



UNIVERSITAS INDONESIA

**Pembuatan Karet Siklo Dari Lateks Karet Alam
Berbobot Molekul Rendah**

TESIS

**ADI CIFRIADI
0606000850**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCASARJANA
JAKARTA
Desember 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**Pembuatan Karet Siklo Dari Lateks Karet Alam
Berbobot Molekul Rendah**

TESIS

Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

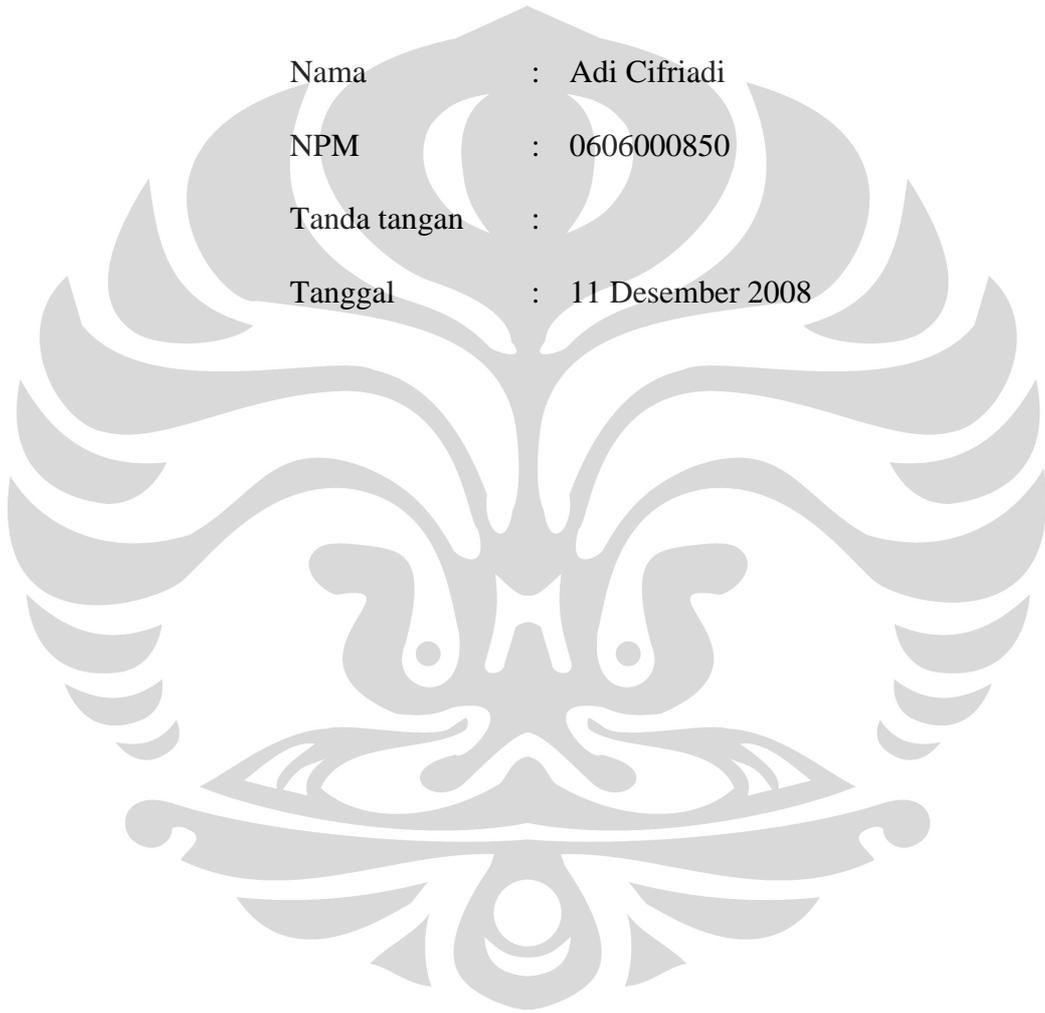
**ADI CIFRIADI
0606000850**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
JAKARTA
Desember 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Adi Cifriadi
NPM : 0606000850
Tanda tangan :
Tanggal : 11 Desember 2008



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Adi Cifriadi
NPM : 0606000850
Program Studi : Ilmu Material
Judul Tesis : Pembuatan Karet Siklo Dari Lateks Karet Alam
Berbobot Molekul Rendah

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Ketua : Dr. Bambang Soegijono (.....)

Pembimbing I : Dr. Emil Budiman (.....)

Pembimbing II : Dr. Ary Achyar Alfa (.....)

Penguji I : Dr. Suhardjo Poertadji (.....)

Penguji II : Dr. Muhammad Hikam (.....)

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal : 11 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains Program Studi Ilmu Material pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada :

- (1) Dr. Emil Budiman, selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini ;
- (2) Dr. Ary Achyar Alfa, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan masukan selama penelitian dan penulisan tesis ini ;
- (3) Seluruh staf pengajar dan pegawai Universitas Indonesia pada Program Studi Pascasarjana Ilmu Material ;
- (4) Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pertanian ;
- (5) Seluruh pegawai Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor ;
- (6) Orang tua dan istri tercinta yang telah memberikan motivasi dan dukungan moral.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu.

Bogor, 11 Desember 2008

Penulis

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

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

Nama : Adi Cifriadi
NPM : 0606000850
Program Studi : Ilmu Material
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu dan pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Pembuatan Karet Siklo Dari Lateks Karet Alam Berbobot Molekul Rendah”

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 tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 11 Desember 2008

Yang Menyatakan

(Adi Cifriadi)

ABSTRAK

Nama : Adi Cifriadi
Program Studi : Ilmu Material
Judul Tesis : Pembuatan Karet Siklo Dari Lateks Karet Alam
Berbobot Molekul Rendah

Sampai saat ini, karet siklo yang dibuat dari proses siklisasi lateks karet alam aplikasinya belum maksimal karena sukar larut dalam pelarut hidrokarbon. Dalam penelitian ini telah dipelajari perbandingan karakteristik antara karet siklo yang diperoleh dari siklisasi lateks karet alam dan lateks karet alam berbobot molekul rendah. Penelitian dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama dilakukan penelitian tentang degradasi lateks karet alam menggunakan kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dan $NaNO_2$ untuk menghasilkan lateks karet alam berbobot molekul rendah. Tahap kedua dipelajari karakteristik karet siklo dari siklisasi lateks karet alam dan lateks karet alam berbobot molekul rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa degradasi lateks karet alam pada temperatur reaksi sebesar $70^\circ C$ dengan bahan pendegradasi H_2O_2 1 bsk dan $NaNO_2$ 3 bsk selama 8 jam waktu reaksi dapat menghasilkan lateks karet alam yang memiliki bobot molekul rendah. Karet siklo yang dihasilkan dari siklisasi lateks karet alam dan lateks karet alam berbobot molekul rendah tidak larut dalam pelarut toluen, namun karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah memiliki daya rekatan lebih baik pada substrat karet-logam dan logam-logam.

Kata kunci :

Lateks karet alam, lateks karet alam berbobot molekul rendah, degradasi karet alam, karet siklo

ABSTRACT

Name : Adi Cifriadi
Study Program : Material Science
Title : Preparing Cyclo Rubber from Low Molecular Weight Natural Rubber Latex

At present, application of cyclo rubber made by cyclisation of natural rubber latex is not established yet because it is not readily soluble in hydrocarbon solvents. In this research, the comparison of cyclo rubber characteristics between the one made by cyclisation of natural rubber latex or low molecular weight natural rubber latex has been studied. The research was conducted in two steps. Firstly, the degradation of natural rubber latex using a combination of H_2O_2 and NaNO_2 as degradation agent to produce low molecular weight natural rubber latex was studied. Secondly, the characteristics both of cyclo rubber produced by cyclisation of natural rubber latex and low molecular weight natural rubber latex was studied. The low molecular weight natural rubber latex was produced by degradation of natural rubber latex used 1 phr H_2O_2 and 3 phr NaNO_2 as the degradation agent at 70°C for 8 hours reaction time. Both cyclo rubber produced by cyclisation of natural rubber latex and low molecular weight natural rubber latex do not dissolve in toluene, however the cyclo rubber produced by cyclisation of low molecular weight natural rubber latex has good adhesion characteristic on rubber-metal and metal-metal substrate.

Key words :

Natural rubber latex, low molecular weight natural rubber latex, degradation of natural rubber, cyclo rubber.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
1. PENDAHULUAN	8
1.1 Latar belakang penelitian	8
1.2 Perumusan Masalah	9
1.3 Hipotesa	10
1.4 Tujuan Penelitian	11
2. TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Lateks Karet Alam	12
2.2 Modifikasi Karet Alam	15
2.2.1 Modifikasi Karet Alam Secara Fisika	15
2.2.2 Modifikasi Karet Alam Secara Kimia	16
2.2.2.1 Degradasi Karet Alam	16
2.2.2.2 Karet Siklo	21
3. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Bahan dan Alat	23
3.2 Skema Penelitian	25
3.3 Prosedur Penelitian	26
3.4 Tempat Penelitian	29
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Degradasi Lateks Karet Alam	30
4.1.1 Pengaruh Bahan Pendegradasi	31
4.1.2 Pengaruh Waktu Reaksi	34
4.1.3 Spektra FTIR	37
4.2 Pembuatan Karet Siklo	42
4.2.1 Rendemen	43
4.2.2 Spektra FTIR	44
4.2.3 Sifat Termal	48
4.2.4 Kelarutan	49
4.2.5 Kuat Rekatan	51
5. KESIMPULAN	54
DAFTAR REFERENSI	56

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Karet alam merupakan komoditas perkebunan yang sangat penting bagi negara Indonesia karena berperan sebagai penghasil sumber devisa negara non migas, sumber lapangan kerja, dan sumber daya hayati. Luas areal tanaman karet di Indonesia pada tahun 2006 mencapai 3,31 juta hektar dengan produksi sebesar 2,64 juta ton sehingga menjadikan Indonesia sebagai negara penghasil karet alam terbesar kedua di dunia setelah Thailand (Ditjenbun, 2007).

Sebagai negara produsen karet alam terbesar kedua di dunia, Indonesia memiliki potensi yang besar menjadi pengendali pasar karet alam di dunia internasional apabila bangsa Indonesia mengupayakan peningkatan konsumsi karet alam dalam negeri. Langkah-langkah yang dapat ditempuh agar keadaan tersebut dapat diwujudkan adalah melalui pengembangan produk karet untuk industri barang jadi karet alam serta diversifikasi produk karet alam. Salah satu bentuk diversifikasi produk karet alam yang dapat dilakukan adalah dengan modifikasi struktur molekul karet alam secara fisika ataupun kimia sehingga menghasilkan material baru yang memiliki karakteristik unik untuk penggunaan yang baru dan luas dalam bidang tertentu.

