, yaitu dengan menambahkan polimer tertentu yang berfungsi sebagai peningkat indeks viskositas (Mang, 2007).

Nilai indeks viskositas pertama kali diperkenalkan di Amerika pada tahun 1928. Penentuan nilai indeks viskositas tersebut berdasarkan temperatur tertinggi ($VI = 100$) dan terkecil ($VI = 0$) pada minyak dasar yang berasal dari Amerika. Nilai indeks viskositas minyak lumas diukur berdasarkan viskositas kinematiknya, salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengukur indeks viskositas minyak lumas adalah dengan menggunakan ASTM D2270. Hubungan antara temperatur terhadap viskositas ditampilkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hubungan viskositas terhadap temperatur (VI-T)

Berdasarkan Gambar 2.4, hubungan antara VI-T pada temperatur rendah yang digambarkan dengan garis lurus VI-T sering tidak tepat. Penggambaran tersebut tidak dapat menjelaskan minyak dasar yang dapat mengalami penebalan akibat kristalisasi beberapa komponen saat temperatur rendah seperti pada paraffin. Tabel 2.1 menunjukkan beragam karakterisasi VI-T untuk sejumlah minyak.

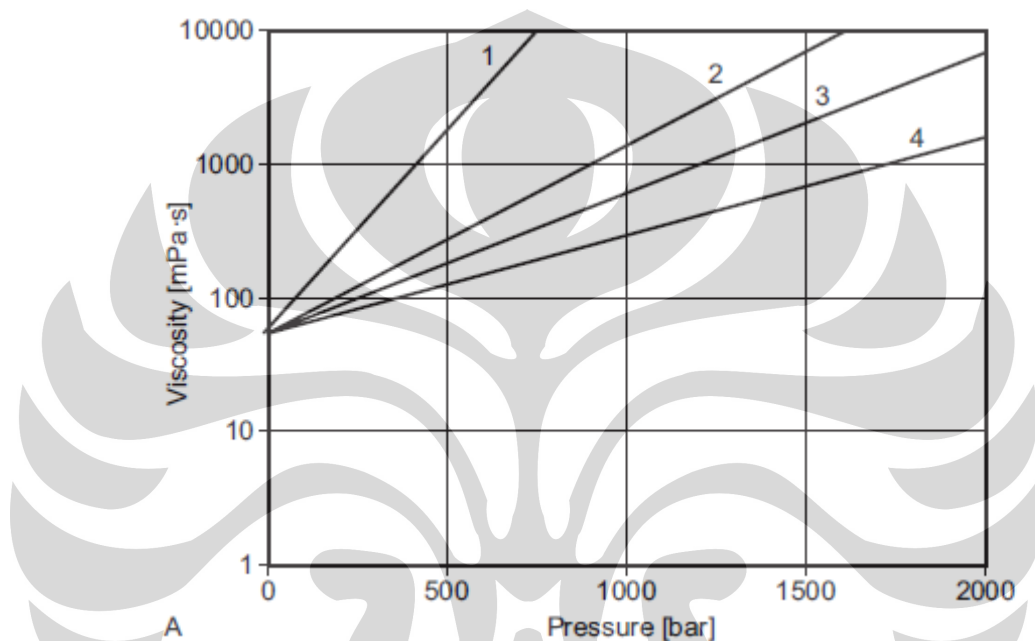
Tabel 2.1 Karakteristik VI-T pada berbagai minyak

	Kinematic viscosity ($\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$)		Viscosity index (VI)	m Constant	Viscosity temperature constant (VTC)
	40 °C	100 °C			
<i>Naphthenic spindle oil</i>	30	4.24	40	4.05	0.847
<i>Paraffinic spindle oil</i>	30	5.23	105	3.68	0.819
<i>Medium solvent extract</i>	120	8.0	-50	4.51	0.939
<i>Medium polyglycol</i>	120	20.9	200	2.53	0.826
<i>Medium silicone oil</i>	120	50.0	424	1.14	0.583
<i>Multigrade motor oil (SAE 10W-30)</i>	70	11.1	165	2.82	0.841
<i>Ester oil</i>	30	5.81	140	3.40	0.806

2.3.1 Hubungan Tekanan-Viskositas

Tekanan biasanya akan menaikkan viskositas minyak lumas apabila tekanan yang diberikan pada minyak pelumas tersebut cukup tinggi. Hubungan antara tekanan dan viskositas sangat bergantung pada struktur kimia minyak

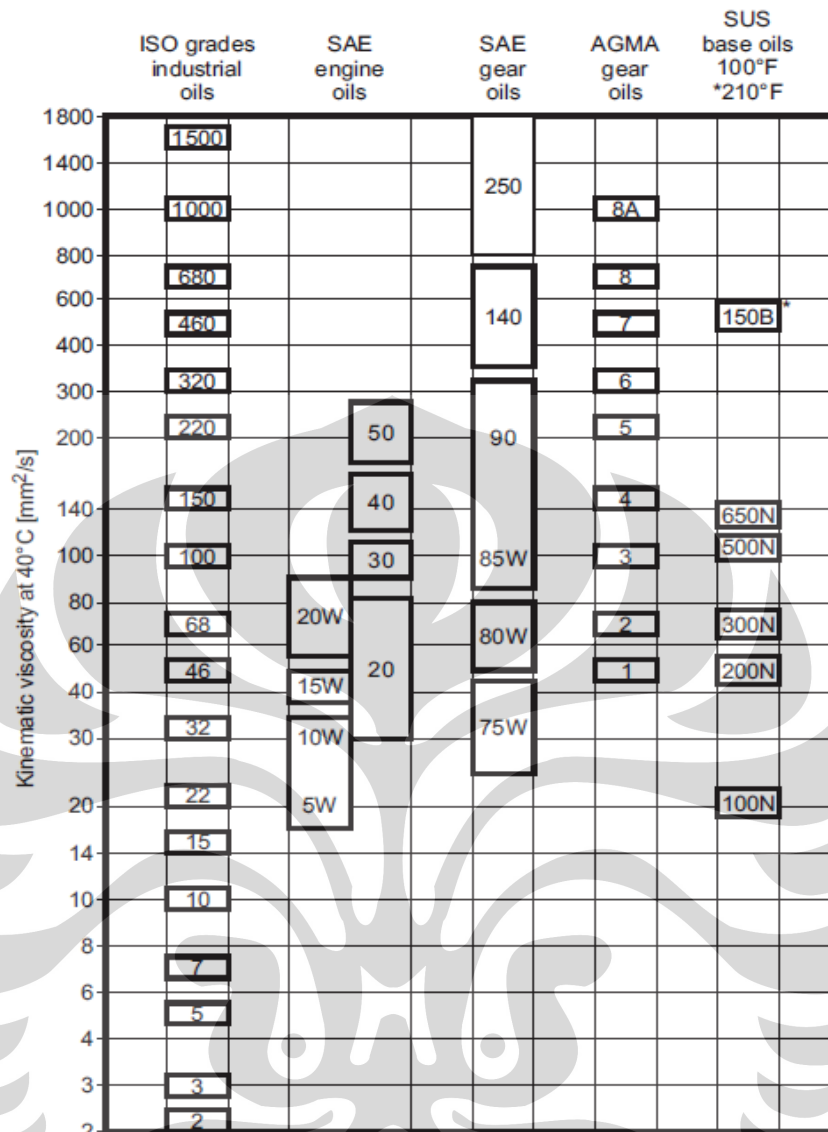
lumas sehingga tidak ada batasan umum yang sesuai. Gambar 2.5 menunjukkan perubahan viskositas terhadap tekanan untuk sejumlah minyak dengan struktur kimia yang berbeda. Baru-baru ini ditunjukkan bahwa VII memiliki pengaruh penting pada perilaku viskositas-tekanan, yaitu berpengaruh pada ketebalan lapisan minyak lumas saat tekanan kontak tinggi dibawah kondisi elasto-hidrodinamik (EHD).



Gambar 2.5 Peningkatan viskositas terhadap tekanan, 1. Minyak aromatik, 2. Minyak naftanik, 3. Minyak parrafinik, 4. *Biodegradable polyester*

2.3.2 Penggolongan Viskositas

Berdasarkan standar ISO 3448, viskositas digolongkan menjadi 18 golongan dan berkisar antara 2 hingga $2,5 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$. Selain ISO, penggolongan viskositas juga diterapkan dalam standar nasional seperti ASTM atau DIN. Akan tetapi, penggolongan viskositas tidak digunakan pada semua industri minyak lumas. Penggolongan viskositas lainnya antara lain: minyak mesin, minyak porsneling otomotif, minyak porsneling pabrikan, dan minyak dasar. Gambar 2.6 menunjukkan perbandingan beberapa penggolongan minyak lumas pada berbagai aplikasi.



Gambar 2.6 Perbandingan penggolongan viskositas untuk berbagai aplikasi

2.3.3 Penggambaran Fisik *Viscosity Index Improver* (VII)

Indeks viskositas adalah angka yang menyatakan besar tahanan viskositas minyak pelumas terhadap perubahan suhu. Viskositas merupakan karakteristik dasar yang dimiliki oleh setiap fluida. Viskositas kinematik fluida bergantung pada parameter tekanan dan temperatur. Menurut Walter, efek temperatur pada fluida dapat dijelaskan melalui logaritmik ganda, dengan gradien yang menyatakan indeks viskositas. Indeks viskositas dinyatakan secara tepat dengan gradien antara 40 °C sampai 100 °C. Indeks viskositas minyak bergantung pada sumber asal minyak lumas. Pada umumnya, minyak dasar yang telah dimurnikan

secara konvensional memiliki indeks viskositas antara 80 sampai 120 poin, sedangkan larutan pemotong parafin Eropa tengah memiliki indeks viskositas sekitar 100 poin. Sedangkan di Indonesia, syarat indeks viskositas suatu minyak lumas dasar sebesar 90 poin.

Indeks viskositas yang tinggi diharapkan dapat diperoleh dengan mencampurkan fluida yang memiliki kesesuaian indeks viskositas fluida. Pada umumnya kebutuhan viskositas pada minyak lumas dapat dipenuhi dengan penambahan aditif peningkat indeks viskositas (VII). Molekul-molekul VII digambarkan seperti rantai molekul yang kelarutannya bergantung pada panjang rantai, komposisi, dan struktur kimia molekul. Menurut aturan, kelarutan minyak dasar (*base oil*) pada rantai polimer ini akan menurun ketika temperatur berkurang dan akan meningkat ketika temperatur meningkat. Peningkatan viskositas yang disebabkan oleh VII akan meningkatkan indeks viskositas.

Aditif peningkat indeks viskositas atau VII merupakan aditif yang memberikan pengaruh pada sifat reologikal minyak, meningkatkan viskositas pada temperatur tinggi tanpa mengurangi sifat lainnya, terutama kemampuan mengalir dan pemompaan pada temperatur rendah, memiliki kestabilan termal dan kimia pada temperatur rendah, serta tidak mengganggu pengaruh aditif lain. VII banyak digunakan dalam minyak mesin, hidrolik, porsneling, dan pada minyak lumas lain.

VII biasanya berupa polimer atau kopolimer berantai panjang, non kristalin, dengan berbagai komposisi kimia dan memiliki jangkauan berat molekul mulai dari lima ribu hingga dua juta. Tidak seperti senyawa murni dengan berat molekul rendah, polimer terdiri dari makro molekul dengan berat molekul bervariasi. Berat molekul rata-rata (\bar{M}_n) dan masa molekul rata-rata (\bar{M}_w) berpengaruh penting pada berat molekul suatu polimer, sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$\bar{M}_n = \frac{\sum_i M_i N_i}{\sum_i N_i} \text{ dan } \bar{M}_w = \frac{\sum_i M_i^2 N_i}{\sum_i M_i N_i} \quad (2.1)$$

dengan N_i adalah jumlah molekul dalam sistem dan M_i adalah berat molekul. Beberapa VII yang berasal dari polimer dan telah diperdagangkan ditampilkan pada Tabel 2.2 : poliisobutena, polimetakrila yakni kopolimer berbagai rantai alkil

metakrilat, poliakrilat yakni kopolimer berbagai rantai alkil akrilat, isoprena (Gambar 2.10), dan vinil asetat.

Tabel 2.2 Polimer yang telah digunakan sebagai VII

No	Nama	Gambar Struktur	Keterangan
1	Poliisobutena	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n \quad (\text{I})$	R merupakan radikal alkil C ₈ - C ₁₂ .
2	Ester metakrilat (polimetakrilat atau PMA) (III)	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{COOR}_1 \end{array} \right]_n \left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{COOR}_2 \end{array} \right]_m \quad (\text{III})$	\bar{M}_w sekitar $6,0 \times 10^4$ sampai $1,0 \times 10^6$.
3	Poliakrilat (PA) (IV)	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{COOR}_1 \end{array} \right]_n \left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{COOR}_2 \end{array} \right]_m \quad (\text{IV})$	R ₁ dan R ₂ merupakan radikal alifatik C ₅ - C ₂₀
4	Isoprena (VII) terhidrogenasi	$\left[\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n \left[\begin{array}{c} \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n \left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ (\text{CH}_2)_4 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_m \quad (\text{VII})$	\bar{M}_w sekitar 10^5
5	Vinil asetat (VIII)	$\left[\begin{array}{c} \text{COOR} \\ \\ \text{CH} - \text{CH} \\ \\ \text{COOR} \end{array} \right]_n \left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{COOCH}_3 \end{array} \right]_m \quad (\text{VIII})$	

Perbedaan antara (\bar{M}_n) dan (\bar{M}_w) menentukan distribusi berat molekul relatif, yang ditunjukkan dalam persamaan berikut:



$$U = \frac{\bar{M}_w}{\bar{M}_n} - 1 \quad (2.2)$$

Konsentrasi polimer di dalam produk komersial bergantung pada kestabilan polimer di dalam minyak. Polimetakrilat yang telah komersial mengandung 30-80% polimer aktif, kopolimer alkena hingga mencapai 18% dan

kopolimer stirena-butadiena hanya 5 sampai 7%. Viskositas minyak pelarut juga memiliki peranan penting. Kopolimer stirena sebagian besar tersedia dalam keadaan padat untuk dilarutkan langsung ke dalam minyak sehingga mengembang ketika temperatur meningkat (sekitar 130 – 150 °C).