Sampai saat ini, karet alam Indonesia sebagian besar (lebih dari 90 %) diekspor dalam bentuk komoditas primer dalam bentuk bahan mentah untuk industri barang jadi karet seperti industri ban kendaraan bermotor dan industri sarung tangan karet. Data statistik dari IRSG (2006) menunjukkan bahwa konsumsi karet alam Indonesia hanya sekitar 8 – 10% dari total produksinya. Keadaan tersebut mengindikasikan bahwa konsumsi karet alam dalam negeri masih rendah sehingga diperlukan upaya-upaya dari berbagai lapisan masyarakat Indonesia yang memiliki potensi secara bersama-sama mengembangkan karet alam Indonesia untuk peningkatan nilai tambah dan konsumsi dari karet alam dalam negeri.

Teknologi modifikasi struktur molekul karet alam secara kimia maupun fisika telah lama dikembangkan oleh para ahli ilmu dan teknologi polimer. Modifikasi struktur secara fisika dapat dilakukan dengan cara *blending* karet alam dengan karet sintesis sedangkan modifikasi secara kimia pada karet alam dilakukan dengan mereaksikan bahan kimia tertentu sehingga dapat mengubah struktur molekul karet alam, seperti epoksidasi, hidrogenasi, degradasi kimia, klorinasi, pencangkokan (*grafting*), siklisasi karet alam dll. Usaha-usaha modifikasi struktur karet alam tersebut telah berhasil dilakukan namun produk-produk modifikasi masih kalah bersaing dengan produk-produk polimer sintesis, yang umumnya dibuat dari bahan minyak bumi dan turunannya, disebabkan harga produknya lebih mahal dari pada polimer sintesis.

Saat ini telah terjadi krisis energi sehingga berdampak pada peningkatan harga minyak bumi di dunia internasional. Keadaan tersebut secara tidak langsung mengakibatkan naiknya harga bahan kimia sintesis yang dibuat dari minyak bumi dan turunannya termasuk polimer sintesis. Akibat dari keadaan tersebut, pada saat ini produk-produk modifikasi karet alam memiliki potensi untuk bersaing dengan produk-produk polimer sintesis.

Salah satu bentuk modifikasi secara kimia pada karet alam adalah karet siklo. Karet siklo merupakan turunan dari karet alam yang diperoleh melalui proses siklisasi karet alam, yaitu proses modifikasi struktur molekul karet alam secara kimia yang semula berupa rantai terbuka menjadi struktur molekul yang melingkar (Van Veersen, 1951). Karet siklo memiliki sifat daya rekat yang baik sehingga penggunaan utama dari produk ini sebagai besar untuk bahan baku perekat, cat, dan pelapis.

1.2 Perumusan Masalah

Karet siklo dapat dibuat dari proses siklisasi karet alam padat, larutan karet alam ataupun lateks alam. Karet siklo dari proses siklisasi karet alam padat pertama kali dikembangkan oleh Fisher pada tahun 1910 yang pembuatannya dilakukan dengan cara mencampurkan lembaran karet alam dengan katalis asam sulfat atau asam p-toluen sulfonat secara langsung pada alat gilingan rol ganda. Teknologi ini kurang berkembang dikarenakan menimbulkan kerusakan pada alat

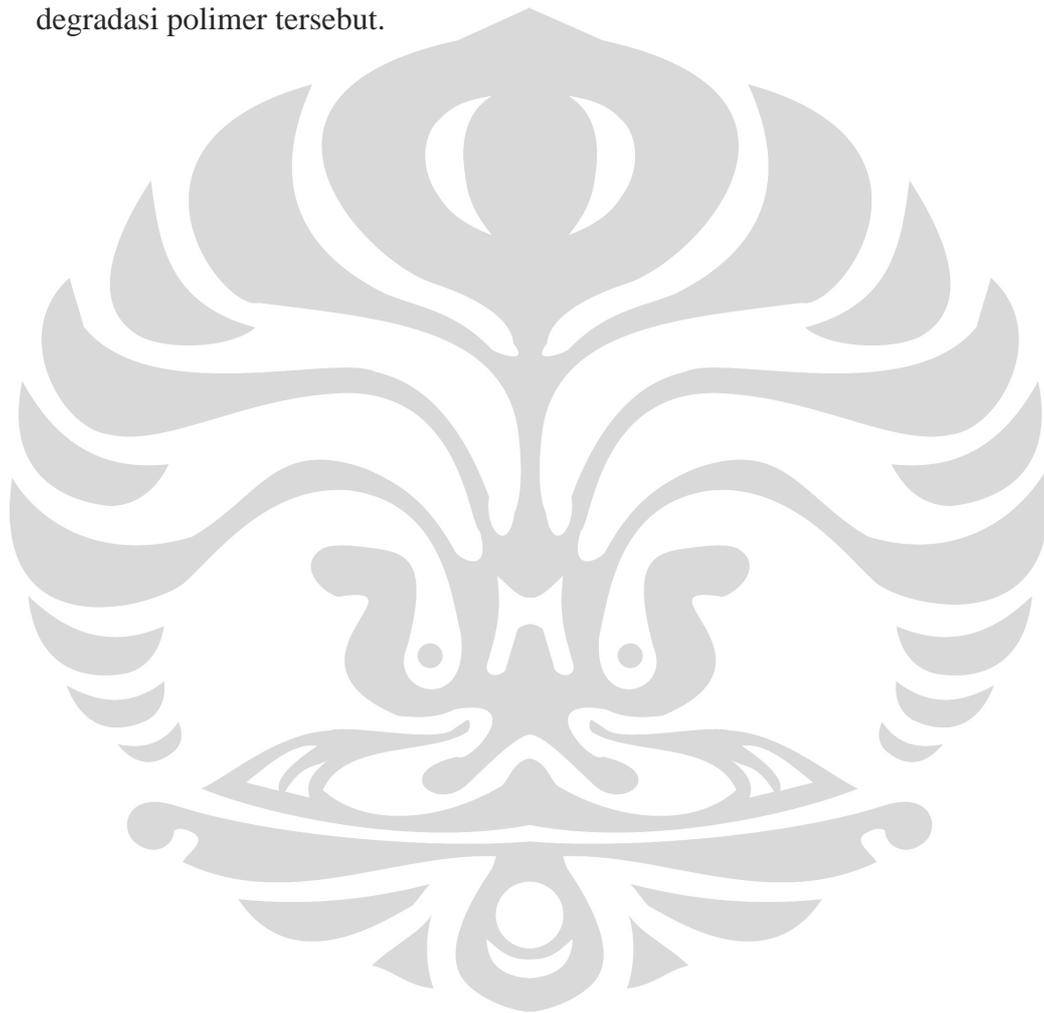
gilingan yang digunakan. Kemudian karet siklo dari larutan karet alam dibuat dengan cara mereaksikan katalis bersifat asam (asam Lewis) seperti Boron trifluorida (BF_3), SnCl_4 , TiCl_4 , FeCl_3 , dengan karet alam yang telah dilarutkan dengan pelarut organik seperti pelarut fenol dan benzen (Morton and Heller, 1963). Adanya proses pelarutan karet dengan pelarut organik tersebut dengan kebutuhan penggunaan pelarut yang cukup banyak, pembuatan karet siklo dari larutan karet memerlukan biaya produksi yang tinggi karena pada umumnya pelarut organik diperoleh dari minyak bumi dan turunannya. Hal ini selanjutnya mengakibatkan harga produk karet siklo dari larutan karet yang mahal. Karet siklo dari larutan karet umumnya digunakan untuk industri cat dan pelapis. Sedangkan karet siklo dari siklisasi lateks karet alam dibuat dengan cara mereaksikan katalis asam sulfat dengan lateks karet alam. Pembuatan karet siklo dari siklisasi lateks karet alam memerlukan biaya produksi yang lebih kecil dibandingkan karet siklo dari larutan karet karena sistem reaksinya terjadi dalam fasa *aqueus*. Namun teknologi pembuatan karet siklo dari siklisasi lateks karet alam juga tidak berkembang karena produk yang dihasilkan (karet siklo) sukar larut dalam pelarut hidrokarbon dan aplikasinya belum maksimal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikaji pembuatan karet siklo dari siklisasi lateks karet alam yang memiliki bobot molekul rendah untuk menghasilkan karet siklo yang diprediksi memiliki kelarutan yang lebih baik dengan pelarut hidrokarbon serta karakteristik unik lainnya sehingga karet siklo tersebut dapat diaplikasikan secara lebih luas.

1.3 Hipotesa

Berdasarkan teori termodinamika larutan polimer dari Flory dan Huggins, entalpi pencampuran polimer dalam suatu pelarut tertentu diantaranya dipengaruhi oleh parameter antar aksi molekul pelarut dengan polimer. Nilai parameter ini tergantung dari bobot molekul relatif polimer. Apabila bobot molekul polimer lebih kecil, dalam pelarut dan polimer yang sama, lebih mudah larut dibandingkan polimer yang memiliki bobot molekul relatif lebih besar. Oleh karena itu, dalam penelitian ini karet siklo yang diperoleh dari siklisasi lateks karet alam yang memiliki bobot molekul rendah diduga memiliki kelarutan yang lebih baik terhadap pelarut hidrokarbon.

1.4 Tujuan Penelitian

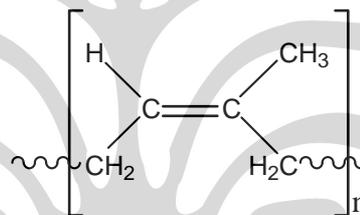
Tujuan dalam penelitian ini adalah mengkaji pembuatan dan karakteristik karet siklo dari siklisasi lateks karet alam yang memiliki bobot molekul rendah yang diperoleh dari proses degradasi lateks karet alam. Dalam penelitian ini juga akan dikaji pengaruh dosis kombinasi bahan pemutus rantai molekul karet alam (H_2O_2 dan NaNO_2) dan waktu reaksi degradasi terhadap hasil dari proses degradasi polimer tersebut.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lateks Karet Alam

Lateks karet alam yang diperoleh dari penyadapan pohon karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan cairan berwarna putih kekuning-kuningan yang terdiri atas partikel karet dan bahan bukan karet yang terdispersi di dalam air. Partikel karet di dalam lateks karet alam berupa makromolekul dari cis 1,4-poliisoprena, sedangkan bahan bukan karet terdiri atas protein, lipid (terutama fosfolipid), karbohidrat, asam amino, asam organik lainnya serta kation anorganik (Blackley, 1966)



Gambar 1.1 Struktur molekul karet alam (cis 1,4-poliisoprena)

Lateks karet alam yang diperoleh dari penyadapan pohon karet merupakan lateks kebun, umumnya memiliki Kadar Karet Kering (KKK) berkisar 25 – 35 % sehingga lateks tersebut perlu dipekatkan terlebih dahulu agar dapat digunakan sebagai bahan baku barang jadi lateks. Pemekatan lateks kebun dapat dilakukan dengan cara sentrifugasi, evaporasi, pendadihan, dan elektrodekantasi (Stern, 1967). Metode pemekatan lateks yang paling banyak digunakan adalah dengan cara sentrifugasi. Metode pemekatan ini didasarkan atas pemisahan partikel di dalam lateks berdasarkan perbedaan berat jenis partikel dengan memanfaatkan gaya sentrifugal dan gaya gravitasi. Menurut *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1997), syarat mutu lateks pekat dapat dilihat pada Tabel 2.1. Jenis 1 merupakan lateks pekat hasil sentrifugasi yang diawetkan dengan amoniak saja atau formaldehida diikuti dengan amoniak kembali. Jenis 2 merupakan lateks

pekat hasil *creaming* yang diawetkan dengan amoniak saja atau formaldehida yang diikuti dengan Amoniak kembali. Jenis 3 merupakan lateks pekat hasil sentrifugasi yang diawetkan dengan amoniak rendah dan pengawet lainnya.

Tabel. 2.1 Syarat mutu lateks pekat

No	Jenis uji	Jenis 1	Jenis 2	Jenis 3
1.	Kadar jumlah padatan min, %	61,5	66,0	61,5
2.	Kadar karet kering min, %	60,0	60,0	60,0
3.	Selisih kadar jumlah padatan dengan kadar karet kering maks, %	2,0	2,0	2,0
4.	Total alkalinitas dihitung sebagai amonia (NH ₃) sebagai % lateks	0,60 min	0,55 min	0,29 max
5.	Kadar Sludge maks, %	0,10	0,10	0,10
6.	Kadar Koagulum maks %	0,050	0,050	0,050
7.	Bilangan KOH, maks	0,80	0,80	0,80
8.	Waktu Kemantapan mekanik, sekon, min	650	650	650
9.	Kadar Tembaga maks, % jumlah padatan	0,0008	0,0008	0,0008
10.	Kadar Mangan maks, % jumlah padatan	0,0008	0,0008	0,0008
11.	Warna secara inspeksi visual	tidak berwarna biru atau abu-abu		
12.	Warna setelah dinetralisasi dengan asam borat	tidak berbau busuk		

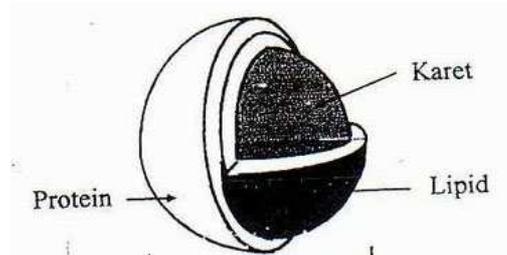
Sumber : ASTM D 1076, 1997

Menurut Utami dan Siswantoro (1989), lateks terdiri atas partikel karet dan bahan bukan karet. Di dalam lateks, partikel bukan karet memiliki jumlah yang relatif kecil dan berperan penting dalam mengendalikan sifat lateks dan karetnya. Apabila lateks segar Hevea dipusingkan dengan alat pemusing ultra pada kecepatan ± 18000 putaran per menit selama 15 menit, maka lateks akan terpisah menjadi 4 (empat) fraksi dengan urutan dari atas ke bawah ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Urutan pemisahan fraksi lateks dari atas ke bawah

Fraksi Lateks	Komponen
Fraksi Karet (35 %)	Karet Protein Lipid Ion logam
Fraksi Frey Wyssling (5 %)	Karotenoida Lipid
Serum (50 %)	Air Karbohidrat dan inositol Protein dan turunannya Senyawa nitrogen Asam nukleat dan nukleosida Ion anorganik Ion logam
Fraksi dasar (10%)	proteina dan senyawa nitogen karet dan karotenoida lipid dan ion logam

Di dalam lateks, partikel karet terdispersi di dalam air berbentuk bulat berukuran 5 nm – 3 µm. Partikel karet tersebut diselubungi oleh protein dan lipid yang berfungsi sebagai lapisan pelindung partikel karet agar stabil di dalam sistem dispersi (Blackley, 1966). Mekanisme penstabilan partikel karet dalam sistem dispersi oleh protein dan lipid tersebut melalui pembentukan muatan protein di dalam sistem. Protein di dalam sistem dapat bermuatan positif ataupun negatif yang dipengaruhi kondisi pH sistem. Pada saat pH sistem lebih besar dari 4,7 ($\text{pH} > 4,7$) sebagian besar protein bermuatan negatif, sedangkan bila pH sistem lebih kecil dari 4,7 ($\text{pH} < 4,7$) protein sebagian besar bermuatan positif. Kemudian terdapat suatu kondisi pada saat jumlah muatan positif dan negatif dari protein tersebut seimbang (sama) yang dapat mengakibatkan kondisi partikel karet di dalam sistem dispersi tidak stabil. Keadaan ini dinamakan titik isoelektrik dan terjadi pada saat pH sistem sebesar 4,7. Penampang partikel karet dalam lateks dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Penampang partikel karet

Sumber : Blackley (1966)

2.2 Modifikasi Karet Alam

Modifikasi karet alam adalah suatu teknik ataupun proses untuk merekayasa struktur molekul karet alam sehingga dihasilkan suatu material baru, turunan dari karet alam, yang memiliki karakteristik yang berbeda dengan karakteristik dari karet alam semula. Modifikasi ini umumnya bertujuan untuk memperluas penggunaan karet alam yang selama ini karet alam hanya dapat digunakan sebagai karet penggunaan umum, belum dapat digunakan sebagai karet penggunaan khusus karena karet alam tidak tahan terhadap ozon, panas, oksidasi, cuaca ataupun minyak. Kelemahan sifat karet alam ini disebabkan oleh ikatan rangkap C=C yang terdapat pada struktur molekulnya yang sangat reaktif terhadap kondisi-kondisi diatas. Oleh karena itu, modifikasi karet alam juga merupakan suatu cara untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut, disamping untuk menghasilkan suatu material baru yang memiliki sifat yang unik.

2.2.1 Modifikasi Karet Alam Secara Fisika

Modifikasi karet alam secara fisika adalah suatu teknik atau proses merekayasa struktur molekul karet alam secara fisika dengan cara mencampurkan suatu polimer tertentu dengan karet alam sehingga membentuk campuran yang interaksi diantara keduanya tidak menghasilkan ikatan kimia, yang umumnya dikenal sebagai *poliblend*. Dalam *poliblend* terbentuk sistem dua fasa yang terdiri dari fasa terdispersi dan medium pendispersi sebagai matrik, yang campuran pada sistemnya dapat bersifat homogen ataupun heterogen. *Poliblend* homogen dapat membentuk film yang transparan dengan T_g tunggal, sedangkan *polibend*

heterogen sebaliknya membentuk campuran yang keruh serta mempunyai T_g majemuk (Surdia, 1998).

2.2.2 Modifikasi Karet Alam Secara Kimia

Modifikasi karet alam secara kimia merupakan suatu teknik mengubah struktur molekul karet alam yang dilakukan dengan cara mereaksikan bahan kimia tertentu sehingga terjadi reaksi kimia dengan molekul karet alam, seperti epoksidasi, degradasi kimia, hidrogenasi, klorinasi, pencangkakan (*grafting*), siklisasi karet alam dll.

2.2.2.1 Degradasi Karet Alam

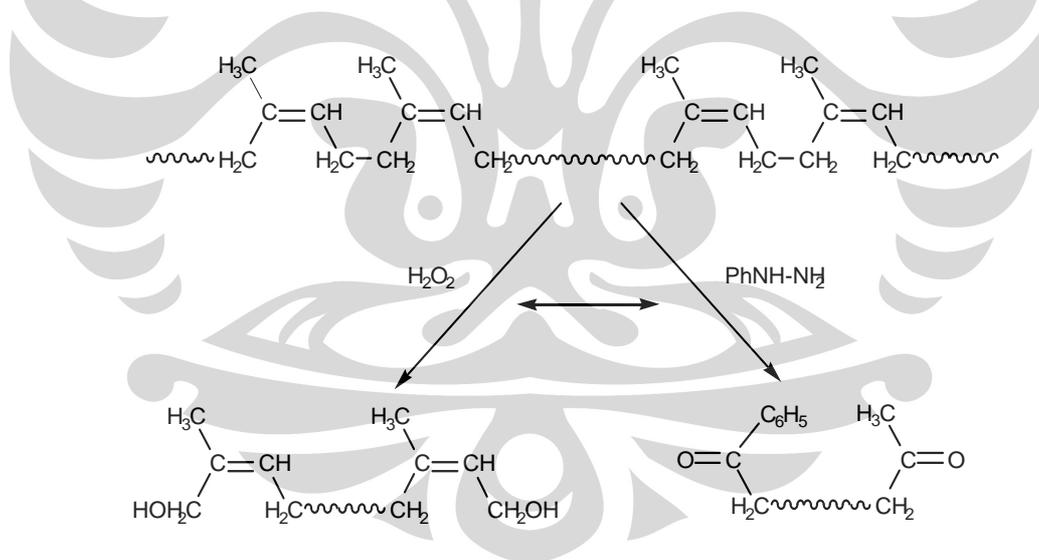
Degradasi polimer merupakan suatu teknik atau proses untuk merekayasa struktur polimer melalui pemutusan ikatan dalam tulang punggung polimer sehingga menyebabkan turunnya berat molekul atau pemendekan panjang rantai polimer (Surdia, 2000). Berdasarkan tekniknya, degradasi polimer dikelompokkan menjadi 5 jenis diantaranya : degradasi termal, mekanik, fotokimia, radiasi kimia, dan biodegradasi.