2.3.4 Struktur dan sifat kimia VII

Para ahli membedakan *viscosity modifiers* berdasarkan struktur molekul, komposisi dan sifat kimia alami monomer-monomer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Polymer type	General structure	Chemical type
Homopolymer	A-A-A-A-A-A-A-A-A	PIB, PAO
Random	A-B-A-B-B-A-B-A-A-B	PMA, OCP
Alternating	A-B-A-B-A-B-A-B-A-B	MSC (Maleate Styrene Copolymer)
Random Block	A-A-A-B-B-A-A-B-B-B	SBR, SIP, OCP
Biblock (A-B block)	A-A-A-A-B-B-B-B-B	SIP
Tapered Block		SBR
Graft copolymers	A-B-A-B-B-A-B-A-A-B X X	OCP-g-PMA or SBR-g-PMA
Star polymers		SBR, OCP

Gambar 2.7 Jenis polimer, struktur rantai, dan susunan monomer aditif peningkat indeks viskositas (VII)

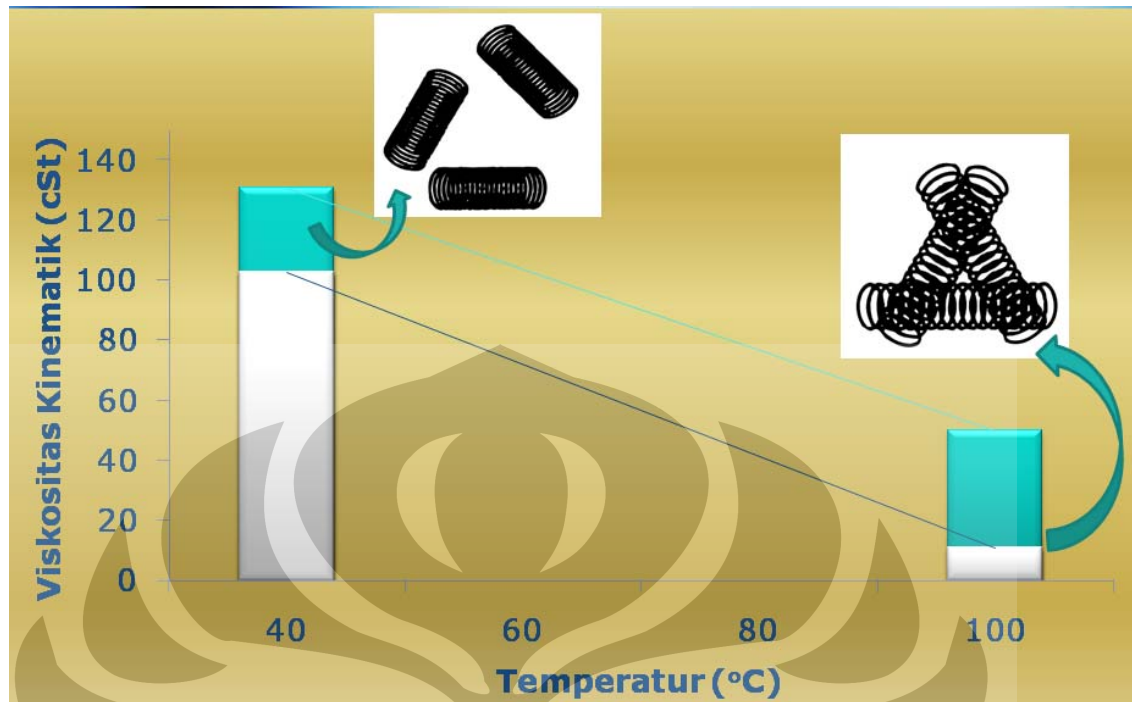
2.3.5 Mekanisme Peningkatan Indeks Viskositas

Pada saat temperatur rendah, rantai molekul aditif peningkat indeks viskositas (VII) akan membentuk gulungan dengan volume kecil akibat kelarutannya yang rendah dalam minyak lumas. Ketika temperatur ditingkatkan, molekul ini akan mengembang dan tidak kusut sehingga meningkatkan viskositas saat temperatur tinggi (Selby, 1958). Mekanisme peningkatan indeks viskositas diperlihatkan pada Gambar 2.8.



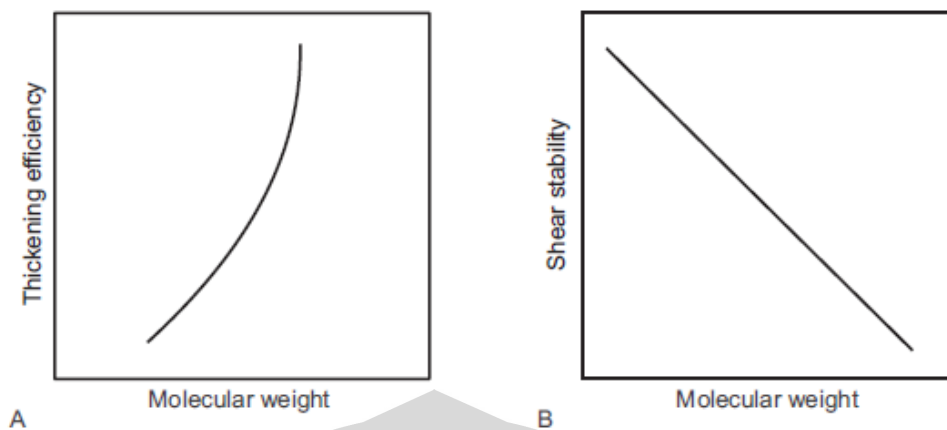
Gambar 2.8 Mekanisme aditif peningkat indeks viskositas pada minyak lumas ketika (a) temperatur rendah dan (b) temperatur tinggi.

Kinerja polimer yang berperan sebagai peningkat indeks viskositas dapat dianalogikan seperti per. Berdasarkan Gambar 2.9, penambahan aditif peningkat indeks viskositas (VII) dapat meningkatkan indeks viskositas minyak lumas. Pada saat temperatur rendah, polimer akan meningkatkan viskositas minyak lumas walaupun polimer tersebut belum mengembang. Ketika terjadi kenaikan suhu, maka polimer akan mengembang seperti per yang meregang sehingga menyebabkan viskositas minyak lumas meningkat. Indeks viskositas minyak lumas akan semakin baik apabila hanya terjadi sedikit perubahan viskositas ketika terjadi perubahan suhu. Gradien yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 menunjukkan bahwa penambahan VII menyebabkan gradien garis semakin kecil, dengan kata lain perubahan viskositas terhadap temperatur semakin sedikit.



Gambar 2.9 Efek penambahan indeks viskositas pada minyak lumas

Hubungan antara berat molekul terhadap efisiensi pengentalan dan kestabilan aditif peningkat indeks viskositas (VII) ditunjukkan pada Gambar 2.10. Gambar 2.10 A memperlihatkan bahwa semakin bertambahnya berat molekul maka efisiensi pengentalan akan semakin meningkat. Sedangkan Gambar 2.10 B memperlihatkan bahwa peningkatan berat molekul akan mengurangi kestabilan geseran (shear) jika konsentrasi polimer dipertahankan konstan. Pengaruh yang diakibatkan secara mekanik dan termal adalah pengurangan rantai. Senyawa berantai panjang dengan gesekan tinggi cenderung akan mengalami kerusakan mekanik. Sejumlah molekul dengan berbagai ukuran yang berbeda akan terbentuk dan bergantung pada jenis dan durasi beban.



Gambar 2.10 Efisiensi pengentalan dan kestabilan VII

2.3.6 Efek Pengentalan Polimer

Ketika polimer ditambahkan kedalam pelarut minyak dan terjadi peningkatan suhu yang bervariasi, makromolekul polimer seolah-olah berbentuk kelompok-kelompok acak. Hal itu bergantung pada sifat alami minyak, temperatur larutan, struktur polimer, dan kekuatan rantai polimer. Polimer yang kurang kuat atau yang memiliki rantai pendek, lebih fleksibel, cenderung untuk membentuk kelompok-kelompok. Kekuatan polimer meningkat dengan bertambahnya cabang struktur dari poliolefin lalu polistirena sampai poliialkylmetakrilat, seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Panjang bagian rantai polimer (Kuhn)

Polymer	Structure	Length (Å)
Polyethylene	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	14.5
Polypropylene	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$	15.2
Poly-(<i>n</i> -pentene-1)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_3\text{H}_7}{\text{CH}}-$	20.4
Polystyrene	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$	21.6
Polyalkyl methacrylate	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOC}_n\text{H}_{2n+1}}{\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}}-$	~30

2.3.7 Pengaruh *Base Oil*

Kepolaran minyak yang tinggi dari jenis sikloalkanik atau aromatik lebih sesuai untuk aditif peningkat indeks viskositas yang berupa polimetakrilat, sedangkan minyak alkanik dengan polaritas rendah (terutama PAO) sesuai untuk poliolefin. Kekuatan pengentalan PMA lebih tinggi dalam minyak siklik dibandingkan dengan poliolefin dalam minyak alkanik. Minyak komersial yang saat ini tersedia sesuai dengan polimer komersial yang ada.

2.3.8 Pengaruh *Base Oil* dan Komposisi Polimer

Minyak dasar (*base oil*) akan mempengaruhi kekuatan melarut dan kesesuaian dalam sistem minyak dengan polimer. Sedangkan kekuatan pengentalan dipengaruhi oleh konfigurasi dan panjang R. Kekuatan pengentalan ini akan meningkat dengan bertambahnya panjang rantai alkil dan jumlah cabang. Polimer ester dengan alkil pendek memiliki pengaruh lebih besar pada peningkat indeks viskositas karena kurang stabil dalam minyak pada temperatur rendah. Polimer hidrokarbon biasanya berbentuk kristalin dan amorf. Hanya polimer amorph berantai lurus yang larut dalam minyak mineral dan minyak sintetik dibawah kondisi operasional konvensional yang dapat digunakan sebagai peningkat viskositas dan indeks viskositas.

2.3.9 Perubahan Viskositas Akibat *Shear Stress*

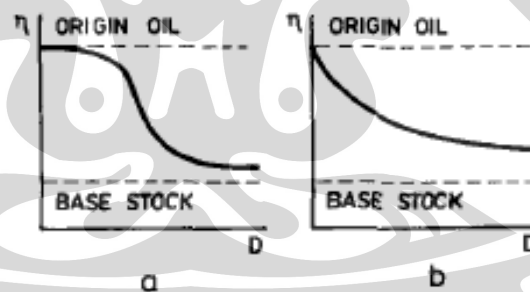
Minyak yang mengandung aditif polimer dan kehilangan sifat alami Newtonian akan menjadi pseudoplastik, pada kasus ideal maka viskositas berkebalikan dengan perubahan tekanan gesekan (*shear stress*) dan laju gesekan (*shear rate*). Jenis polimer berbeda menunjukkan perilaku berbeda di dalam minyak.

Pengetahuan terhadap penurunan viskositas dalam laju gesekan sangat penting untuk polimer VII yang digunakan dalam minyak dengan tekanan gesekan tinggi, seperti minyak mesin, hidrolik, dan porsneling karena viskositas pada gesekan tinggi akan turun dibawah batas kritis untuk meningkatkan pelicinan (sekitar $5 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) atau dibawah batas kehancuran (sekitar $2 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). Penurunan sementara dalam viskositas minyak yang mengandung aditif polimer saat tekanan

gesekan meningkat adalah hasil dari dua faktor yang bertindak secara bersamaan, yaitu orientasi molekul polimer dan pemanasan minyak oleh friksi internal. Orientasi molekular yang dipengaruhi oleh sifat kimia polimer, merupakan faktor dominan pada laju gesekan rendah. Saat laju gesekan tinggi, perubahan molekular disertai dengan peningkatan temperatur dalam minyak yang menjadi pengaruh dominan.

2.3.10 Stabilitas mekanik

Kehilangan viskositas sementara dalam minyak yang mengandung VII polimerik harus dibedakan dari kehilangan viskositas permanen yang disebabkan oleh depolimerisasi parsial mekanik yang diakibatkan oleh pengaruh tekanan gesekan (*shear stress*) atau oleh termo oksidasi polimer saat kenaikan temperatur dan adanya kehadiran oksigen, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Gambar a merupakan hasil ketahanan mekanik untuk gesekan (*shear*) dan Gambar b ketahanan untuk oksidasi dan efek pemanasan, misalnya kestabilan termo oksidatif polimer dalam minyak.



Gambar 2.11 Perbedaan antara kehilangan viskositas

Stabilitas mekanik dipengaruhi oleh tekanan minyak lumas, yang berupa fungsi dari tekanan gesekan dan laju gesekan, gesekan disebabkan oleh frekuensi perubahan tegangan, oleh ketahanan aliran yang bergantung pada temperatur dan viskositas minyak dasar, konsentrasi dan berat rata-rata molekul polimer, serta terutama oleh jenis polimer. Semua pengaruh yang cenderung meningkatkan viskositas aditif yang mengandung minyak juga cenderung untuk mengurangi kestabilan mekanik. Selain itu, ukuran molekul merupakan hal yang paling

penting karena semakin besar ukuran molekul maka kestabilan mekanik akan semakin kecil. Sebagai contoh, jika polimethakrilat dengan berat molekul rata-rata \bar{M}_w mencapai 100,000 terdegradasi sekitar 5%, pada \bar{M}_w 100,000 sampai 200,000 terdegradasi sebanyak 10%, dan pada \bar{M}_w lebih dari 400,000 akan terdegradasi lebih dari 20%.

Stabilitas mekanik polimer juga dipengaruhi oleh ukuran distribusi polimer, yang digambarkan oleh perbandingan indeks distribusi \bar{M}_w/\bar{M}_n . Nilai perbandingan yang kecil menunjukkan distribusi ukuran molekul kecil dan kestabilan mekanik tinggi. Kopolimer stirena-diena memiliki indeks dispersi rendah, antara 1 dan 2. Kopolimer etilena-propilena dan polimetakrilat memiliki indeks dispersi paling tinggi, hingga mencapai 10. Molekul yang lebih besar akan lebih terdegradasi pertama kali sehingga dispersi menjadi kecil dan perbandingan \bar{M}_w/\bar{M}_n lebih kecil. Kestabilan mekanik menurun dengan meningkatnya panjang rantai alkil dalam polimer demikian juga dengan polimer ester. Selain itu, adanya ikatan silang akan menurunkan kestabilan mekanik.

Minyak dasar juga memiliki pengaruh, kestabilan mekanik berkurang dalam pelarut yang baik. Perlu diperhatikan bahwa faktor tersebut yang mengurangi kestabilan mekanik biasanya meningkatkan kekuatan pengentalan polimer. Pemilihan polimer yang sesuai merupakan hasil pertimbangan kedua sifat ini. Kestabilan mekanik polimer atau minyak pengental dengan polimer dapat ditunjukkan oleh *Shear Stability Index* (SSI) dalam persamaan berikut:

$$SSI = \frac{v_1 - v_2}{v_1 - v_0} \cdot 100 \quad (2.3)$$

Viskositas biasanya ditunjukkan dalam $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, dengan:

v_1 adalah minyak yang mengandung polimer pada awal percobaan,

v_2 adalah minyak yang mengandung polimer pada akhir percobaan,

v_0 adalah viskositas minyak dasar.

Semakin rendah SSI, maka produk akan memiliki gesekan mekanik lebih stabil. Kestabilan mekanik polimer yang mengandung minyak dapat ditentukan dengan uji laboratorium dan yang biasa digunakan adalah uji injektor Bosch.

2.3.11 Kestabilan termal dan termooksidasi

Pengaruh termooksidasi tidak hanya memecahkan molekul polimer tetapi juga oksidasinya, sehingga terjadi proses oksidasi dan kondensasi. Ini biasanya menyebabkan viskositas meningkat. Bagaimanapun juga, kekompleksan kondisi akan tergantung pada sifat alami minyak dasar, jenis dan konsentrasi aditif, jenis dan operasi mesin, dan lain-lain. Ketidakstabilan termooksidatif VII pada konsentrasi tinggi dapat menjadi penyebab utama penurunan kinerja minyak mesin, yang berupa *piston fouling*.

2.3.12 Karakteristik temperatur rendah

Faktor penting dalam mengevaluasi aditif peningkat indeks viskositas (VII) adalah pengaruh VII pada perubahan viskositas minyak pada temperatur rendah dan laju gesekan. Semua polimer VII meningkatkan viskositas minyak pada temperatur rendah. Pada tekanan gesekan rendah, perbedaan kekuatan pengentalan polimer tertentu pada temperatur rendah bisa sangat besar. Bagaimanapun juga, nilai ini cenderung datar dengan meningkatnya tekanan gesekan karena perbedaan kelemahan untuk tekanan gesekan pada berbagai polimer yang berbeda sehingga menunjukkan perbedaan dalam penurunan viskositas sementara.

Kekuatan pengentalan setiap polimer pada temperatur rendah bergantung pada berat molekul dan garis distribusi berat molekul. Selain itu juga bergantung pada kopolimer, perbandingan konsentrasi setiap komponen monomer, dan efisiensi penambahan dispersan titik tuang.

2.4 Stirena

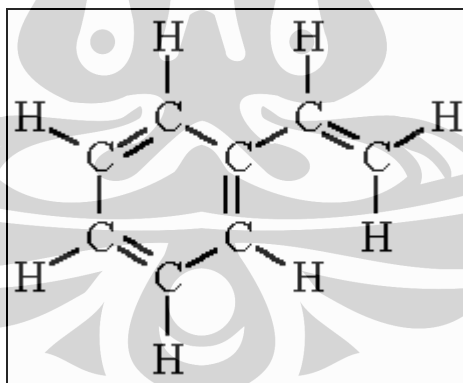
Stirena adalah monomer dikenal dengan nama *Vinyl Benzene*, *Phenylethylene* dan *cinnaneme*. Stirena monomer merupakan salah satu senyawa kimia organik yang mempunyai rumus molekul $C_6H_5CHCH_2$. Beberapa sifat fisik yang dimiliki oleh stirena dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan struktur molekul stirena ditampilkan pada Gambar 2.12.