Umumnya, degradasi pada karet alam menjadi karet cair dapat terjadi melalui kondisi mekanis, panas, dan kimiawi. Dalam proses degradasi tersebut dapat terbentuk reaksi samping seperti epoksidasi dan isomerisasi pada rantai utama (Tangpakdee, Kowitdeerawut, Kawahara, and Tanaka, 2001). Mekanisme reaksi degradasi pada karet alam sampai sekarang belum dapat ditentukan secara rinci karena tergantung dari kondisi dan bahan kimia yang direaksikan dalam sistem, seperti Solanky, Sing, Reyx, and Campistron (2000) menyimpulkan 3 (tiga) skema reaksi yang kemungkinan terjadi pada proses degradasi karet alam melalui oksidasi yang dipicu dengan penyinaran cahaya (*photo-oxidation*) atau oksidasi yang dipicu dengan panas (*thermo-oxidation*) dengan uraian skema dibawah ini :

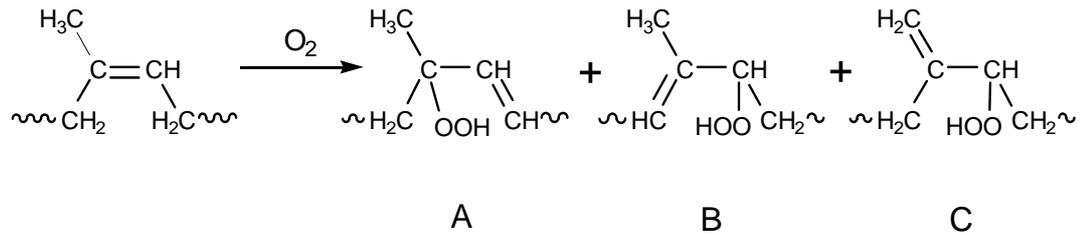
1. skema 1 (satu) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, pada skema 1 (satu) proses degradasi karet alam dapat terjadi melalui dua metode diantaranya : (a) proses pemutusan rantai molekul karet alam melalui proses oksidasi yang dipicu panas dengan penambahan bahan fenil hidrazin sebagai pencepat

proses oksidasi melalui pembentukan radikal fenil. Produk degradasinya menghasilkan rantai molekul dengan gugus fungsi fenil-keton dan metil-keton pada ujung rantai molekulnya. (b) pemutusan rantai molekul karet alam melalui proses oksidasi yang dipicu dengan penyinaran cahaya dan dikatalisa dengan hidrogen peroksida. Produk akhirnya berupa rantai molekul yang memiliki gugus fungsi hidroksi pada ujung rantai molekulnya.

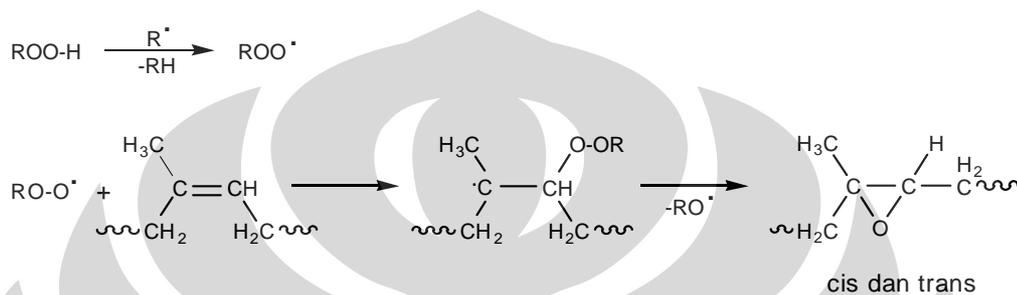
2. skema 2 (dua) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, pemutusan rantai molekul karet alam melalui proses oksidasi yang dipicu dengan penyinaran dan adanya oksigen dimana hidroperoksida alilik muncul akibat reaksi "oksigen singlet" melalui mekanisme reaksi 'ene'.
3. skema 3 (tiga) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, degradasi karet alam melalui proses oksidasi yang dipicu dengan penyinaran cahaya melalui mekanisme pembentukan radikal bebas. Epoksidasi ikaran rangkap dua C=C terbentuk melalui reaksi adisi radikal peroksi dan reaksi eliminasi radikal alkoksi.



Gambar 2.3 Skema 1 (satu) proses degradasi karet alam secara oksidasi yang dipicu penyinaran cahaya atau panas



Gambar 2.4 Skema 2 (dua) proses degradasi karet alam secara oksidasi yang dipicu penyinaran cahaya atau panas



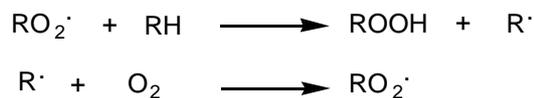
Gambar 2.5 Skema 3 (tiga) proses degradasi karet alam secara oksidasi yang dipicu penyinaran cahaya atau panas

Menurut Bolland and Gee dalam Roberts (1988) bahwa oksidasi karet alam dapat menyebabkan degradasi karet alam, bahkan dapat mengakibatkan pemutusan rantai molekul karet alam. Bolland and Gee mengusulkan reaksi auto-oksidasi karet alam melalui mekanisme reaksi berantai radikal bebas dengan tahapan reaksi sebagai berikut :

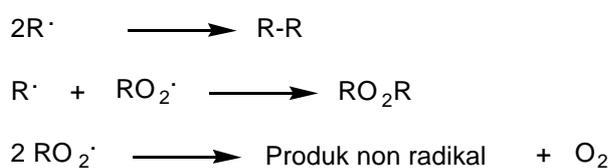
Inisiasi :



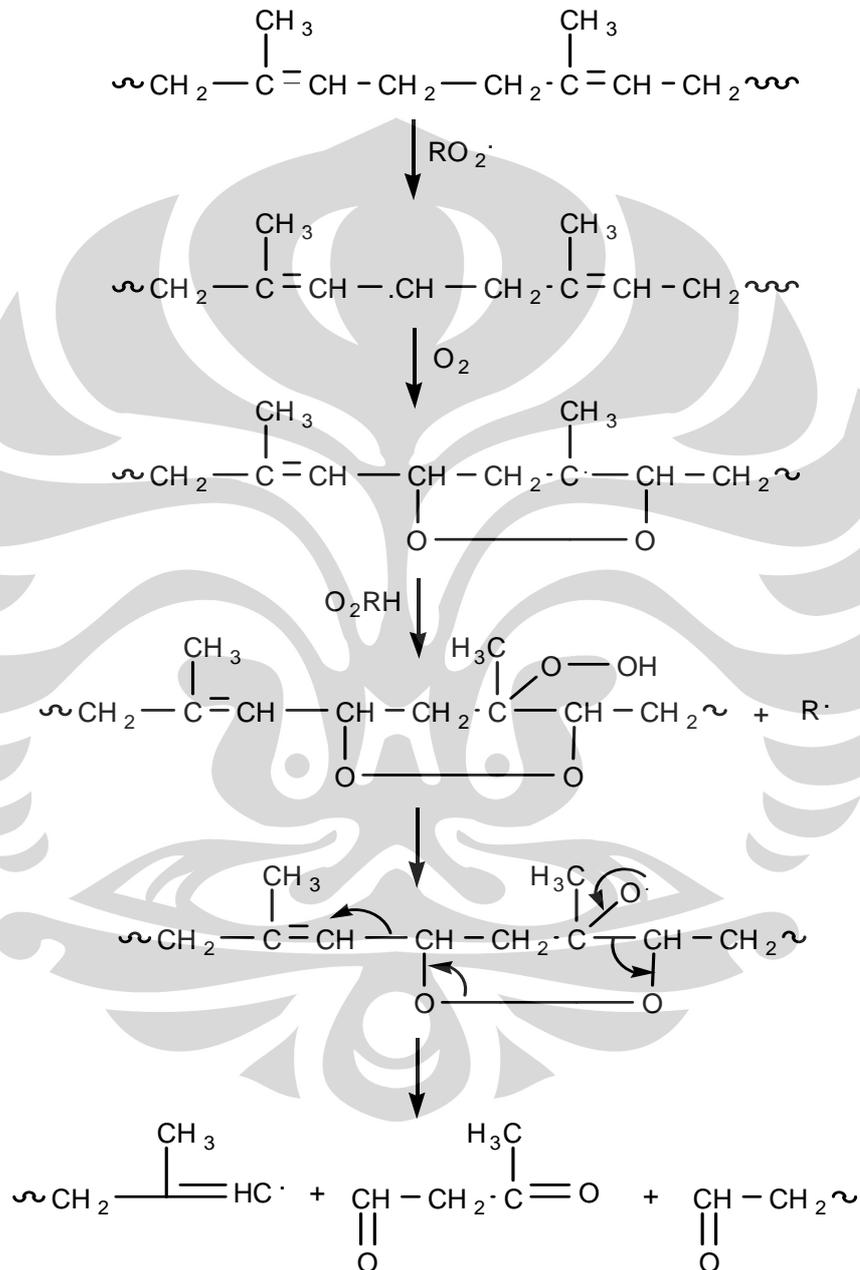
Propagasi :



Terminasi :



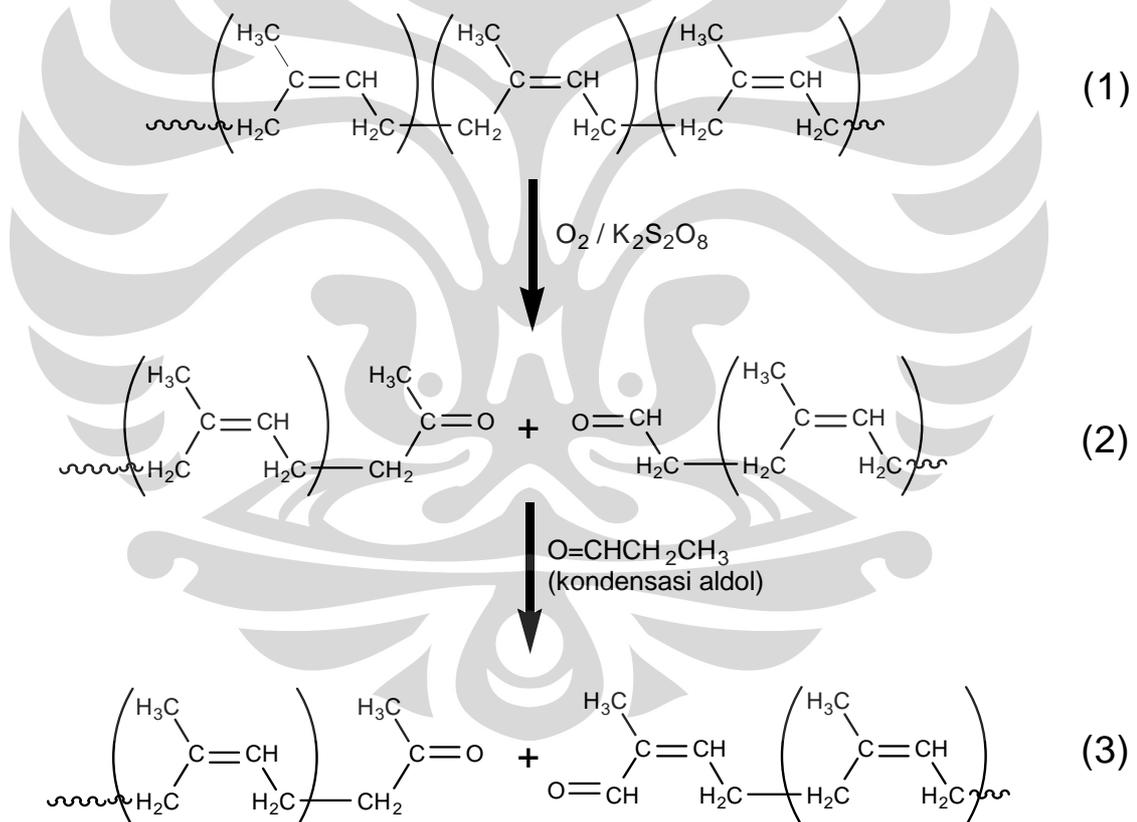
Berdasarkan tahapan reaksi diatas, adanya bahan hidroperoksida dengan konsentrasi yang sangat rendah pun dapat terdekomposisi menjadi sumber radikal yang dapat memulai terjadinya mekanisme reaksi berantai radikal bebas. Proses auto-oksidasi karet alam yang mengakibatkan pemutusan rantai molekul dijelaskan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Mekanisme auto-oksidasi karet alam