Berdasarkan data sifat fisik pada Tabel 2.4, dapat dikatakan bahwa stirena merupakan senyawa hidrokarbon tidak jenuh berbentuk cair. Selain itu, stirena mudah terpolimerisasi pada suhu tinggi dengan bantuan inisiator. Reaksi

polimerisasi ini dapat dilakukan dalam bentuk monomer murni (bulk), larutan, emulsi maupun suspensi.

Tabel 2.4 Sifat fisik Stirena

No	Sifat Fisik	Keterangan
1	Warna	Bening/ tidak berwarna
2	Wujud	Cair, menyerupai minyak
3	Bau	Berbau khas aromatik
4	<i>Spesific gravity</i>	7,55 lb/ gallon pada suhu 20 °C
5	<i>Melting Point</i> (MP)	-30,6 °C
6	<i>Boiling Point</i> (BP)	145,2 °C
7	<i>Flash Point</i>	31 °C
8	<i>Density</i>	Dalam fasa uap, (udara = 1), sebesar 360
9	<i>Explosive limits</i> (% by volume in air)	-6,1 %
10	Kelarutan	Larut dalam etanol atau eter, tidak larut dalam air

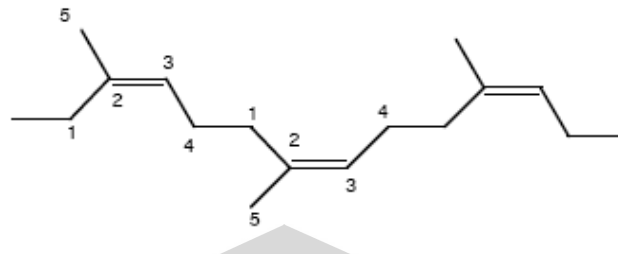


Gambar 2.12 Struktur ikatan stirena

2.5 Karet Alam

Lateks atau karet alam dapat berasal dari tanaman *Hevea brasiliensis*. Lateks yang berasal dari tanaman *Havea brasiliensis* mengandung sekitar 35% partikel karet berupa hidrokarbon yang terdiri dari 60% poly (1,4 cis isoprena),

40% air dan beberapa komponen lain. Struktur ikatan yang terdapat pada lateks ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Struktur ikatan lateks (1,4 cis isoprena)

Pada gambar diatas diperlihatkan struktur ikatan 1,4 cis isoprena yang terdapat pada lateks yang berasal dari tanaman *Havea brasiliensis*. Cis dan trans menggambarkan posisi atom karbon berdasarkan karbon yang berikatan rangkap. Karet alam merupakan contoh isomer ruang yang memiliki struktur cis dan trans. Partikel lateks atau karet alam memiliki diameter antara 0.1 – 1.0 μm yang diselimuti lapisan protein dan fosfolipid. Adapun komposisi kimia lateks *Havea brasiliensis* ditunjukkan pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Komposisi kimia Lateks *Hevea brasiliensis*

Komponen	Kadar (%)
Karet (hidrokarbon karet)	35.62
Protein	2.07
Resin (Ekstrak Aseton)	1.65
Gula	0.34
Abu	0.7
Air	59.62

Berdasarkan data komposisi kimia diatas, dapat diketahui bahwa komponen penyusun utama lateks yang berasal dari tanaman *Havea brasiliensis* adalah air dan hidrokarbon. Sedangkan komponen-komponen seperti protein, resin, gula, dan abu memiliki jumlah yang sangat kecil dalam lateks.

Struktur dasar karet alam merupakan rantai linear dari unit isoprene (C_5H_9) yang bergabung secara ikatan kepala ke ekor membentuk polimer (C_5H_8) dengan n adalah derajat polimerisasi yang menyatakan banyaknya monomer yang berpolimerisasi. Derajat polimerisasi karet alam berkisar antara 3000 sampai 15000. Molekul karet alam memiliki bobot molekul antara 1-2 juta dan mengandung sekitar 15000 – 20000 ikatan tak jenuh. Karet alam mempunyai titik gelas $-72\text{ }^\circ\text{C}$ dan temperatur leleh $308,6\text{ }^\circ\text{C}$. Pada suhu kamar, karet alam tidak berbentuk kristal, keras dan juga tidak berbentuk cairan, akan tetapi berupa padatan yang memiliki fleksibilitas, elastisitas dan kelembutan. Hal inilah yang membedakan karet alam dengan benda padat lainnya.

2.6 Modifikasi Karet Alam

Menurut Blow dan Hepburn, keuntungan dalam penggunaan karet alam sebagai bahan dasar pembuatan barang jadi karet adalah adanya beberapa keunggulan yang dimiliki oleh karet alam, seperti kepegasan pantul yang baik, tegangan putus yang tinggi, daya lengket yang istimewa, fleksibilitas pada suhu rendah yang baik, ketahanan sobek yang sangat baik dan ketahanan kikis yang baik. Sedangkan kekurangan karet alam yang menjadi batasan dalam penggunaannya di berbagai bidang adalah ketahanan yang rendah terhadap minyak dan pelarut hidrokarbon. Selain itu, karet alam juga tidak tahan terhadap panas, ozon, dan sinar matahari yang dapat mempengaruhi karakteristik mekanisnya. Hal inilah yang mendorong upaya untuk memodifikasi karet alam menjadi bahan yang memiliki kelemahan seminimal mungkin.

Karet alam merupakan senyawa yang memiliki jumlah ikatan rangkap yang tinggi. Adanya ikatan rangkap ini memungkinkan berlangsungnya berbagai reaksi kimia pada karet alam. Secara garis besar, modifikasi karet alam dapat digolongkan ke dalam berbagai kategori. (1) Merubah molekul karet alam tanpa penambahan atau pengikatan senyawa kimia lain, seperti isomerisasi cis-trans, kristalisasi, dan depolimerisasi. (2) Penempelan grup molekul baru sepanjang rantai molekul karet yang diharapkan. (3) Pencangkokkan rantai polimer lain pada molekul karet alam.

2.7 Polimerisasi

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit-unit berulang sederhana yang disebut dengan monomer. Nama ini diturunkan dari bahasa Yunani, yaitu *Poly* yang berarti “banyak”, dan *mer* yang berarti “bagian”. Jika hanya ada beberapa unit monomer yang bergabung bersama, akan terbentuk oligomer yaitu polimer dengan berat molekul rendah. Derajat polimerisasi dinyatakan sebagai jumlah total unit-unit terstruktur, dan berkaitan dengan panjang rantai dan berat molekul. Rantai polimer dapat berupa rantai lurus atau rantai bercabang dan dapat bergabung melalui sambungan silang membentuk polimer bersambung silang. Apabila sambungan silang terjadi ke berbagai arah maka terbentuk polimer sambung silang tiga dimensi yang sering disebut polimer jaringan.

Polimer biasa dikelompokkan sebagai polimer adisi dan polimer kondensasi. Polimer adisi memiliki atom-atom yang sama seperti monomer yang tersusun secara berulang dalam jumlah banyak, sedangkan polimer kondensasi mengandung atom-atom yang lebih sedikit karena terbentuknya produk sampingan selama proses polimerisasi.

Polimerisasi kondensasi adalah pembentukan polimer karena reaksi unit-unit fungsional dan disertai dengan pelepasan sejumlah molekul sederhana seperti Nitrogen, Hidrogen, Air, dan lain-lain. Polimerisasi terjadi jika beberapa molekul kecil bergabung menjadi molekul besar melalui reaksi kondensasi yang disertai dengan pembentukan air. Biasanya pada proses ini akan terjadi dimer (dua monomer bergabung), trimer (tiga monomer bergabung), tetramer (empat monomer bergabung), dan seterusnya. Berhentinya reaksi ini tergantung pada gugus fungsi monomer yang dimilikinya. Jika monomer yang memiliki satu gugus fungsi direaksikan dengan monomer yang memiliki satu gugus fungsi, maka akan lebih cepat berhenti daripada direaksikan dengan monomer yang mempunyai dua gugus fungsi atau lebih. Hal ini disebabkan oleh adanya dua atau lebih gugus fungsi yang dapat membentuk polimer bercabang.

Polimerisasi adisi adalah reaksi pembentukan polimer yang melibatkan terjadinya pemecahan ikatan baik linear maupun siklis dan pembentukan antar molekul pereaksi tanpa disertai pelepasan molekul lain. Polimer dari hasil reaksi

polimerisasi berdasarkan jumlah jenis monomernya dapat diklasifikasikan sebagai homopolimer dan kopolimer. Homopolimer yaitu suatu polimer yang tersusun oleh hanya satu jenis monomer. Reaksi pembentukan homopolimer disebut homopolimerisasi. Sedangkan kopolimer adalah suatu polimer yang tersusun oleh dua atau lebih jenis monomer. Reaksi pembentukan kopolimer disebut kopolimerisasi.

Polimerisasi adisi biasanya disebabkan oleh reaksi rantai monomer yang berupa spesi reaktif. Spesi reaktif ini mengandung satu elektron tidak berpasangan yang disebut radikal bebas atau ion radikal bebas atau gabungan kedua ion sehingga terbentuk polimer. Mekanisme reaksi polimerisasi adisi terdiri dari tiga tahap yaitu inisiasi (pemicu), propagasi (perambatan pertumbuhan), dan terminasi (pengakhiran).

Adisi dalam suatu rantai molekul besar (makromolekul dua atau beberapa tipe monomer) dapat menghasilkan bermacam-macam produk yang dapat kita atur karakteristik fungsinya sebagai fungsi: macam monomer, perbandingan relatifnya dalam kopolimer, dan jenis pembentukan rantainya. Hal ini bergantung pada jenis monomer dan kondisi reaksi, kita dapat menghasilkan kopolimer dengan dasar rantai yang berbeda.

Kopolimer adalah polimer yang terdiri dari serangkaian polimer yang memiliki jenis yang berbeda. Kopolimerisasi dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan penempatan unit yang berada di sepanjang rantai. Setiap blok yang terdapat dalam rangkaian dapat terdiri dari beberapa blok sampai ribuan. Berikut ini adalah beberapa jenis variasi struktur kopolimer:

1. Kopolimer Random (Acak).

Jika susunan monomer A diselang oleh monomer B dengan jumlah yang naik secara statistik, jenis ini dapat dikatakan bipolimer, tripolimer, dan kuarke polimer.



Rumus umum: poly (A-Co-B).

2. Kopolimer Alternat (Berselang-seling).

Jika susunan monomer berselang seling secara teratur.



Rumus umum: poly (A-Alt-B).

3. Kopolimer Blok.

Jika susunan monomer-monomernya dalam suatu blok berbeda dengan blok lainnya.



Rumus umum: poly (A-Blok-B)

4. Kopolimerisasi Graft (Tempel).

Jika suatu kopolimer rantai utamanya terdiri dari satu monomer tertentu, sedangkan rantai cabangnya dari monomer lainnya.



Rumus umum: poly (A-Graft-B)

Kopolimerisasi tempel adalah proses penempelan suatu monomer pada rantai utama suatu polimer membentuk cabang polimer. Polimerisasi dapat dimulai dengan radiasi, sinar ultra violet, atau dengan senyawa kimia pada suatu peroksida. Kopolimer tempel secara umum dapat dibuat dengan dengan polimerisasi radikal bebas. Panjang serta banyaknya cabang polimer berbanding langsung dengan konsentrasi monomer, namun proses ini terbentuk pada homopolimer.

2.8 Mekanisme Kopolimerisasi

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk membuat blok kopolimerisasi, misalnya dengan menggunakan kopolimerisasi radikal dan metode penempelan. Metode penempelan merupakan suatu metode kopolimerisasi

monomer, misalkan monomer B, yang dimulai dengan mengambil monomer lain dari A (Paul Ramp, 1991).

Mekanisme kopolimerisasi analog dengan mekanisme homopolimerisasi, tetapi reaktivitas berbagai monomernya terhadap monomer-monomer lainnya bisa sangat bervariasi. Jika monomer A dan B bereaksi satu sama lain membentuk kopolimer, maka kopolimer yang dihasilkan seringkali memperlihatkan sifat yang sangat berbeda dari campuran fisik homopolimer A dan B. Kopolimer tempel dapat dihasilkan dengan memicu monomer B disertai adanya homopolimer dari monomer A.

Radikal bebas yang dihasilkan mengeluarkan atom-atom sepanjang rantai poli (A), sehingga menghasilkan sisi radikal pada rantai itu sendiri. Pada sisi radikal itu poli (B) tumbuh. Pada penelitian yang akan dilakukan, sebagai rantai utama (*back bone*) digunakan lateks karet alam, sedangkan monomernya adalah stirena. Pada proses tersebut diharapkan terjadi kopolimer dari lateks karet alam-stirena (LKA-g-stirena).

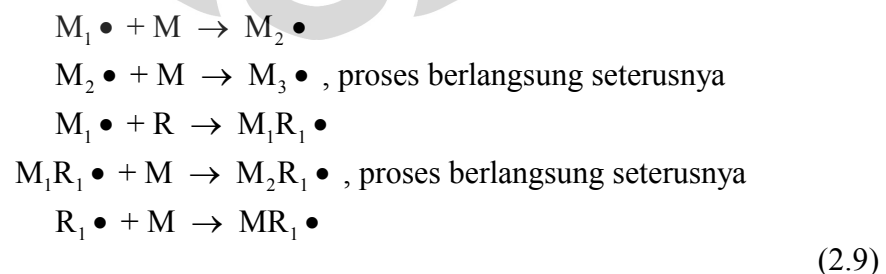
Ada tiga tahapan penting untuk proses kopolimerisasi yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi. Mekanisme kopolimerisasi monomer stirena pada lateks karet alam adalah sebagai berikut:

Tahap inisiasi:



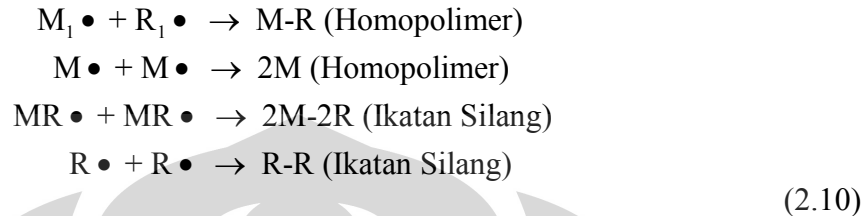
Pada tahap inisiasi, akan terbentuk radikal bebas baik dari stirena maupun dari benzoil peroksida.

Tahap propagasi:



Pada tahap propagsi, radikal-radikal yang dihasilkan oleh reaksi inisiasi akan tumbuh dari satu molekul kecil menjadi molekul yang lebih besar, atau dari rantai polimer menjadi rantai polimer yang lebih panjang.

Tahap terminasi:



Dengan,

M = Monomer stirena.

R = Molekul karet alam.

$M_1 \bullet$ = Radikal stirena.

M-M = Polistirena.

$MR \bullet$ = Radikal kopolimer LKA-stirena.

M-R = Kopolimer LKA-stirena.

R-R = Karet alam yang terikat silang.

Pada tahap terminasi, jika dua radikal bertemu maka akan terjadi reaksi terminasi. Radikal yang bertemu tersebut dapat berasal dari reaksi propagasi. Dengan adanya radikal tersebut maka reaksi akan berhenti. Antara radikal tumbuh tersebut, bila saling bertemu akan membentuk kopolimer. Skema tahapan proses kopolimerisasi LKA-Stirena dapat dilihat pada Lampiran 3.

2.9 Perancangan Reaktor Berpengaduk

Pengadukan merupakan sebuah proses yang menunjukkan gerakan yang memiliki pola sirkulasi pada suatu bahan di dalam bejana. Proses pengadukan digunakan untuk mengatasi tiga jenis permasalahan utama, yaitu untuk menghasilkan keseragaman statis atau dinamis pada sistem multifase komponen, untuk memfasilitasi perpindahan massa atau energi di antara bagian-bagian dari sistem yang tidak seragam, dan untuk menunjukkan perubahan fase pada sistem multikomponen dengan atau tanpa perubahan komposisi. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan reaktor berpengaduk, yaitu ukuran reaktor, jenis dan posisi pengaduk, dan kecepatan pengaduk.