Disamping mekanisme reaksi degradasi karet alam diatas, Tangpakdee, Mizokoshi, Endo, and Tanaka (1998) juga mengusulkan mekanisme reaksi degradasi lateks karet alam secara oksidasi dengan bahan $K_2S_2O_8$ dan propanol dengan uraian di bawah ini :

- (1) pemutusan rantai molekul karet alam melalui proses oksidasi dengan penginisiasi radikal bebas.
- (2) penambahan propanal (CH_3CH_2CHO) memungkinkan terjadinya reaksi kondensasi untuk menghasilkan produk degradasi oksidatif yang stabil.
- (3) produk degradasi karet alam yang memiliki gugus fungsi keton dan aldehid pada ujung rantainya.

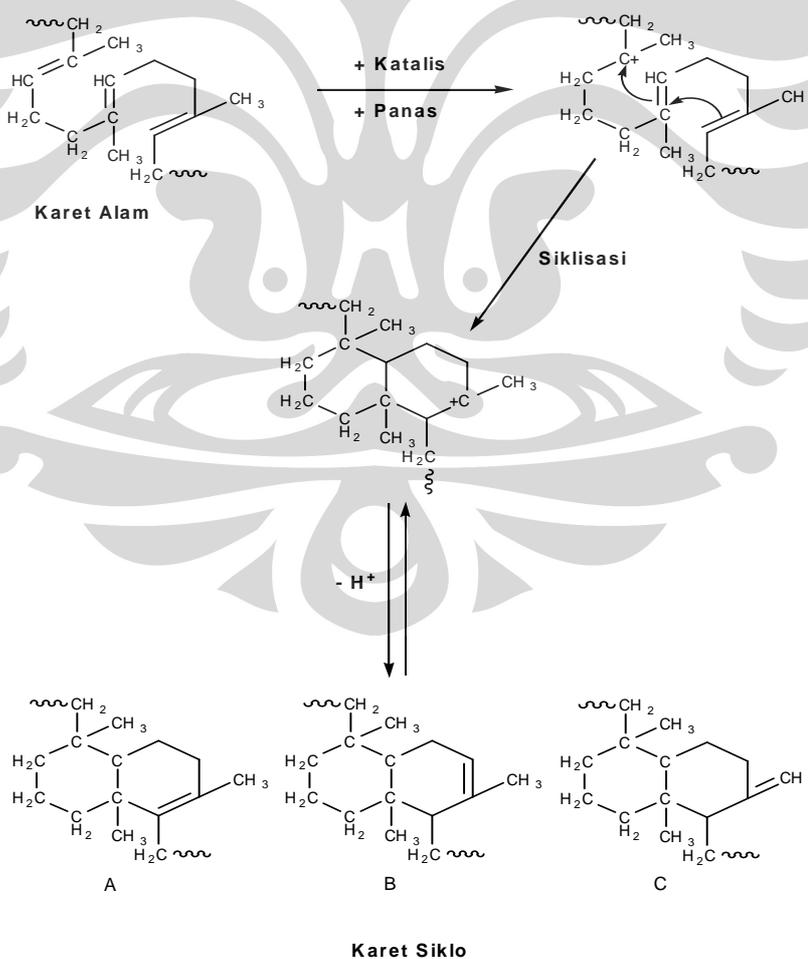


Gambar 2.7 Mekanisme reaksi degradasi oksidatif lateks karet alam dengan bahan $K_2S_2O_8$ dan propanal

2.2.2.2 Karet Siklo

Karet siklo (*cyclized rubber*) adalah suatu material turunan dari karet alam yang diperoleh melalui proses siklisasi karet alam, yaitu proses modifikasi struktur molekul karet alam secara kimiawi yang semula berupa rantai terbuka menjadi struktur molekul yang melingkar (Stolka, Vodehnal, and Kossler, 1964). Proses siklisasi karet alam terjadi melalui dua tahap, yaitu :

1. terbentuknya ion karbonium pada ikatan rangkap didalam molekul karet *cis*-polyisoprene yang diinisiasi oleh asam sulfat pekat atau katalis yang bersifat asam sebagai donor proton. Pada tahap ini ion karbonium yang terbentuk secara acak dan tidak stabil
2. ion karbonium yang tidak stabil akan tersiklisasi membentuk struktur monosiklik atau polisiklik. Pada karet siklo dengan struktur monosiklik masih tersisa ikatan rangkap sekitar 50 %, sedangkan struktur polisiklik masih tersisa sekitar 25 % ikatan rangkap.



Gambar 2.8 Mekanisme reaksi pembentukan karet siklo

Karet siklo dapat dibuat dari proses siklisasi karet alam padat, larutan karet alam ataupun lateks alam. Karet siklo dari proses siklisasi karet padat dibuat dengan cara mencampurkan lembaran karet alam dengan katalis asam sulfat atau asam p-toluen sulfonat secara langsung pada alat gilingan rol ganda. Teknologi ini kurang berkembang dikarenakan menimbulkan kerusakan pada alat gilingan yang digunakan. Kemudian karet siklo dari larutan karet dibuat dengan cara mereaksikan katalis bersifat asam (asam Lewis) seperti Boron trifluorida (BF_3), SnCl_4 , TiCl_4 , FeCl_3 , dengan karet alam yang telah dilarutkan dengan pelarut organik, seperti pelarut benzen dan fenol pada kondisi temperatur berkisar $60 - 80^\circ\text{C}$ (Morton and Heller, 1963). Adanya proses pelarutan karet dengan pelarut organik tersebut dengan kebutuhan penggunaan pelarut yang cukup banyak, pembuatan karet siklo dari larutan karet memerlukan biaya produksi yang tinggi karena pada umumnya pelarut organik umumnya diperoleh dari minyak bumi dan turunannya. Hal ini selanjutnya mengakibatkan harga produk karet siklo dari larutan karet yang mahal. Karet siklo dari larutan karet umumnya digunakan untuk industri cat, perekat dan pelapis. Sedangkan karet siklo dari lateks alam dibuat dengan cara mereaksikan katalis asam sulfat dengan lateks alam. Menurut Riyajan and Sakdapipanic (2006), proses siklisasi lateks karet alam dengan asam sulfat menghasilkan karet siklo dengan derajat siklisasi yang dipengaruhi oleh temperatur reaksi, kadar karet kering, konsentrasi H_2SO_4 , dan waktu reaksi. Penampakan produk karet siklo dari siklisasi lateks karet alam tersebut bermacam-macam tergantung derajat siklisasinya, seperti : bahan menyerupai karet (*rubbery*), bahan menyerupai karet yang keras (*hard rubbery*), dan bahan menyerupai serbuk (*powdery*). Hasil penelitiannya dinyatakan bahwa kondisi yang baik untuk membuat karet siklo dari lateks karet alam berprotein rendah dengan asam sulfat pekat sebagai katalis adalah proses siklisasi dilakukan pada temperatur 90°C selama 3 jam dengan kadar asam sulfat pekat sebesar 54 % (w/w) dan kadar karet kering 50 %.

Dalam pembuatan karet siklo idealnya tidak ada lagi ikatan rangkap dalam struktur molekulnya, namun keadaan tersebut sangat sulit tercapai sehingga karet siklo dengan struktur polisiklik dianggap sebagai produk akhir dari proses siklisasi karet alam.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dilaksanakan adalah melalui pendekatan ekperimental, yaitu mengamati pengaruh variabel-variabel dalam percobaan terhadap hasil yang diperoleh untuk mengetahui korelasinya. Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah dosis kombinasi bahan pendegradasi, waktu reaksi degradasi, dan jenis lateks karet alam untuk proses siklisasi.

Penelitian yang dilaksanakan digolongkan sebagai penelitian pengembangan, yaitu dengan mengadakan serangkaian pengembangan percobaan dari hasil penelitian terdahulu untuk mengetahui suatu faktor tertentu terhadap karakteristik hasilnya. Dalam penelitian ini, pada tahap awal dilakukan penelitian pengaruh dosis kombinasi bahan pendegradasi (H_2O_2 dan $NaNO_2$) dan waktu reaksi dalam proses degradasi lateks karet alam. Berdasarkan penelitian awal tersebut diperoleh lateks karet alam yang memiliki bobot molekul relatif rata-rata viskositas karet terendah yang selanjutnya dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan karet siklo. Karet siklo yang dihasilkan tersebut diharapkan memiliki karakteristik yang lebih baik terutama sifat kelarutan dalam pelarut hidrokarbon dan daya lekatnya, dibandingkan dengan karet siklo yang diperoleh dari reaksi siklisasi lateks karet alam umumnya. Rincian metode penelitian yang akan dilaksanakan seperti berikut dibawah ini.

3.1 Bahan dan Alat

Dalam penelitian ini digunakan bahan-bahan sebagai berikut :

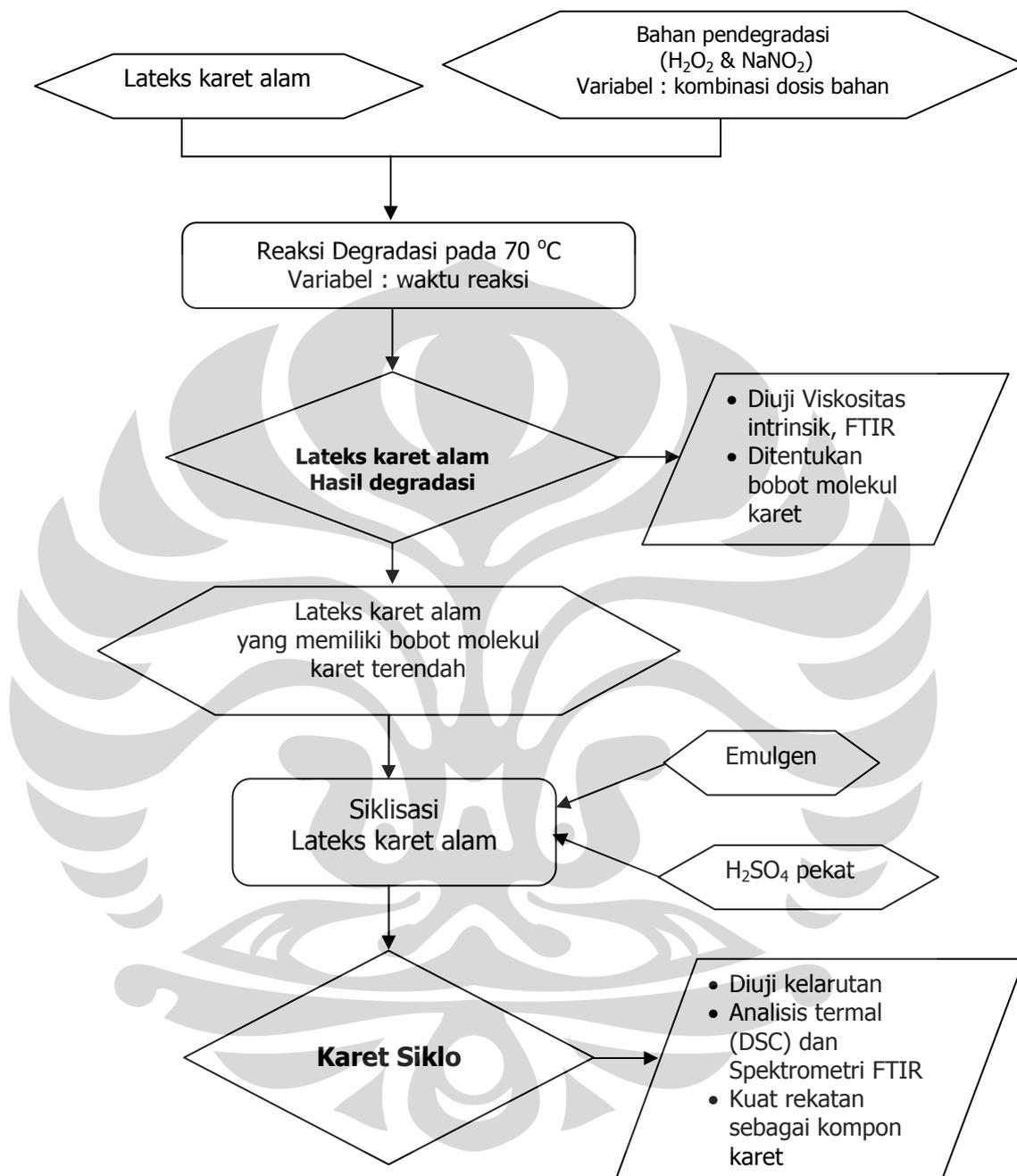
- Lateks kebun klon campuran, dari kebun Ciomas-Bogor
- Hidrogen peroksida, H_2O_2 teknis
- Natrium nitrit, $NaNO_2$ p.a
- Asam askorbat, teknis
- Larutan amonia (NH_4OH), teknis
- Surfaktan emal (natrium lauril sulfat)

- Surfaktan emulgen (polioksietilen lauril eter)
- Aseton teknis
- Toluena p.a
- Toluena teknis
- Asam sulfat pekat, H₂SO₄ teknis
- Kloroform p.a
- ZnO
- Asam stearat
- Sulfur
- TBBS (*N-tert Butyl-benzothiazole 2-sulphenamide*)

Kemudian alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- viskometer Ubbelohde
- spektrometer FTIR Biorad FTS 135
- DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) Mettler Toledo type 821^e
- tensometer Instron
- alat sentrifus lateks
- mesin giling dua rol terbuka
- penekan hidroulik
- pengaduk (*agitator*)
- pemanas air (*waterbath*)
- oven
- neraca analitik
- termometer
- batang pengaduk
- indikator universal
- saringan 500 dan 325 *mesh*
- *stop watch*
- peralatan gelas
- perlengkapan plastik

3.2 Skema Penelitian



Gambar. Diagram alir penelitian

3.3 Prosedur Penelitian

a. Penyiapan lateks pekat

Lateks pekat diperoleh dengan cara memekatkan lateks kebun dengan alat sentrifus. Sebelum dilakukan proses pemekatan, lateks kebun yang diperoleh dari kebun karet Ciomas (Bogor) ditambahkan larutan amoniak sehingga kadar amoniak di dalam lateks sebesar 0,2 %. Penambahan larutan amoniak ini dimaksudkan untuk mengawetkan lateks dan sebagai bahan penstabil lateks. Disamping itu, di dalam lateks juga ditambahkan surfaktan emal dan emulgen dengan dosis 1 bsk (bagian per seratus karet). Lateks hasil pemekatan dengan alat sentrifus tersebut kemudian diuji Kadar Karet Kering dan viskositas Intrinsiknya, serta ditentukan juga berat molekul karet. Sampel lateks pekat ini kemudian digunakan sebagai bahan baku untuk proses degradasi karet alam dan juga proses siklisasi untuk memperoleh karet siklo sebagai kontrol.

b. Degradasi lateks karet alam

Degradasi lateks karet alam pada percobaan ini menggunakan teknik degradasi secara kimia melalui oksidasi lateks karet alam yang dipicu dengan energi panas (*thermo-oxidation*), dengan prosedur sebagai berikut : lateks pekat sebanyak 400 gram dimasukkan kedalam gelas kimia 1 L, lalu ditambahkan emal dengan dosis 1 bsk, asam askorbat 3 bsk, serta H_2O_2 dan $NaNO_2$ dengan dosis divariasikan (sesuai formula dalam Tabel 3.1). Sampel dalam gelas kimia tersebut kemudian diletakkan di dalam *water bath* dengan temperatur sistem dipertahankan sebesar $70^\circ C$ sambil diaduk dengan agitator dengan putaran sebesar 200 rpm. Degradasi lateks karet alam dilakukan dengan variasi waktu reaksi selama 2 ; 4 ; 6 ; 8 jam.

Tabel 3.1 Formulasi bahan kimia untuk proses degradasi karet alam

Resep Kering		Resep Basah	
Karet Alam	100 bsk	Lateks Alam (KKK 55,5 %)	400 gr
H_2O_2	1 ; 2 ; 3 bsk	H_2O_2 (50 %)	4,44 gr ; 8,88 gr ; 13,32 gr
$NaNO_2$	1 ; 2 ; 3 bsk	$NaNO_2$ (50 %)	4,44 gr ; 8,88 gr ; 13,32 gr
Emal	1 bsk	Emal (20 %)	11,1 gr
As. Askorbat	3 bsk	Asam Askorbat (25 %)	26,64 gr

Keterangan : bsk = bagian per seratus karet

c. Karakterisasi lateks karet alam hasil degradasi molekul

Lateks karet alam yang telah dilakukan proses degradasi molekul ditambahkan aseton agar terjadi endapan karet. Kemudian endapan karet tersebut digiling sehingga membentuk lembaran karet lalu dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 70°C selama kurang lebih 1,5 jam. Setelah karet alam mengering, kemudian dilarutkan dengan toluen p.a untuk ditentukan viskositas intrinsik dan berat molekul karetnya. Untuk analisis FTIR, karet alam dilarutkan dengan pelarut kloroform p.a.

Viskositas intrinsik karet alam ditentukan menggunakan alat viskometer Ubbelohde, dengan prosedur sebagai berikut : sampel karet sebanyak 0,125 gram dilarutkan dalam 25 ml toluen p.a (konsentrasi 0,5 % b/v). Dalam pengujian ini, ditetapkan 5 sampel larutan dengan konsentrasi 0,5 %, 0,4 %, 0,3 %, 0,2 %, dan 0,1 % b/v. Sampel larutan karet dengan konsentrasi dibawah 0,5 % b/v dibuat dari pengenceran larutan toluen konsentrasi 0,5% b/v. Pertama-tama waktu alir toluen (t_0) ditentukan. Sebanyak 10 ml toluen dimasukkan ke dalam viskometer, lalu ditentukan waktu alirnya pada suhu 35°C. Selanjutnya waktu alir masing-masing sampel (t_n) larutan karet juga ditentukan, setiap sampel dan blanko diuji sebanyak 5 (lima) kali ulangan. Kemudian data hasil pengujian waktu alir dihitung rata-ratanya, selanjutnya dihitung viskositas relatif, viskositas spesifik, viskositas tereduksi dan dibuat kurva hubungan antara konsentrasi larutan karet alam (sumbu x) dengan viskositas tereduksi (sumbu y). Kurva tersebut berbentuk garis lurus sehingga dapat ditentukan persamaan garisnya dengan cara regresi linear. Nilai titik potong pada sumbu y merupakan nilai yang menunjukkan viskositas intrinsik karet. Kemudian bobot molekul relatif rata-rata viskositas ditentukan melalui persamaan Mark-Houwink-Sakurada.