2.9.1 Ukuran reaktor

Kapasitas reaktor yang dibutuhkan untuk menampung fluida menjadi salah satu pertimbangan dasar dalam perancangan wadah reaktor. Kapasitas wadah ditentukan dengan menggunakan rumus volum sebuah tangki silinder.

$$V = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot t \quad (2.11)$$

Dengan demikian, pertimbangan awal dalam proses perancangan reaktor adalah dengan mencari nilai diameter yang sama dengan ketinggian tanki untuk kapasitas fluida yang diinginkan dalam pengadukan dan pencampuran. Fluida dengan kapasitas tertentu ditempatkan pada sebuah wadah dengan besarnya diameter reaktor sama dengan ketinggian fluida. Rancangan ini ditujukan untuk mengoptimalkan kemampuan pengaduk untuk menggerakkan dan membuat pola aliran fluida yang merata ke seluruh bagian fluida dalam tangki. Hal inilah yang seringkali menyebabkan tangki yang digunakan harus dipesan khusus untuk memenuhi kriteria yang diinginkan.

2.9.2 Jenis dan posisi pengaduk

Pada umumnya terdapat tiga jenis pengaduk yang biasa digunakan, yaitu pengaduk baling-baling, pengaduk turbin, pengaduk dayung, dan pengaduk *helical ribbon*. Sedangkan untuk proses pengadukan, secara umum dilakukan dengan menempatkan pengaduk pada pusat diameter tangki. Posisi ini memiliki pola aliran yang khas. Pada tangki tidak bersekat dengan pengaduk yang berputar di tengah, energi sentrifugal yang bekerja pada fluida meningkatkan ketinggian fluida pada dinding dan menurunkan ketinggian fluida pada pusat putaran. Pola ini bisa disebut dengan pusaran yang berpusat pada sumbu pengaduk. Pusaran ini akan semakin besar seiring dengan peningkatan kecepatan putaran yang juga meningkatkan turbulensi dari fluida yang diaduk. Pusaran ini memungkinkan untuk menyentuh pengaduk hingga pengaduknya bisa terlihat dari bagian atas tangki.

2.9.3 Kecepatan pengaduk

Variasi kecepatan putaran pengaduk dapat memberikan gambaran mengenai pola aliran yang dihasilkan dan daya listrik yang dibutuhkan dalam proses pengadukan. Secara umum, klasifikasi kecepatan putaran pengaduk dibagi menjadi tiga, yaitu kecepatan putaran rendah, sedang, dan tinggi.

Kecepatan putaran rendah berkisar pada kecepatan 400 rpm. Pengadukan dengan kecepatan rendah umumnya digunakan untuk minyak kental dan lumpur yang mengandung serat atau cairan yang menimbulkan busa. Jenis pengadukan dengan kecepatan rendah menghasilkan pergerakan *batch* yang sempurna dengan sebuah permukaan fluida yang datar untuk menjaga temperatur atau mencampur larutan dengan viskositas dan gravitasi spesifik yang sama.

Kecepatan putaran sedang berkisar pada kecepatan 1150 rpm. Pengadukan dengan kecepatan sedang umumnya digunakan untuk larutan sirup kental dan minyak pernis. Jenis pengadukan dengan kecepatan sedang digunakan untuk meriakkan permukaan pada viskositas yang rendah, mengurangi waktu pencampuran, mencampur larutan dengan viskositas yang berbeda dan bertujuan untuk memanaskan atau mendinginkan.

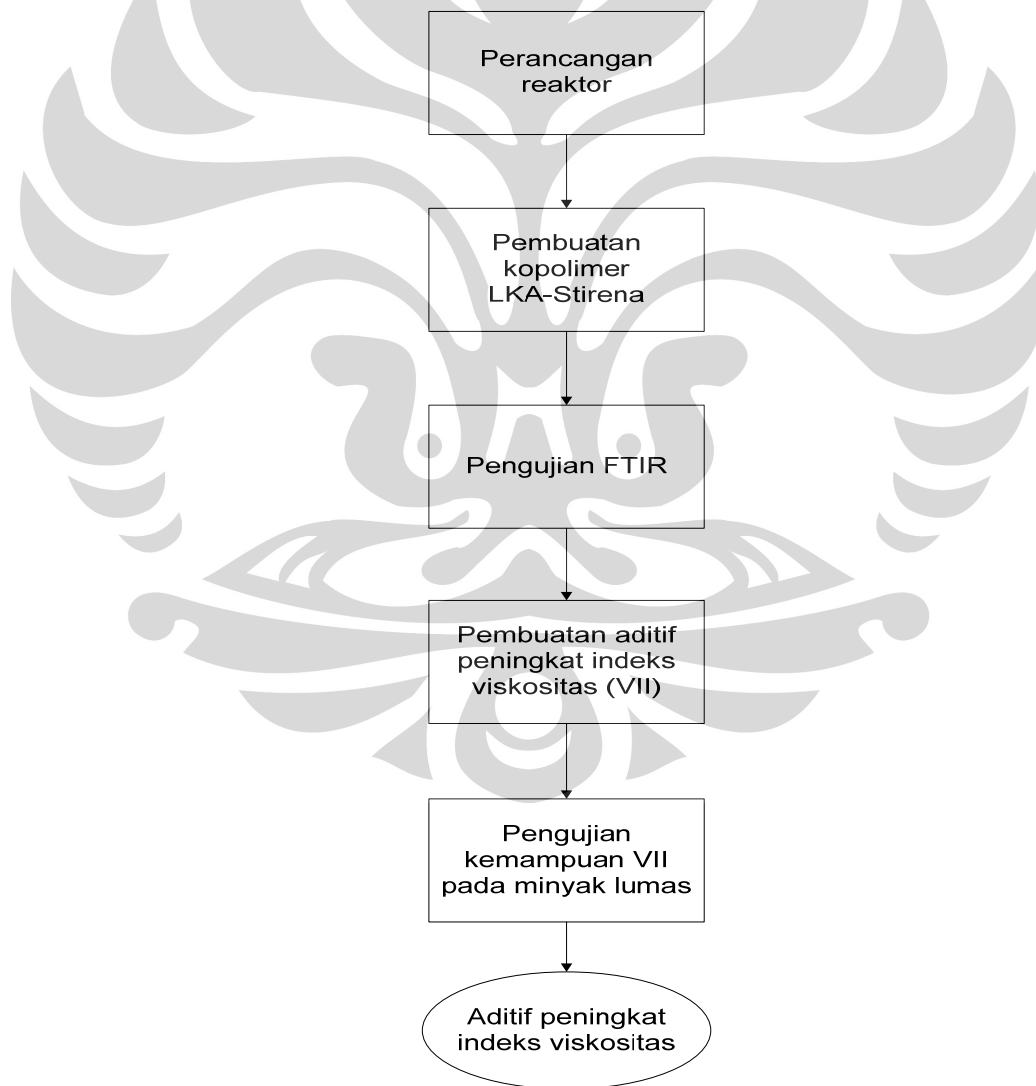
Kecepatan putaran tinggi berkisar pada kecepatan 1750 rpm. Pengadukan dengan kecepatan tinggi umumnya digunakan untuk fluida dengan viskositas rendah seperti air. Jenis pengadukan dengan kecepatan tinggi menghasilkan permukaan cekung pada viskositas yang rendah dan dibutuhkan ketika waktu pencampuran sangat lama atau perbedaan viskositasnya sangat besar.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini secara umum terdiri dari beberapa tahap, yaitu: perancangan reaktor, pembuatan kopolimer Lateks Karet Alam-Stirena (LKA-Stirena), pengujian FTIR, Pembuatan aditif peningkat indeks viskositas (VII), dan pengujian kemampuan VII pada minyak lumas. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Universitas Indonesia

3.2 Variabel penelitian

Kondisi operasi yang divariasikan atau variabel bebas pada penelitian ini adalah waktu operasi proses kopolimerisasi. Pada penelitian ini proses kopolimerisasi dilakukan dengan menggunakan variasi 1, 1,5, 2, dan 2,5 jam. Adapun parameter yang ingin diketahui pada berbagai kondisi operasi atau sebagai variabel terikat pada penelitian ini adalah:

1. Derajat penempelan.
2. Indeks viskositas.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat:

- Cawan kaca
- Gelas kimia 500 ml
- Gelas kimia 2000 ml
- Klem
- Pengaduk
- Reaktor
- Sistem pemanas
- Spatula besi
- Termokopel
- Termometer digital
- Timbangan digital
- Viskometer

Bahan:

- Aseton
- Aquades
- Benzoil Peroksida
- DPNR (*Deproteinized Natural Rubber*)
- HVI 160
- H₂SO₄ pekat 98%

- Metanol
- Neopeleks
- Stirena

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Perancangan Reaktor

Tahap ini bertujuan untuk merancang reaktor untuk proses kopolimerisasi. Reaktor dimodifikasi untuk memperoleh kopolimer yang memiliki kemudahan melarut dalam minyak lumas.

3.4.2 Pembuatan Kopolimer Lateks Karet Alam-Stirena

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh kopolimer LKA-stirena dengan metode kopolimerisasi secara batch. Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Neopeleks sebanyak 1 gram dilarutkan ke dalam 49 gram aquadest dalam wadah reaktor dan mengaduknya dengan kecepatan 40 rpm.
- 2) Benzoiil peroksida sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam larutan surfaktan, kemudian terus mengaduk hingga homogen dengan kecepatan 40 rpm.
- 3) Stirena sebanyak 25 gram dimasukkan ke dalam larutan lalu diaduk hingga homogen.
- 4) Lateks karet alam sebanyak 50 gram dimasukkan dan diaduk dengan kecepatan 40 rpm.
- 5) Temperatur reaktor dinaikkan hingga mencapai 80 °C, dan terus diaduk sampai 5 jam.
- 6) *Hot plate* dimatikan setelah mencapai waktu yang diinginkan.
- 7) Campuran dibiarkan hingga menjadi film pada suhu kamar selama 72 jam.
- 8) Film direndam ke dalam aseton selama 23 jam.
- 9) Film dipisahkan dan direndam kembali ke dalam methanol selama 1 jam .
- 10) Film dipisahkan dan dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur 50 °C selama 4 jam.
- 11) Bobot kering kopolimer ditimbang.

3.4.3 Penentuan Spektrum Infra Merah

Tahap ini bertujuan untuk mengarakterisasi gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam kopolimer. Pengujian FTIR dilakukan dengan menggunakan metode KBR di Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia UI.

3.4.4 Pembuatan Aditif Peningkat Indeks Viskositas (VII)

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh aditif peningkat indeks viskositas (VII). Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

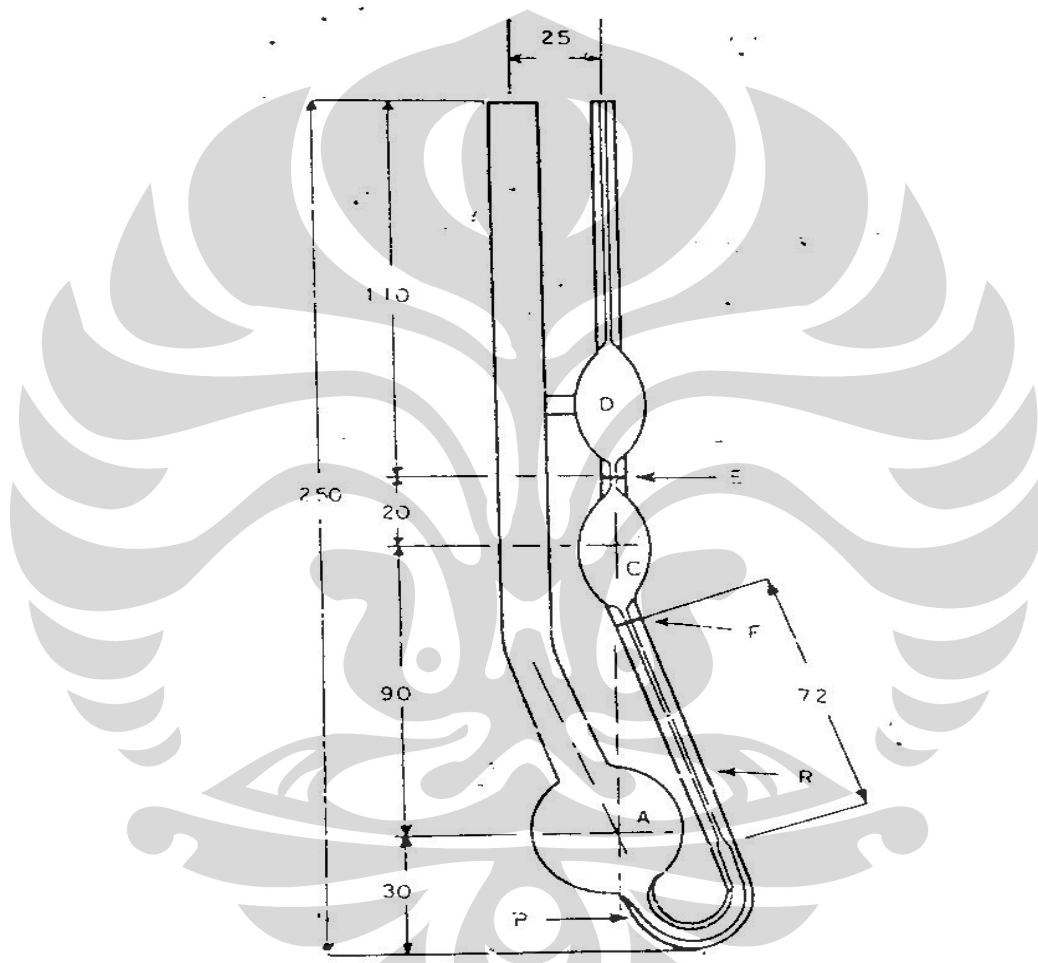
- 1) Masing-masing kopolimer dicacah hingga berukuran kecil-kecil.
- 2) Kopolimer dan xylene dimasukkan ke dalam wadah dengan perbandingan berat 1:5.
- 3) Campuran diaduk selama 15 menit hingga homogen.
- 4) Masing-masing campuran ditambahkan ke dalam pelarut HVI 160 dengan perbandingan 50:50.
- 5) Campuran diaduk hingga homogen dengan pemanasan pada temperatur 50 °C.
- 6) Campuran ini kita sebut dengan aditif.

3.4.5 Pengujian VII pada Minyak Lumas

Tahap ini bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan aditif peningkat indeks viskositas terhadap indeks viskositas minyak lumas dengan menggunakan viskometer Canon Fenske Routine yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Aditif ditambahkan sebanyak 5% ke dalam minyak lumas HVI 160.
- 1) Setelah ditambahkan aditif, minyak lumas diaduk selama 15 menit.
- 2) Penangas air dinyalakan dan temperatur diatur pada suhu 40 °C, viskometer kapiler dimasukkan ke dalam penangas dengan posisi tegak.
- 3) Dipilih viskometer terkalibrasi, bersih dan kering dan waktu alir harus melebihi 200 detik.
- 4) Minyak lumas yang telah ditambahkan aditif dimasukkan dan dihisap hingga dihisap melebihi batas awal pengukuran.
- 5) Minyak lumas dibiarkan turun.

- 6) *Stopwatch* dinyalakan saat minyak lumas melewati batas awal pengukuran dan dimatikan saat minyak lumas melewati garis batas akhir pengukuran. Waktu alir pada *stopwatch* dicatat.
- 7) Setelah selesai pengukuran, tabung kapiler dicuci menggunakan xylene, H_2SO_4 , methanol dan aquades secara berulang kali hingga tabung kapiler bersih.



Gambar 3.2 Viskometer *Canon Fenske Routine*

BAB 4

PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan proses pembuatan aditif peningkat indeks viskositas minyak lumas melalui kopolimerisasi cangkok antara Lateks Karet Alam (LKA) dan Stirena. Kopolimerisasi cangkok merupakan salah satu cara untuk melakukan modifikasi terhadap molekul yang berperan sebagai rantai utama. Kopolimer cangkok terdiri dari rantai utama dan rantai cabang yang merupakan rantai baru hasil pencangkokan pada rantai utama. Pada penelitian ini, LKA berperan sebagai rantai utama dan stirena berperan sebagai rantai cabang. Mekanisme kopolimerisasi pada penelitian ini menggunakan mekanisme polimerisasi emulsi. Mekanisme polimerisasi emulsi yang tepat sampai saat ini masih dalam perdebatan karena pada umumnya polimerisasi tidak selalu terjadi seperti teori yang diperkirakan. Banyak hal yang mempengaruhi proses polimerisasi, salah satunya adalah kelarutan monomer dalam air. Akan tetapi secara umum pendekatan yang digunakan adalah teori klasik yang dikeluarkan oleh Harkin dan Smith Ewart.