Bila larutan polimer encer, maka :

$\rho \cong \rho_0$, sehingga :

- viskositas relatif, $\eta_r = \frac{t}{t_0}$

- viskositas spesifik, $\eta_{sp} = \eta_r - 1$

- viskositas tereduksi, $\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{C}$

- viskositas intrinsik, $[\eta] = \lim_{C \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{C}$

- persamaan Mark-Houwink-Sakurada, $[\eta] = K \cdot (M_v)^a$

untuk karet alam dengan pelarut toluen pada temperatur 35°C (Brandrup, Immergut, and Grulke, 1999) nilai konstanta :

- $K = 17,4 \times 10^{-3} \text{ ml/g}$
- $a = 0,74$

d. Pembuatan karet siklo

Sebanyak 400 gram lateks hasil degradasi molekul yang memiliki bobot molekul karet terendah ditambahkan surfaktan emulgen dengan dosis 2 bsk. Kemudian ditambahkan asam sulfat pekat sedikit demi sedikit sambil dilakukan pengadukan. Asam sulfat yang ditambahkan ke dalam lateks disesuaikan dengan berat karet alam (berat asam sulfat pekat : berat karet alam = 2,3 : 1). Kondisi reaksi dipertahankan pada kisaran temperatur $100 \pm 3^\circ\text{C}$ dan waktu reaksi selama 2,5 jam. Untuk karet siklo kontrol digunakan bahan baku dari lateks pekat.

e. Pembuatan kompon karet dan perekat

Karet alam, karet siklo, dan bahan kimia karet dicampurkan di dalam mesin giling dua rol terbuka untuk membuat kompon karet. Formulasi bahan sesuai dengan Tabel 3.2. Dalam pencampuran karet alam dengan bahan kimia karet tersebut, mula-mula karet alam dimastikasi selama 7 menit dengan mesin gilingan dua rol terbuka untuk melunakkan karet sehingga bahan kimia karet mudah bercampur. Kemudian bahan kimia karet ditambahkan ke dalam gilingan tersebut satu per satu dengan waktu proses pencampuran yang sama (selama 2 menit) pada masing-masing formulasi kompon yang dibuat. Khusus untuk karet siklo dicampurkan dengan karet dengan gilingan dua rol terbuka selama 4 menit.

Perekat dibuat dengan cara melarutkan kompon karet dengan pelarut toluen teknis. Dalam percobaan ini, untuk melarutkan kompon karet digunakan perbandingan berat antara kompon karet dengan toluen sebesar 1 (satu) bagian berbanding 4 (empat) bagian.

Tabel 3.2 Formulasi bahan kimia untuk pembuatan kompon karet

Bahan	bagian per seratus karet (bsk)	
	A	B
Karet Alam	100	100
ZnO	5	5
Asam stearat	2	2
Karet siklo A	35	-
Karet siklo B	-	35
TBBS	0,7	0,7
Sulfur	2,25	2,25

Keterangan :

- Karet siklo A = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam
- Karet siklo B = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah

f. Karakterisasi karet siklo dan pengujian perekat

Dalam penelitian ini dilakukan karakterisasi karet siklo meliputi : analisa spektrometri FTIR, analisa termal (DSC), dan kelarutan terhadap pelarut hidrokarbon (toluen).

Daya rekat kompon karet yang mengandung karet siklo diuji cobakan kepada substrat karet dan logam. Perekat dioleskan pada substrat tersebut dengan dosis 150 g/m^2 . Kemudian setelah perekat mengering, kedua lempeng substrat direkatkan dan ditekan menggunakan alat penekan hidroulik dengan kondisi penekanan sebesar 110 psi selama 30 menit. Dalam penelitian ini, diamati kuat rekatan perekat tersebut dengan mekanisme rekatan karet ke karet, karet ke logam, dan logam ke logam. Kekuatan rekatan perekat diuji dengan menggunakan alat tensometer Instron dan menggunakan metode uji ASTM D 429-93.

3.4 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium penelitian, Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor yang terletak di Jl. Salak No. 1 Bogor 16151 dan Universitas Indonesia di Jl. Salemba – Jakarta.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Degradasi Lateks Karet Alam

Degradasi lateks karet alam dilakukan untuk mendapatkan lateks yang memiliki bobot molekul lebih rendah, seperti yang telah diuraikan pada tinjauan pustaka bahwa secara umum degradasi polimer merupakan suatu teknik atau proses untuk merekayasa struktur polimer melalui pemutusan ikatan dalam tulang punggung polimer sehingga menyebabkan turunnya bobot molekul atau pemendekan panjang rantai polimer (Surdia, 2000). Produk lateks karet alam hasil degradasi yang memiliki bobot molekul paling rendah dalam percobaan ini selanjutnya akan dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan karet siklo.

Dalam penelitian ini, diamati pengaruh waktu reaksi dan bahan pendegradasi lateks karet alam terhadap lateks hasil degradasinya dan sebagai bahan pendegradasi digunakan kombinasi bahan pendegradasi yaitu H_2O_2 dan NaNO_2 , sedangkan waktu reaksi degradasi dilakukan pada 2, 4, 6, dan 8 jam. Pemakaian kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dan NaNO_2 tersebut didasarkan dari hasil penelitian Zaleha Isa, Yahya, Hassan, and Tahir (2007) bahwa kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dan NaNO_2 pada temperatur reaksi 70°C selama 9 (sembilan) jam dapat menghasilkan lateks karet alam depolimerisasi yang memiliki bobot molekul relatif rata-rata jumlah (\overline{Mn}) sebesar $1,717 \times 10^4$. Hasil lateks depolimerisasi ini memiliki \overline{Mn} yang kecil dibandingkan dari beberapa penelitian tentang degradasi lateks karet alam yang telah diketahui.

Penggunaan bahan pendegradasi H_2O_2 dan NaNO_2 dalam proses degradasi lateks karet alam ini merupakan jenis degradasi secara kimiawi melalui proses oksidasi. Kedua bahan pendegradasi tersebut adalah bahan inisiator yang berfungsi sebagai sumber radikal bebas. Umumnya bahan inisiator apabila diberikan energi (panas, cahaya, atau radiasi) yang memadai dapat terjadi pembentukan radikal bebas. Dalam percobaan ini, pemanasan sistem pada temperatur sebesar 70°C dapat menyebabkan senyawa H_2O_2 mengalami dekomposisi menjadi sumber radikal bebas, yaitu radikal hidroksi ($\cdot\text{OH}$) sedangkan senyawa NaNO_2 dapat menghasilkan radikal bebas $\text{NO}\cdot$ dan $\text{NO}_2\cdot$.

melalui hidrolisis NaNO_2 (Fitch dalam Suda Kiatkamjornwong, Roongkan Nuisin, Guang-Hui Ma, and Shinzo Omi, 2000). Pembentukan radikal bebas dari senyawa NaNO_2 dapat dijelaskan berdasarkan persamaan reaksi di bawah ini :



molekul radikal bebas yang dihasilkan dari senyawa H_2O_2 dan NaNO_2 selanjutnya menjadi pemicu reaksi degradasi secara oksidatif pada molekul karet alam.

4.1.1 Pengaruh Bahan Pendegradasi

Dalam penelitian ini, dipelajari pengaruh dua bahan pendegradasi molekul karet alam yaitu H_2O_2 dan NaNO_2 . Kedua bahan tersebut ditambahkan ke dalam lateks karet alam dengan dosis yang bervariasi, yakni peningkatan dosis bahan pendegradasi H_2O_2 dan juga sebaliknya peningkatan dosis NaNO_2 . Maksud dari perlakuan variasi dosis kombinasi bahan pendegradasi adalah untuk mengetahui efektifitas dari kedua bahan pendegradasi tersebut. Dosis bahan pendegradasi yang digunakan dalam percobaan ini seperti yang tercantum dalam Tabel 3.1 serta hasil pengujian viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas dirangkum dalam Tabel 4.1 dan 4.2.

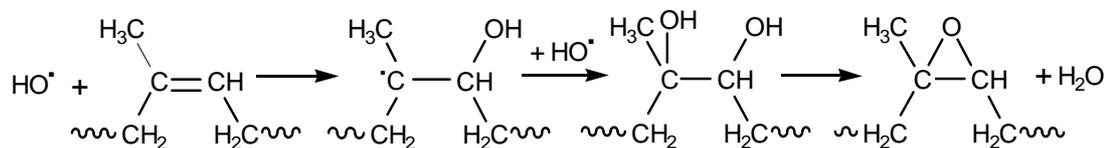
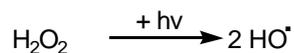
Tabel 4.1. Viskositas intrinsik karet alam hasil degradasi molekul

Waktu	$[\eta] = f([\text{H}_2\text{O}_2] : [\text{NaNO}_2]), [] = \text{dosis dalam bsk}$				
	(1 : 1)	(1 : 2)	(1 : 3)	(2 : 1)	(3 : 1)
2 jam	414,32	408,16	370,385	425,09	425,73
4 jam	413,185	374,415	364,46	400,2	414,425
6 jam	396,76	359,535	349,39	398,35	412,78
8 jam	376,33	309,195	279,31	374,71	374,67
Kontrol	541,66				

Tabel 4.2 Bobot molekul relatif rata-rata viskositas (\overline{M}_v) karet alam hasil degradasi molekul

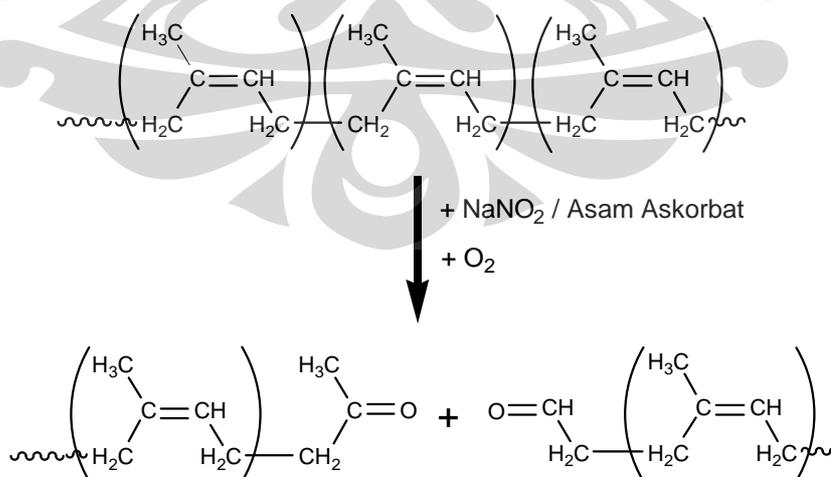
Waktu	$\overline{M}_v = f ([\text{H}_2\text{O}_2], [\text{NaNO}_2], [] = \text{dosis dalam bsk})$				
	(1 : 1)	(1 : 2)	(1 : 3)	(2 : 1)	(3 : 1)
2 jam	$8,23 \times 10^5$	$8,04 \times 10^5$	$7,06 \times 10^5$	$8,50 \times 10^5$	$8,52 \times 10^5$
4 jam	$8,20 \times 10^5$	$7,16 \times 10^5$	$6,92 \times 10^5$	$7,85 \times 10^5$	$8,22 \times 10^5$
6 jam	$7,75 \times 10^5$	$6,78 \times 10^5$	$6,52 \times 10^5$	$7,78 \times 10^5$	$8,17 \times 10^5$
8 jam	$7,21 \times 10^5$	$5,53 \times 10^5$	$4,82 \times 10^5$	$7,17 \times 10^5$	$7,17 \times 10^5$
Kontrol	$1,18 \times 10^6$				