Teori yang dikeluarkan Harkin adalah teori secara kuantitatif dan sampai sekarang dapat diterima secara umum. Berdasarkan teori tersebut, monomer terlarut dalam klaster molekul surfaktan atau misel. Misel ini adalah pembentukan inti dari partikel polimer atau awal polimer yang ukurannya sangat kecil. Ukuran dari misel tersebut kurang lebih 50 nm. Emulsifier neopeleks yang bertindak sebagai surfaktan yang larut dalam air memiliki konsentrasi tertentu yang disebut CMC (*Critical Micelle Concentration*). Pada saat mencapai CMC, maka surfaktan tersebut membentuk klaster molekul yang disebut misel. Surfaktan memiliki dua sisi yang berbeda yaitu bagian yang hidrofobik dan bagian yang hidrofilik. Pada saat terbentuknya misel ini bagian hidrofobik surfaktan berorientasi sejauh mungkin dari media air dan berada atau menuju bagian dalam dari klaster tersebut.

Proses polimerisasi emulsi terdiri dari empat tahap. Tahap pertama terjadi sebelum permulaan polimerisasi, emulsifier akan mengurangi tegangan permukaan antara Stirena dan air. Selain itu, emulsifier akan membantu mendispersikan dan menstabilkan Stirena dalam bentuk droplet sehingga memfasilitasi difusi monomer ke dalam LKA. Pada tahap kedua, radikal bebas tumbuh dari penguraian inisiator yang bereaksi dengan monomer dalam fasa air. Perpanjangan rantai bertambah dengan meningkatnya jumlah monomer yang ditambahkan. Penambahan monomer dalam misel tersebut akan terus berlanjut diikuti dengan difusi monomer dalam fasa air. Misel berkembang dengan cepat sebagai hasil polimerisasi dan berkembang menjadi partikel yang distabilkan oleh emulsifier. Tahapan ini akan menentukan jumlah partikel yang berbentuk. Pada tahap ketiga partikel yang mengembang akan terus tumbuh dan berkembang melalui difusi monomer dan dispersi droplet. Pertumbuhan partikel terlindung oleh lapisan emulsifier yang diserap sampai semua monomer habis. Jika emulsifier bersisa maka partikel akan terus berkembang. Tahap keempat merupakan tahap penyempurnaan reaksi dengan ukuran partikel polimer antara 10-1500 nm. Emulsifier diserap di atas permukaan polimer walaupun dalam kesetimbangan dengan sejumlah kecil yang terlarut dalam fasa air seperti bagian pada permukaan udara-air. Proses kopolimerisasi ini dilakukan di dalam reaktor yang telah dimodifikasi sebelumnya.

4.1 Perancangan reaktor

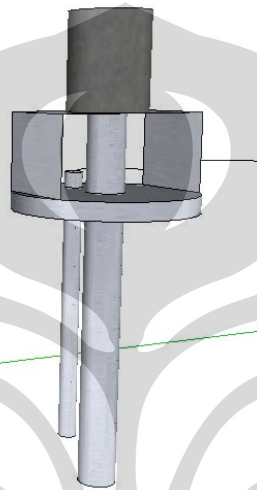
Pada penelitian ini digunakan reaktor tertutup sebagai tempat untuk proses kopolimerisasi. Modifikasi dilakukan untuk menyesuaikan besar sirip, panjang termokopel, dan ukuran gelas kaca. Berikut ini akan dijelaskan tentang bagian-bagian reaktor tertutup.

4.1.1 Tutup reaktor

Tutup reaktor terbuat dari besi baja (*stainless steel*) dan dilengkapi dengan termokopel berukuran 13,5 cm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pada bagian luar tutup reaktor, terpasang tiga buah pengait

Universitas Indonesia

yang digunakan untuk mengencangkan tutup dan memastikan agar tutup tidak berubah posisi saat proses kopolimerisasi. Di bagian dalam tutup dipasang lembaran polimer untuk mencegah adanya kontak langsung antara wadah kaca dengan tutup reaktor sehingga dapat mencegah retakan pada gelas kaca dan dapat merapatkan bagian kontak gelas kaca dan tutup reaktor.

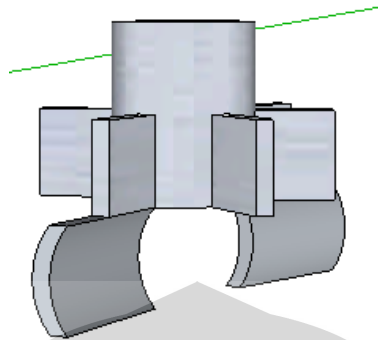


Gambar 4.1 Tutup reaktor

4.1.2 Stirer

Stirer berada di tengah-tengah wadah reaktor dengan menggunakan sumber tenaga berupa arus AC. Stirer digunakan untuk mengaduk campuran selama proses kopolimerisasi berlangsung. Pada bagian bawah stirer terpasang baling-baling yang dapat dilepas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Baling-baling pada sirip berjumlah enam buah. Empat buah berbentuk persegi panjang dengan panjang 1 cm dan lebar 0,5 cm dan dua buah sirip lainnya berbentuk melebar dan melengkung ke bagian atas. Bentuk sirip dirancang agar pengadukan dapat merata ke seluruh bagian. Pada saat stirer berputar, maka terjadi pengadukan secara vertikal maupun horizontal. Pengadukan secara horizontal menyebabkan campuran yang berada pada bagian sisi samping teraduk merata, sedangkan pengadukan

vertikal menyebabkan campuran yang berda di bagian bawah terangkat ke bagian atas.



Gambar 4.2 Sirip pengaduk

4.1.3 Alat pengukur suhu

Alat pengukur suhu digunakan untuk mengetahui suhu campuran di dalam gelas kaca selama reaksi berlangsung. Alat pengukur suhu yang digunakan berupa termokopel yang terpasang di tutup reaktor dengan panjang 13,5 cm dan terhubung dengan termometer digital (Gambar 4.3).

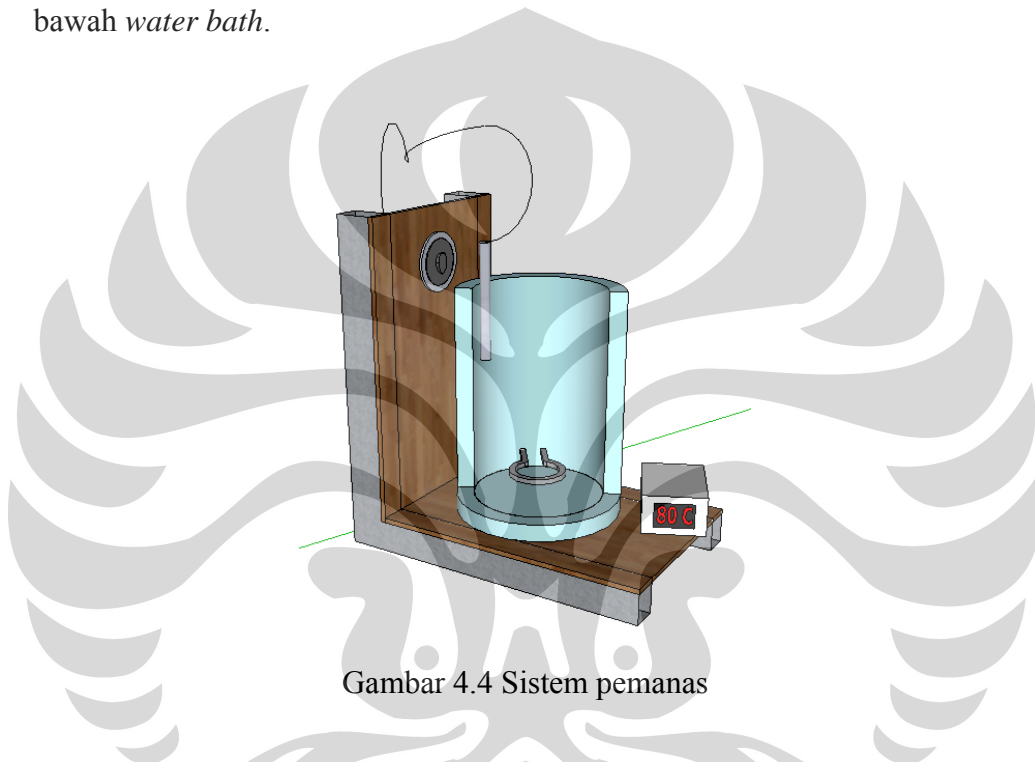


Gambar 4.3 Termometer digital

4.1.4 Sistem pemanas

Sistem pemanas digunakan untuk memanaskan campuran saat proses kopolimerisasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Sistem pemanas yang digunakan pada penelitian ini berupa *water bath* dengan media pemanas berupa air. Suhu air di dalam *Water bath* dapat diatur dengan cara memutar pengatur suhu yang terhubung dengan termokopel pada sistem pemanas. Termokopel pada sistem pemanas berbeda dengan termokopel

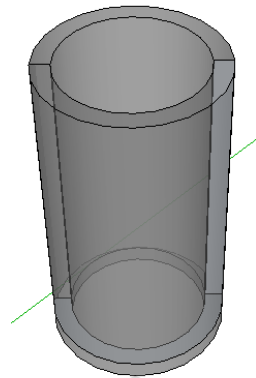
pada tutup reaktor. Termokopel pada sistem pemanas terhubung dengan pengatur suhu yang dapat diatur secara manual. Termokopel ini digunakan untuk mengukur suhu air di dalam *water bath*, apabila suhu air telah sesuai dengan suhu yang ditunjukkan pada alat pengatur suhu maka termokopel akan mengirimkan sinyal ke alat pengatur suhu dan akan diterjemahkan untuk menghentikan penyaluran arus listrik pada alat pemanas. Alat pemanas pada sistem pemanas berupa *coil heater* yang terpasang di bagian bawah *water bath*.



Gambar 4.4 Sistem pemanas

4.1.5 Reaktor

Reaktor terbuat dari kaca dengan ukuran diameter, tinggi, dan tebal sebesar 8 cm, 15,5 cm, dan 0,5 cm. Reaktor ini berkapasitas maksimum sebanyak 1 liter. Reaktor terbuat dari gelas kaca sehingga proses kopolimerisasi dapat terlihat dari bagian luar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Reaktor

4.2 Pembuatan Kopolimer Lateks Karet Alam-Stirena

Pada penelitian dilakukan proses kopolimerisasi secara batch dengan menggunakan Lateks Karet Alam (LKA) sebagai rantai utama dan Stirena sebagai monomer. Produk yang dihasilkan dari proses kopolimerisasi ini adalah kopolimer LKA-g-Stirena. Sebelum dilakukan proses pencangkakan, LKA diaduk hingga muncul gelembung, tujuannya adalah agar kerangka polimer memiliki daya serap besar terhadap monomer dan inisiator. Proses pencangkakan terjadi dengan memasukkan LKA ke dalam campuran Stirena, air, inisiator neopeleks dan benzoil peroksida yang telah dicampur terlebih dahulu sebelumnya.

Pada proses ini digunakan reaktor tertutup dengan variasi waktu reaksi kopolimerisasi selama 1, 1,5, 2, dan 2,5 jam dan suhu 80 °C. Setelah dilakukan proses kopolimerisasi, 10% dari larutan ini dikeringkan dengan cara mendiamkannya di atas wadah kaca selama 72 jam. Setelah kering dan menjadi lembaran film, selanjutnya film ini direndam dalam aseton selama 23 jam dan metanol selama 1 jam. Perendaman di dalam aseton dan metanol dilakukan untuk menghilangkan homopolimer yang terbentuk saat proses kopolimerisasi. Setelah direndam, kopolimer selanjutnya dikeringkan dengan menggunakan oven selama 4 jam. Kopolimer ini selanjutnya ditimbang dan dilakukan perhitungan untuk menentukan derajat penempelan. Untuk menghitung derajat penempelan digunakan rumus sebagai berikut:

Universitas Indonesia

$$\text{Derajat Penempelan (\%)} = [(w_1 - w_0) / w_0] \times 100 \quad (4.1)$$

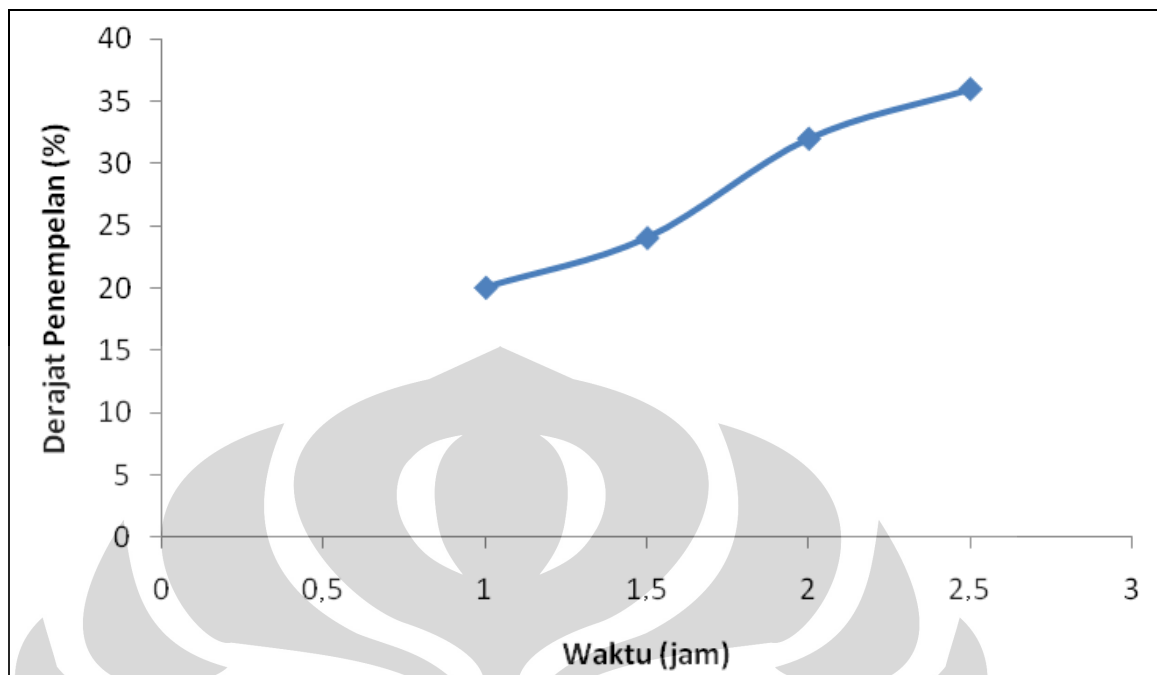
Dengan:

w_0 = Berat sampel mula-mula

w_1 = Berat sampel setelah penempelan

Gambar 4.6 menunjukkan hasil percobaan pada proses pembuatan kopolimer LKA-g-Stirena. Pada penelitian ini diperoleh derajat penempelan terbesar sebesar 36 % ketika dilakukan pemanasan selama dua setengah jam pada suhu 80°C. Pada penelitian ini, semakin lama proses pemanasan maka derajat penempelan semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak monomer stirena yang menempel pada Lateks Karet Alam (LKA).

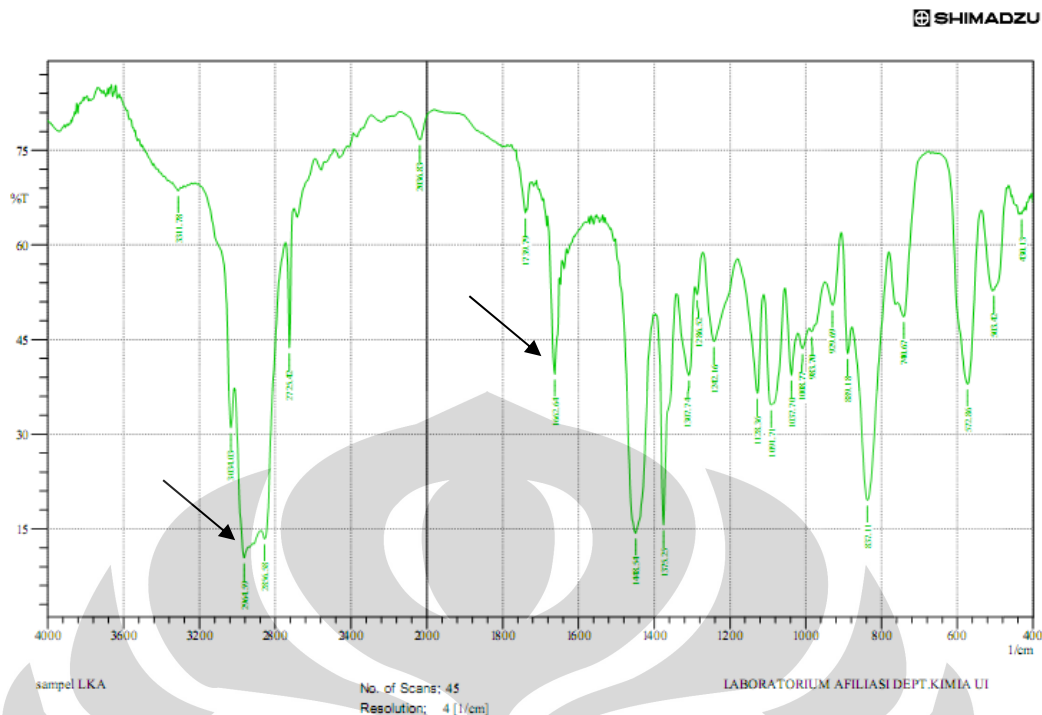
Secara kualitatif, semakin lama waktu kopolimerisasi maka larutan semakin encer. Hal ini menunjukkan bahwa proses kopolimerisasi menghasilkan kopolimer yang memiliki karakteristik hasil pencampuran antara Lateks Karet Alam dan stirena. Untuk melihat pengaruh stirena dan Lateks Karet Alam pada minyak lumas maka dilakukan percobaan tambahan dengan menggunakan sampel berupa Lateks Karet Alam, stirena yang ditambahkan benzoil peroksida, dan Lateks Karet Alam yang ditambahkan benzoil peroksida. Hal ini dilakukan karena diduga viskositas minyak lumas dapat bertambah dengan hanya menambahkan stirena atau Lateks Karet Alam ke dalam minyak lumas. Berdasarkan hasil percobaan, Lateks Karet Alam yang diproses di dalam reaktor menghasilkan larutan kental. Stirena yang ditambahkan dengan benzoil peroksida menghasilkan larutan yang berwarna bening. Lateks Karet Alam yang ditambah benzoil peroksida menghasilkan larutan tidak terlalu kental.



Gambar 4.6 Hasil Perhitungan Derajat Penempelan

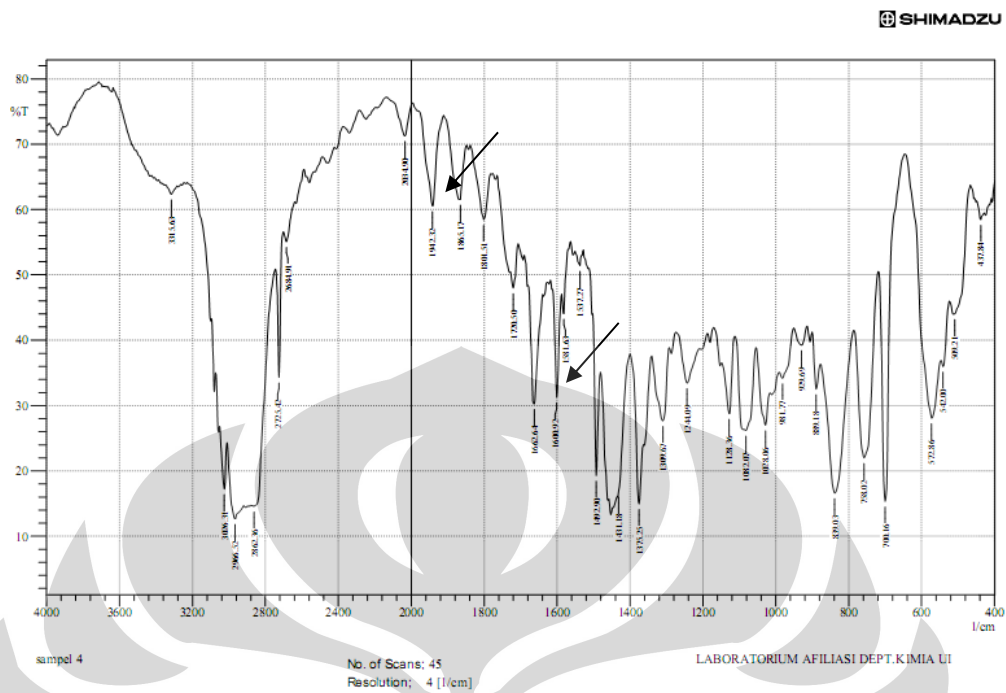
4.3 Penentuan Spektrum Infra Merah

Penentuan spektrum infra merah dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia yang terbentuk antara Lateks Karet Alam dan stirena serta pengaruh penambahan benzoil peroksida ke dalam Lateks Karet Alam. Spektrum IR isoprena (monomer LKA) mempunyai serapan yang kuat pada bilangan gelombang 2900 cm^{-1} yang menunjukkan regangan C – H dan pada $1662,64\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan regangan C = C, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



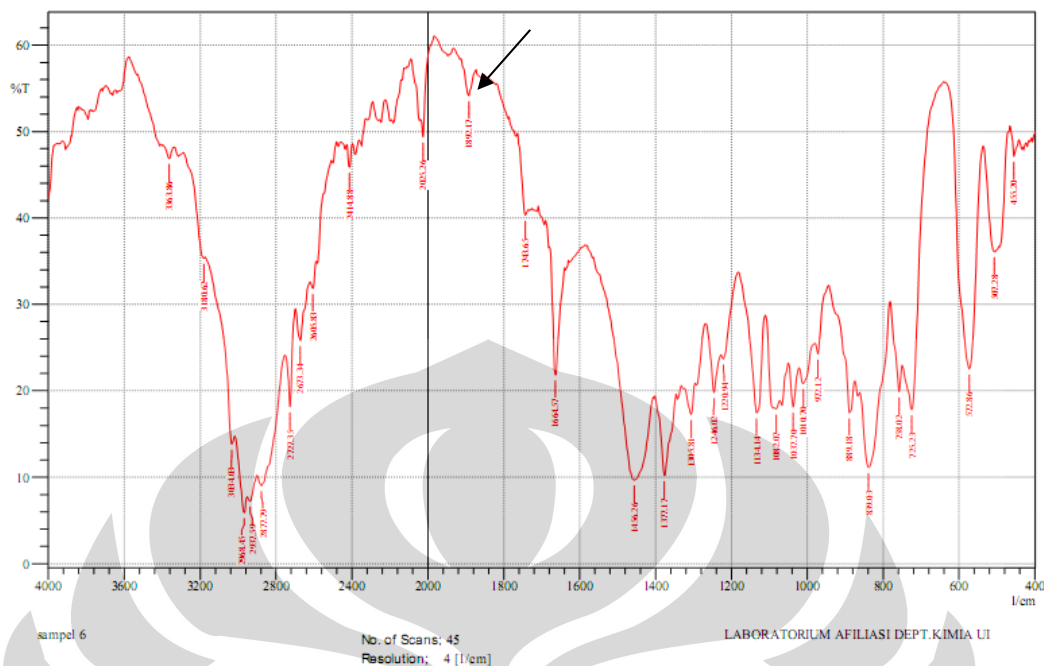
Gambar 4.7 Spektrum FTIR Lateks Karet Alam

Pada penelitian ini, kopolimer yang dihasilkan dari proses kopolimerisasi selama 2,5 jam diuji dengan FTIR untuk memastikan bahwa proses kopolimerisasi telah berlangsung. Pada penelitian ini, dihasilkan beberapa produk kopolimer LKA-Stirena dengan waktu variasi 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, dan 2,5 jam. Akan tetapi, pengujian FTIR hanya dilakukan pada sampel dengan proses kopolimerisasi selama 2,5 jam karena sampel tersebut menghasilkan kopolimer yang memiliki derajat penempelan paling besar. Berdasarkan Gambar 4.8, hasil kopolimerisasi LKA-Stirena menunjukkan adanya ikatan $C = C$ dari gugus aromatik yang ditandai dengan munculnya puncak baru pada bilangan gelombang 1600,92. Selain itu, puncak baru juga muncul pada bilangan gelombang 1660-2000 yang menunjukkan adanya ikatan $C - C$ aromatik. Adanya gugus aromatik ini menandakan bahwa telah terjadi penempelan Stirena pada LKA. Susunan spektrum serapan puncak-puncak baru ini mengindikasikan telah terjadi proses kopolimerisasi.



Gambar 4.8 Spektrum FTIR LKA-Stirena pada variasi waktu 2,5 jam

Penambahan Benzoil Peroksida ke dalam LKA menyebabkan munculnya puncak baru spektrum FTIR. Berdasarkan Gambar 4.9, hasil penambahan BPO ke dalam LKA menunjukkan adanya ikatan C = O yang ditandai dengan munculnya puncak baru pada bilangan gelombang 1892,17. Ikatan C = O ini diduga berasal dari benzoil peroksida dan mengindikasikan bahwa telah terjadi penyerangan radikal benzoil peroksida pada Lateks Karet Alam.



Gambar 4.9 Spektrum FTIR LKA dengan penambahan Benzoyl Peroksida

4.3 Pembuatan Aditif Peningkat Indeks Viskositas

Proses awal pembuatan aditif peningkat indeks viskositas adalah proses pencacahan kopolimer menjadi kecil-kecil. Hal ini dilakukan agar kopolimer lebih mudah melarut ke dalam xylene. Xylene berfungsi untuk melarutkan kopolimer, sehingga nantinya kopolimer dapat melarut dengan baik pada pelarut minyak lumas HVI 160. Pencampuran kopolimer dan xylene dilakukan dengan perbandingan berat 1:5. Perbandingan tersebut merupakan batas maksimum yang diperoleh pada penelitian ini. Setelah diaduk selama 15 menit, campuran dimasukkan ke dalam pelarut minyak lumas HVI 160 dengan perbandingan berat 50:50. Perbandingan ini diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Redi Pelita dan merupakan perbandingan yang paling baik untuk memperoleh aditif peningkatan indeks viskositas.

Berdasarkan data pada table 4.2, tidak semua sampel dapat bercampur dengan baik dalam minyak lumas HVI 160. Sampel 5 dan sampel 7 yang merupakan LKA dan Stirena, tidak dapat bercampur dengan baik dalam minyak lumas HVI 160. Pada sistem yang terdiri dari polimer dan minyak, ada dua

interaksi utama yang terjadi, yaitu polimer dengan polimer (I_{pp}) dan polimer dengan minyak (I_{po}). I_{pp} mengarah pada pembentukan struktur dalam minyak, sedangkan I_{po} mengarah pada pelarutan polimer dalam minyak. Pada sampel 5 dan sampel 7 tidak terjadi interaksi antara polimer dengan minyak sehingga polimer tidak dapat larut. Rantai polimer cenderung membentuk kumpulan intra molekul atau gelondongan sebagai penyesuaian pada makromolekul dan mencegah kontak dengan minyak. Pada interaksi polimer dengan minyak, ketika minyak adalah pelarut polimer yang baik maka rantai polimer berinteraksi dengan minyak dan terikat kuat pada pelarut, selanjutnya gelondongan polimer tersebut akan mengembang dan viskositas sistem meningkat.

Tabel 4.1 Hasil pelarutan sampel

No	Sampel	Pelarut	
		Xylene	HVI 160
1	LKA-Stirena dengan variasi waktu 1 jam	larut	larut
2	LKA-Stirena dengan variasi waktu 1,5 jam	larut	larut
3	LKA-Stirena dengan variasi waktu 2 jam	larut	larut
4	LKA-Stirena dengan variasi waktu 2,5 jam	larut	larut
5	LKA	tidak	tidak
6	LKA + Benzoil Peroksida	larut	larut
7	Stirena + Benzoil Peroksida	larut	tidak

4.4 Pengukuran Indeks Viskositas

Pada penelitian ini, peningkatan indeks viskositas paling baik pada minyak lumas HVI 160 diperoleh setelah dilakukan penambahan aditif sebanyak 5%. Aditif peningkat indeks viskositas diperoleh dengan melarutkan kopolimer ke dalam pelarut xylene, selanjutnya larutan ini disebut sebagai campuran. Campuran selanjutnya dicampurkan ke dalam base oil dengan perbandingan 50:50 dan inilah yang disebut dengan aditif peningkat indeks viskositas minyak lumas. Minyak lumas HVI 160 memiliki indeks viskositas sebesar 98 dan digunakan sebagai minyak lumas dasar. Setelah ditambahkan aditif, pada penelitian ini diperoleh indeks viskositas HVI 160 paling baik sebesar 129,05.

Universitas Indonesia

Berdasarkan hasil pengukuran indeks viskositas pada Tabel 4.2, semakin lama waktu kopolimerisasi maka semakin besar indeks viskositas. Penambahan stirena sebagai cabang pada rantai utama lateks karet alam menyebabkan kekentalan minyak lumas bertambah. Gugus aromatik yang terdapat pada stirena meningkatkan kekentalan minyak lumas HVI 160. Minyak lumas HVI 160 merupakan minyak lumas mineral yang sebagian besar terdiri dari rantai lurus. Setelah ditambahkan aditif peningkat indeks viskositas dan terjadi interaksi antara polimer dan minyak, gugus aromatik memberikan pengaruh peningkatan kekentalan yang lebih baik bila dibandingkan dengan rantai lurus (Stepina dan Vesely, 1992).

Pada penelitian ini, nilai indeks viskositas tertinggi diperoleh dari penambahan sampel 6, Lateks Karet Alam dan Benzoil Peroksida, ke dalam minyak lumas HVI 160. Penambahan Benzoil Peroksida ke dalam Lateks Karet Alam diduga dapat merubah struktur ikatan pada Lateks Karet Alam dan menambah gugus aromatik yang dapat meningkatkan indeks viskositas minyak lumas.

Tabel 4.2 Pengukuran Indeks Viskositas

Sampel	Viskositas Kinematik	Viskositas Kinematik	L	H	VI	Δ Viskositas
	pada suhu 40 °C	pada suhu 100 °C				ΔT
1	107,11	13,48	246,81	128,13	117,71	1,56
2	123,42	15,03	297,48	150,12	118,12	1,81
3	125,63	15,25	305,12	153,34	118,25	1,84
4	130,70	15,91	328,66	163,25	119,68	1,91
6	154,06	20,11	497,81	231,44	129,05	2,23

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya, beberapa kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini antara lain:

1. Semakin lama proses kopolimerisasi maka derajat penempelan semakin besar, pada penelitian ini diperoleh derajat penempelan tertinggi sebesar 36 %.
2. Kopolimer LKA-Stirena, LKA + BPO, dan Stirena + BPO dapat larut dengan baik pada xylene, akan tetapi campuran stirena + BPO dan xylene tidak dapat larut dalam minyak lumas HVI 160.
3. Semakin tinggi derajat penempelan maka indeks viskositas minyak lumas HVI 160 semakin meningkat, penambahan LKA-Stirena dengan proses kopolimerisasi selama 2,5 jam meningkatkan indeks viskositas minyak lumas dari 98 menjadi 119,68.
4. Pada penelitian ini, penambahan LKA + benzoil peroksida ke dalam minyak lumas HVI 160 dapat meningkatkan indeks viskositas dari 98 menjadi 129,05.

5.2 Saran

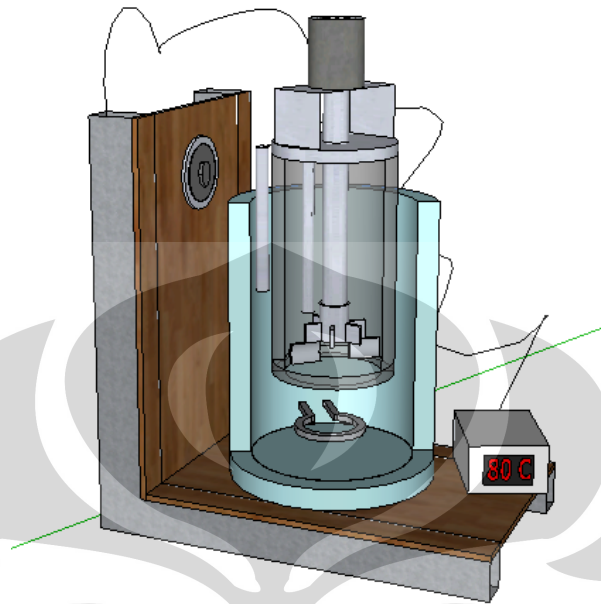
Untuk dapat meningkatkan kualitas kopolimer, proses kopolimerisasi sebaiknya dilakukan secara kontinu. Apabila hasil penelitian akan diaplikasikan untuk proses skala industri, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kemampuan reaktor dan kesesuaian antara pelarut dengan kopolimer. Pengaruh benzoil peroksida pada LKA juga perlu diteliti lebih lanjut agar dapat memperoleh aditif peningkat indeks viskositas yang lebih baik. Selain itu, diperlukan pula pengujian lain seperti berat molekul kopolimer, sifat fisik, dan sifat mekanik agar dapat mengetahui kualitas kopolimer yang dihasilkan.

DAFTAR REFERENSI

- Bartz, W.J. (1993). *Engine Oil and Automotive Lubrication*. Weinheim: Expert Verlag Gmbh.
- Billmeyer, Jr. (1984). *Textbook of polymer Science*. (Ed. ke-3). New York: John Willey & Sons.
- Blanco-Gomis.D, Le Bourgeois. J. M, dan Rosset. R. (1991). *Separation and Characterization of a Viscosity Index Improver Copolymer by High Performance Liquid Chromatography*. *Chromatographia* Vol.31, No. 1/2, 0071-04
- Budianto, E., dan Ariyanti, S. (2008). *Pengaruh Variasi Inisiator dan Teknik Kopolimerisasi terhadap Ukuran Partikel pada Kopolimerisasi Emulsi Stirena-Butil Akrilat-Metil Metakrilat 2*, 61—68.
- Burlant, W.J. (1963). *Block and Graft Polymers*. New York: Reinhold Publishing Corporation.
- Chung, O. (1997) *Rubber Chemistry and Technology*.Vol. 70. New York: Rubber Division American Chemical Society.
- Kuhn, R.R, (1973). *A.C.S. Meeting*. Seminar, Chicago.
- Mang, Th., dan Dresel, W. (2007). *Lubricant and Lubrication*. (Ed. ke-2). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Mortier, R.M. (1997). *Chemistry and Technology of Lubricant*. (Ed ke-2). London: Blackie Academic and Professional.
- Mulkam Yulan Ibnu. (2007). *Korelasi Antara Parameter yang Mempengaruhi Kebutuhan Daya Pengadukan dan Pencampuran pada Tangki Berpengaduk*. Skripsi. Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, Depok.
- Nampitch, T., dan Terdthai, V. (2006). *Grafting Efficiency of Emulsion Copolymerization of Styrene on Natural Rubber Latex*. Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD 2006).
- Nakanishi Koji. (1962). *Infrared Absorption Spectroscopy practical*. Japan: Nankodo Company Limited.

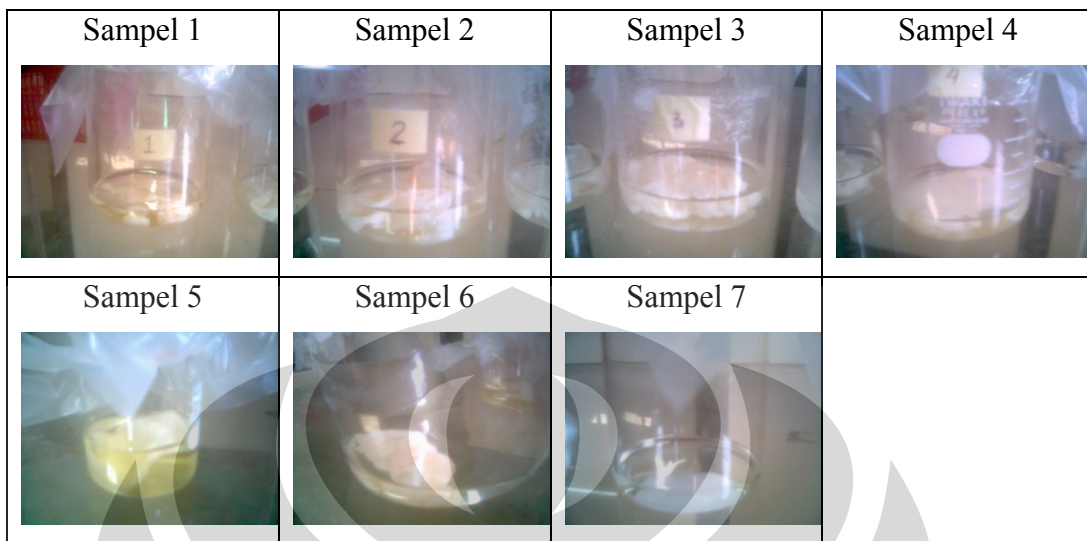
- Pelita, Redi. (2004). *Sintesis dan Karakterisasi Aditif Pelumas Otomotif dari Kopolimerisasi LKA-Stirena*. Skripsi, Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Depok
- Pukkate, N., Yamamoto., dan Seiichi K. (2008). *Mechanism of Graft Copolymerization of Styrene onto Deproteinized Natural Rubber* 286, 411—416.
- Satriana, M.J. (1982). *Synthetic Oils and Lubricant Additive*. New Jersey: Boyes Data Cooperation.
- Stepina, V., dan Vesely, V. (1992). *Lubricants and Special Fluids. Journal of tribology series*, 23.
- Steven, M.P. (2001). *Kimia polimer*. Jakarta: Pradya Paramita.
- Utama M. dan Widjaja K. (2008). *Production of Natural Rubber Grafted Styrene Copolymer Latex as Water Base Coatings*. Jakarta: Publikasi National Nuclear Energy Agency (PATIR-BATAN).
- Wartawan, L.A. (1984). *Minyak Pelumas*. Jakarta: PT. Gramedia.

Lampiran 1 Reaktor kopolimerisasi LKA-Stirena

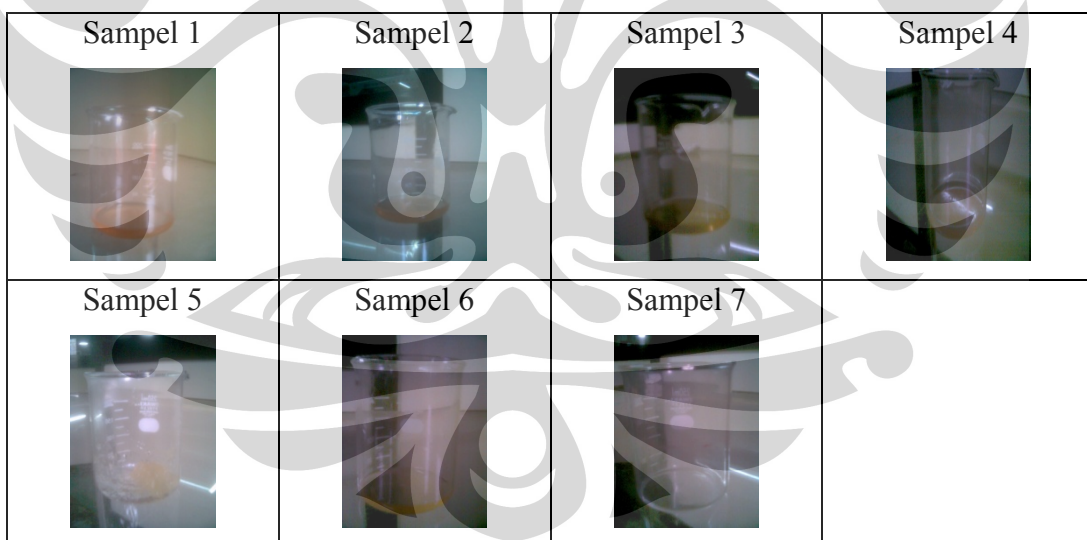


Gambar 1 Rancangan reaktor kopolimerisasi

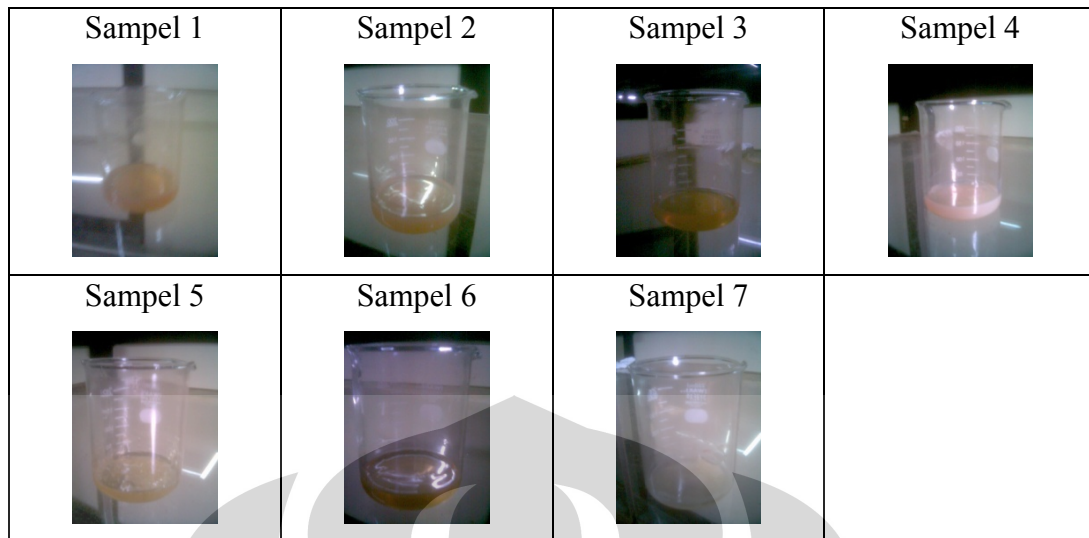
Lampiran 2 Dokumentasi proses perendaman dan pelarutan



Gambar 1 Proses perendaman cuplikan ke dalam aseton



Gambar 2 Proses pelarutan kopolimer ke dalam xylene



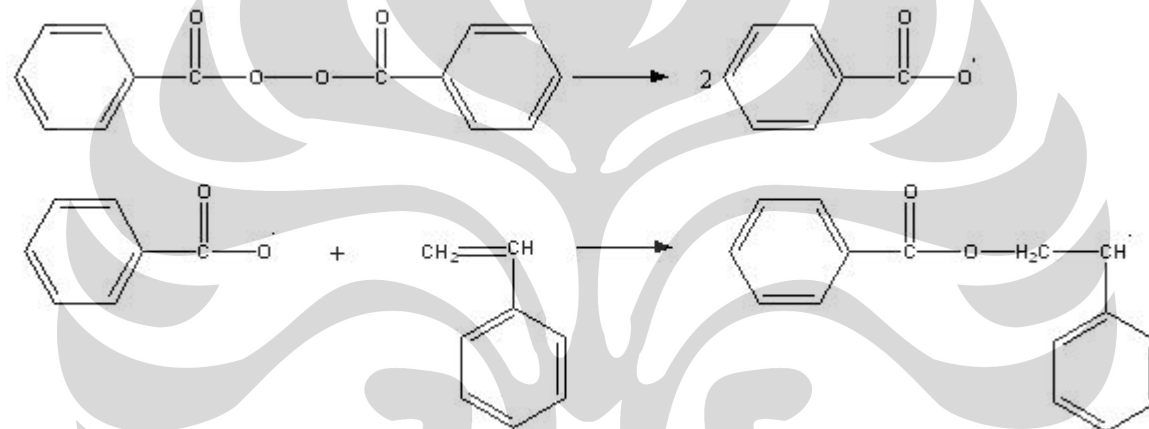
Gambar 3 Proses pelarutan campuran ke dalam pelarut HVI 160



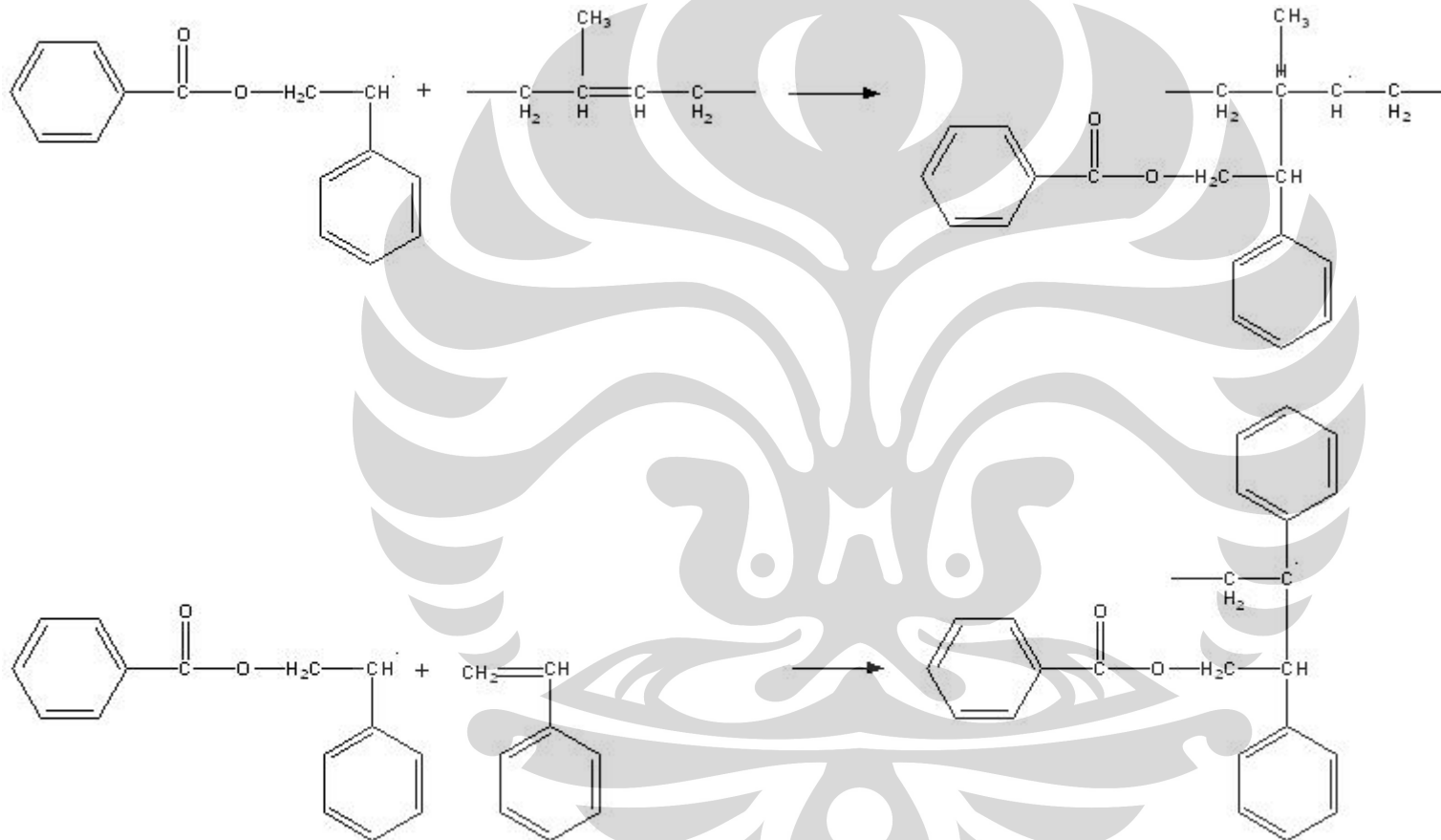
Gambar 4 Gumpalan stirena saat dilarutkan dalam pelarut HVI 160

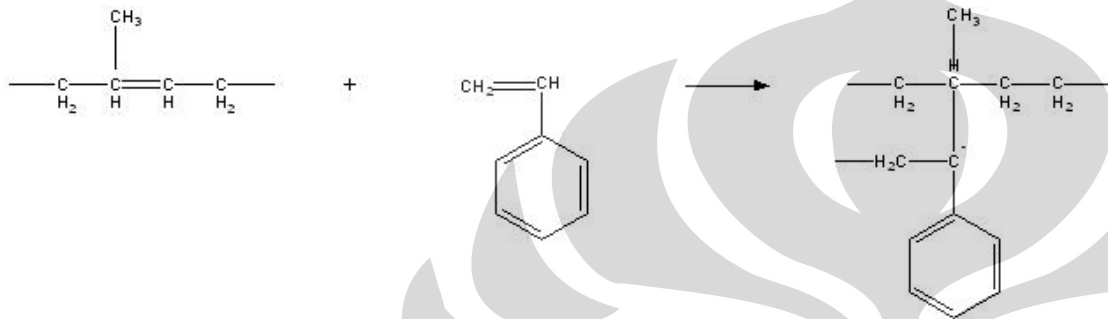
Lampiran 3 Tahapan proses kopolimerisasi LKA-Stirena

1. Tahap Inisiasi:

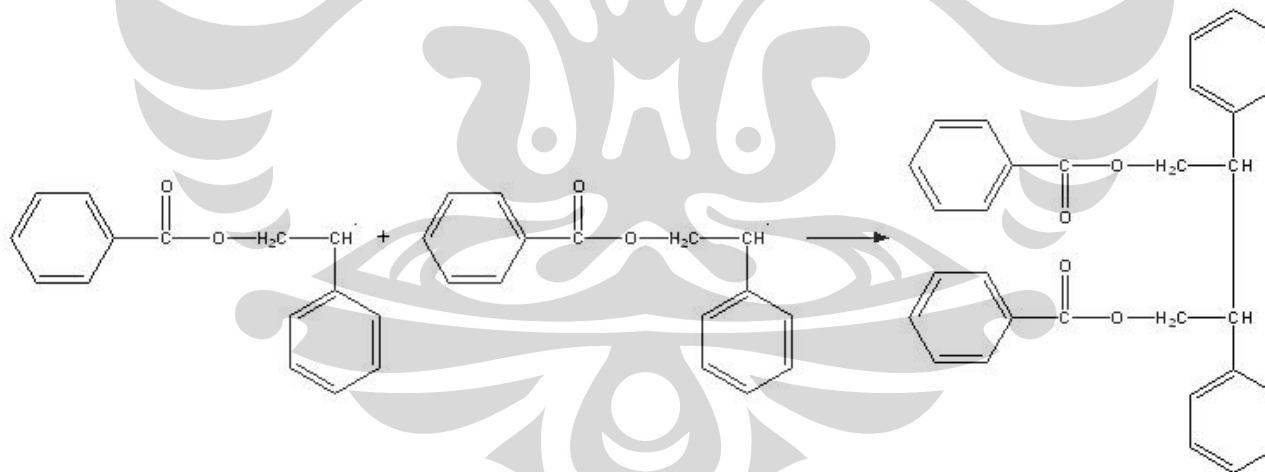


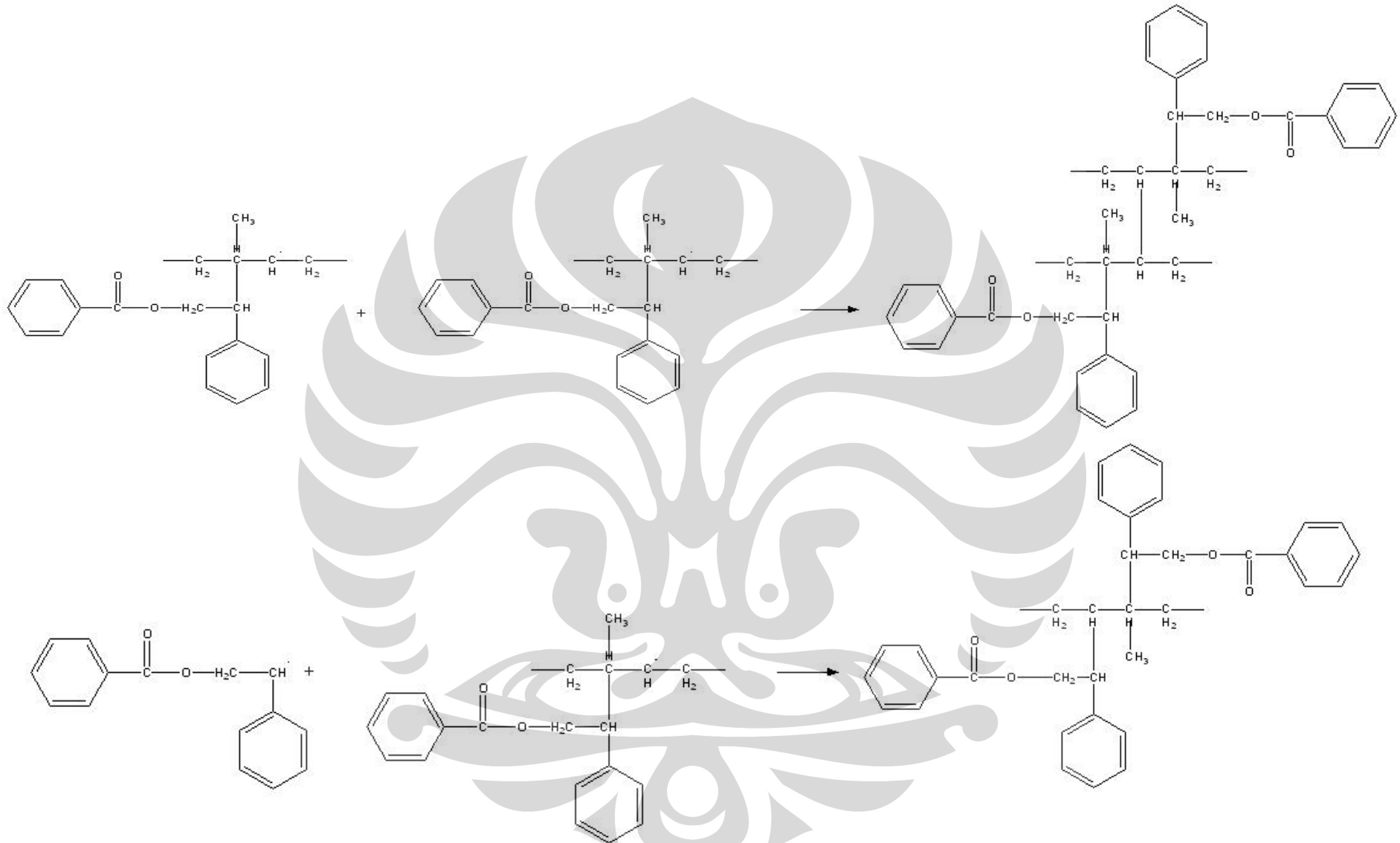
2. Tahap Propagasi:





3. Tahap Terminasi:





Lampiran 4 Tabel ASTM D2270


 D 2270

TABLE 1 Basic Values for L and H for Kinematic Viscosity in 40–100°C System

Kinematic Viscosity at 100°C, mm ² /s (cSt)	L		H		Kinematic Viscosity at 100°C, mm ² /s (cSt)	L		H		Kinematic Viscosity at 100°C, mm ² /s (cSt)	L		H		Kinematic Viscosity at 100°C, mm ² /s (cSt)	L		H	
	L	H	L	H		L	H	L	H		L	H	L	H		L	H		
2.00	7.994	6.394	7.00	78.00	48.57	12.0	201.9	108.0	17.0	369.4	180.2	24.0	683.9	301.8	42.5	1935	714.9		
2.10	8.640	6.894	7.10	80.25	49.61	12.1	204.8	109.4	17.1	373.3	181.7	24.2	694.5	305.6	43.0	1978	728.2		
2.20	9.309	7.410	7.20	82.39	50.69	12.2	207.8	110.7	17.2	377.1	183.3	24.4	704.2	309.4	43.5	2021	741.3		
2.30	10.00	7.944	7.30	84.53	51.78	12.3	210.7	112.0	17.3	381.0	184.9	24.6	714.9	313.0	44.0	2064	754.4		
2.40	10.71	8.496	7.40	86.66	52.88	12.4	213.6	113.3	17.4	384.9	186.5	24.8	725.7	317.0	44.5	2108	767.6		
2.50	11.45	9.063	7.50	88.85	53.98	12.5	216.6	114.7	17.5	388.9	188.1	25.0	736.5	320.9	45.0	2152	780.9		
2.60	12.21	9.647	7.60	91.04	55.09	12.6	219.6	116.0	17.6	392.7	189.7	25.2	747.2	324.9	45.5	2197	794.5		
2.70	13.00	10.25	7.70	93.20	56.20	12.7	222.6	117.4	17.7	396.7	191.3	25.4	758.2	328.8	46.0	2243	808.2		
2.80	13.80	10.87	7.80	95.43	57.31	12.8	225.7	118.7	17.8	400.7	192.9	25.6	769.3	332.7	46.5	2288	821.9		
2.90	14.63	11.50	7.90	97.72	58.45	12.9	228.8	120.1	17.9	404.6	194.6	25.8	779.7	336.7	47.0	2333	835.5		
3.00	15.49	12.15	8.00	100.0	59.60	13.0	231.9	121.5	18.0	408.6	196.2	26.0	790.4	340.5	47.5	2380	849.2		
3.10	16.36	12.82	8.10	102.3	60.74	13.1	235.0	122.9	18.1	412.6	197.8	26.2	801.6	344.4	48.0	2426	863.0		
3.20	17.26	13.51	8.20	104.6	61.89	13.2	238.1	124.2	18.2	416.7	199.4	26.4	812.8	348.4	48.5	2473	876.9		
3.30	18.18	14.21	8.30	106.9	63.05	13.3	241.2	125.6	18.3	420.7	201.0	26.6	824.1	352.3	49.0	2521	890.9		
3.40	19.12	14.93	8.40	109.2	64.18	13.4	244.3	127.0	18.4	424.9	202.6	26.8	835.5	356.4	49.5	2570	905.3		
3.50	20.09	15.66	8.50	111.5	65.32	13.5	247.4	128.4	18.5	429.0	204.3	27.0	847.0	360.5	50.0	2618	919.6		
3.60	21.08	16.42	8.60	113.9	66.48	13.6	250.6	129.8	18.6	433.2	205.9	27.2	857.5	364.6	50.5	2667	933.6		
3.70	22.09	17.19	8.70	116.2	67.64	13.7	253.8	131.2	18.7	437.3	207.6	27.4	869.0	368.3	51.0	2717	948.2		
3.80	23.13	17.97	8.80	118.5	68.79	13.8	257.0	132.6	18.8	441.5	209.3	27.6	880.6	372.3	51.5	2767	962.9		
3.90	24.19	18.77	8.90	120.9	69.94	13.9	260.1	134.0	18.9	445.7	211.0	27.8	892.3	376.4	52.0	2817	977.5		
4.00	25.32	19.56	9.00	123.3	71.10	14.0	263.3	135.4	19.0	449.9	212.7	28.0	904.1	380.6	52.5	2867	992.1		
4.10	26.50	20.37	9.10	125.7	72.27	14.1	266.6	136.8	19.1	454.2	214.4	28.2	915.8	384.6	53.0	2918	1007		
4.20	27.75	21.21	9.20	128.0	73.42	14.2	269.8	138.2	19.2	458.4	216.1	28.4	927.6	388.8	53.5	2969	1021		
4.30	29.07	22.05	9.30	130.4	74.57	14.3	273.0	139.6	19.3	462.7	217.7	28.6	938.6	393.0	54.0	3020	1036		
4.40	30.46	22.92	9.40	132.8	75.73	14.4	276.3	141.0	19.4	467.0	219.4	28.8	951.2	396.6	54.5	3073	1051		
4.50	31.96	23.81	9.50	135.3	76.91	14.5	279.6	142.4	19.5	471.3	221.1	29.0	963.4	401.1	55.0	3126	1066		
4.60	33.52	24.71	9.60	137.7	78.08	14.6	283.0	143.9	19.6	475.7	222.8	29.2	975.4	405.3	55.5	3180	1082		
4.70	35.13	25.63	9.70	140.1	79.27	14.7	286.4	145.3	19.7	479.7	224.5	29.4	987.1	409.5	56.0	3233	1097		
4.80	36.79	26.57	9.80	142.7	80.46	14.8	289.7	146.8	19.8	483.9	226.2	29.6	998.9	413.5	56.5	3286	1112		
4.90	38.50	27.53	9.90	145.2	81.67	14.9	293.0	148.2	19.9	488.6	227.7	29.8	1011	417.6	57.0	3340	1127		
5.00	40.23	28.49	10.0	147.7	82.87	15.0	296.5	149.7	20.0	493.2	229.5	30.0	1023	421.7	57.5	3396	1143		
5.10	41.99	29.46	10.1	150.3	84.08	15.1	300.0	151.2	20.2	501.5	233.0	30.5	1055	432.4	58.0	3452	1159		
5.20	43.76	30.43	10.2	152.9	85.30	15.2	303.4	152.6	20.4	510.8	236.4	31.0	1088	443.2	58.5	3507	1175		
5.30	45.53	31.40	10.3	155.4	86.51	15.3	306.9	154.1	20.6	518.9	240.1	31.5	1119	454.0	59.0	3563	1190		
5.40	47.31	32.37	10.4	158.0	87.72	15.4	310.3	155.6	20.8	528.8	243.6	32.0	1151	464.9	59.5	3619	1206		
5.50	49.09	33.34	10.5	160.6	88.95	15.5	313.9	157.0	21.0	538.4	247.1	32.5	1184	475.9	60.0	3676	1222		
5.60	50.87	34.32	10.6	163.2	90.19	15.6	317.5	158.6	21.2	547.5	250.7	33.0	1217	487.0	60.5	3734	1238		
5.70	52.64	35.29	10.7	165.8	91.40	15.7	321.1	160.1	21.4	556.7	254.2	33.5	1251	498.1	61.0	3792	1254		
5.80	54.42	36.26	10.8	168.5	92.65	15.8	324.6	161.6	21.6	566.4	257.8	34.0	1286	509.6	61.5	3850	1270		
5.90	56.20	37.23	10.9	171.2	93.92	15.9	328.3	163.1	21.8	575.6	261.5	34.5	1321	521.1	62.0	3908	1286		
6.00	57.97	38.19	11.0	173.9	95.19	16.0	331.9	164.6	22.0	585.2	264.9	35.0	1356	532.5	62.5	3966	1303		
6.10	59.74	39.17	11.1	176.6	96.45	16.1	335.5	166.1	22.2	595.0	268.6	35.5	1391	544.0	63.0	4026	1319		
6.20	61.62	40.16	11.2	179.4	97.71	16.2	339.2	167.7	22.4	604.3	272.3	36.0	1427	555.6	63.5	4087	1336		
6.30	63.32	41.13	11.3	182.1	98.97	16.3	342.9	169.2	22.6	614.2	275.8	36.5	1464	567.1	64.0	4147	1352		
6.40	65.18	42.14	11.4	184.9	100.2	16.4	346.6	170.7	22.8	624.1	279.6	37.0	1501	579.3	64.5	4207	1369		
6.50	67.12	43.18	11.5	187.6	101.5	16.5	350.3	172.3	23.0	633.6	283.3	37.5	1538	591.3	65.0	4268	1386		
6.60	69.16	44.24	11.6	190.4	102.8	16.6	354.1	173.8	23.2	643.4	286.8	38.0	1575	603.1	65.5	4329	1402		
6.70	71.29	45.33	11.7	193.3	104.1	16.7	358.0	175.4	23.4	653.8	290.5	38.5	1613	615.0	66.0	4392	1419		
6.80	73.48	46.44	11.8	196.2	105.4	16.8	361.7	177.0	23.6	663.3	294.4	39.0	1651	627.1	66.5	4455	1436		
6.90	75.72	47.51	11.9	199.0	106.7	16.9	365.6	178.6	23.8	673.7	297.9	39.5	1691	639.2	67.0	4517	1454		
												40.0	1730	651.8	67.5	4580	1471		
												40.5	1770	664.2	68.0	4645	1488		
												41.0	1810	676.8	68.5	4709	1506		
												41.5	1851	689.1	69.0	4773	1523		
												42.0	1892	701.9	69.5	4839	1541		
															70.0	4905	1558		

Tabel 1 Nilai L dan H untuk viskositas kinematik T = 40 °C dan T = 100 °C