Pengujian viskositas instrinsik ($[\eta]$) karet alam hasil degradasi ditentukan secara viskometri. Berdasarkan hasil pengujian viskositas sampel karet hasil degradasi pada beberapa konsentrasi larutan karet dapat diketahui nilai viskositas intrinsik karet alam hasil degradasi yang selanjutnya bobot molekul relatif rata-rata viskositas (\overline{M}_v) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Mark-Houwink-Sakurada. Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 bahwa peningkatan dosis kombinasi bahan pendegradasi dapat menurunkan viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas. Pada perlakuan perubahan dosis H_2O_2 (dosis 1 sampai dengan 3 bsk) dengan dosis NaNO_2 dan waktu reaksi tetap (tidak ada perubahan), hasil menunjukkan bahwa viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas mengalami penurunan yang tidak nyata. Sedangkan perlakuan perubahan dosis NaNO_2 (dosis 1 sampai dengan 3 bsk) dengan dosis H_2O_2 dan waktu reaksi tetap, hasil menunjukkan sebaliknya bahwa viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas mengalami penurunan yang nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan pendegradasi NaNO_2 lebih efektif dapat memutuskan rantai molekul karet alam menjadi rantai molekul yang lebih pendek dibandingkan dengan bahan pendegradasi H_2O_2 . Berdasarkan Rastogi Aditya, Souhail Al-Abed, and Dionysios D. Dionysiou (2006), bahan H_2O_2 memiliki waktu paruh (*half-life*) yang singkat/pendek sehingga proses degradasi molekul karet alam secara oksidatif yang terjadi kurang baik, belum efektif memutuskan rantai molekul karet alam. Berdasarkan hasil penelitian ini, dugaan reaksi yang terjadi antara bahan pendegradasi H_2O_2 dengan molekul karet alam adalah sebagai berikut :



Karet Alam terepoksida

Berdasarkan Tabel 4.2, degradasi karet alam pada perlakuan perubahan dosis NaNO_2 (dosis 1 sampai dengan 3 bsk) dengan dosis H_2O_2 dan waktu reaksi tetap, menunjukkan penurunan bobot molekul relatif rata-rata viskositas yang nyata. Bobot molekul relatif rata-rata viskositas paling rendah yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar $4,82 \times 10^5$, yang dihasilkan dari proses degradasi dengan perlakuan dosis kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 sebanyak 1 bsk - NaNO_2 sebanyak 3 bsk. Peningkatan dosis bahan NaNO_2 sebagai bahan pendegradasi karet alam menunjukkan penurunan bobot molekul relatif rata-rata viskositas yang cukup besar sehingga bahan NaNO_2 cukup efektif untuk memutuskan rantai molekul karet alam. Berdasarkan hasil penelitian ini, dugaan reaksi yang terjadi antara bahan pendegradasi NaNO_2 dengan molekul karet alam adalah sebagai berikut :

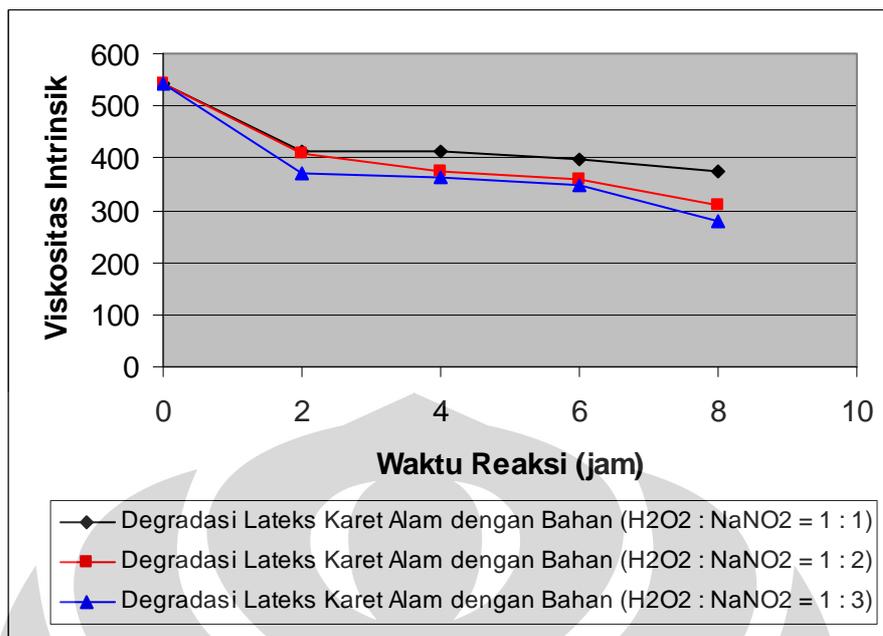


Pada saat bahan pendegradasi NaNO_2 dihidrolisis, menurut Fitch dalam Suda Kiatkamjornwong, Roongkan Nuisin, Guang-Hui Ma, and Shinzo Omi (2000) terbentuk sumber radikal bebas $\text{NO}\cdot$ dan $\text{NO}_2\cdot$ yang berfungsi untuk menginisiasi proses degradasi molekul karet alam. Molekul radikal bebas ini akan menyerang ikatan rangkap $\text{C}=\text{C}$ pada molekul karet alam dan selanjutnya melalui proses oksidasi (O_2) terjadi pemutusan rantai molekul karet alam. Dalam penelitian ini juga ditambahkan asam askorbat yang dapat bereaksi dengan NaNO_2 melalui reaksi redoks. Menurut Detrembleur, Mouithys Nikcalad, Teyssie, and Jerome (2002), reaksi asam askorbat dengan NaNO_2 merupakan reaksi redoks yang menghasilkan sumber radikal nitrosil ($\text{NO}\cdot$). Dengan demikian, adanya asam askorbat dapat berfungsi untuk meningkatkan efektifitas reaksi oksidasi molekul karet alam.

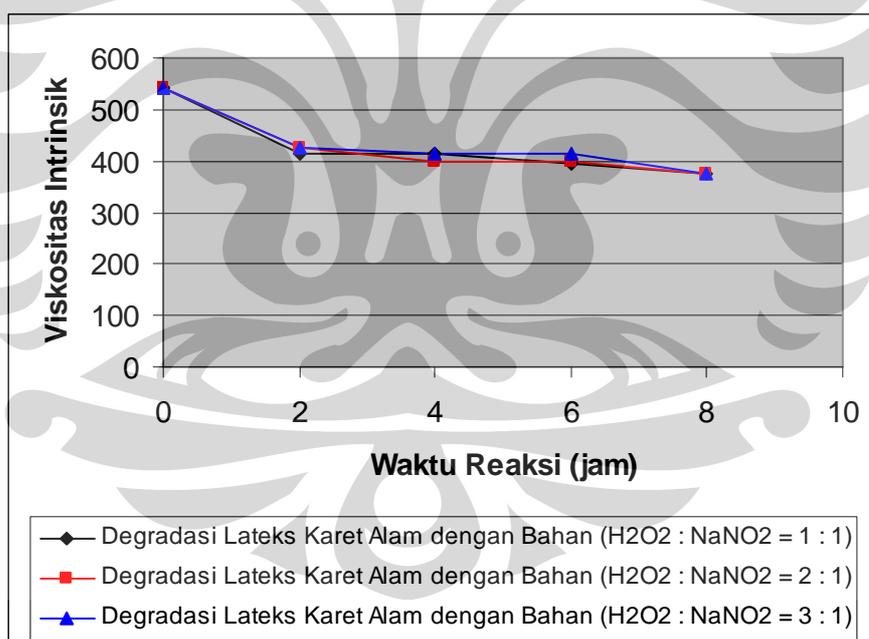
4.1.2 Pengaruh Waktu Reaksi

Pengaruh waktu reaksi degradasi lateks karet alam dengan menggunakan bahan kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dan NaNO_2 terhadap viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas karet alam cukup nyata, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 sampai dengan 4.4. Semakin lama waktu reaksi degradasi dapat mengakibatkan produk degradasi memiliki viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas karet alam yang semakin rendah. Keadaan ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi dapat mengakibatkan pemutusan rantai molekul karet alam menjadi rantai molekulnya semakin pendek. Hal ini tampak secara jelas terutama pada degradasi lateks karet alam dengan perlakuan perubahan dosis bahan pendegradasi NaNO_2 , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.3.

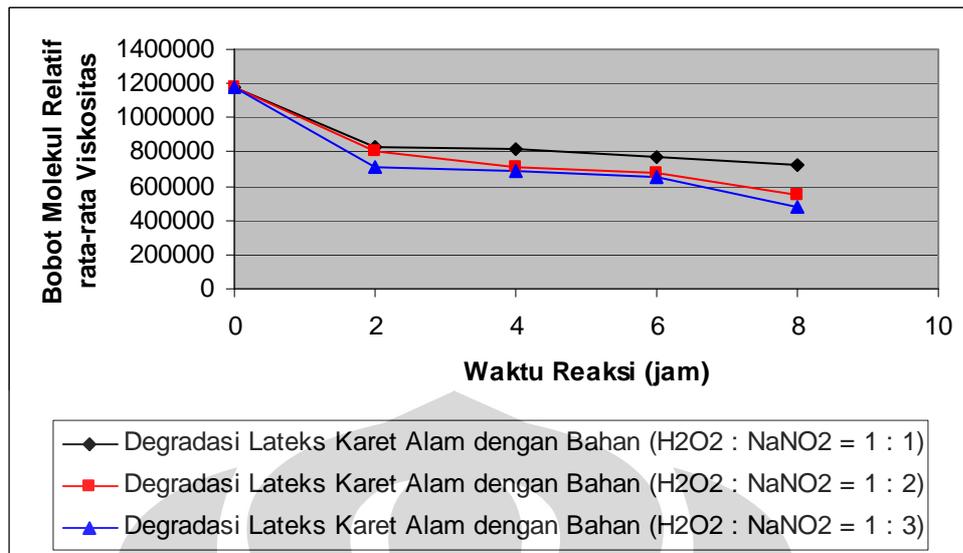
Pada waktu reaksi degradasi lateks karet alam berlangsung selama 8 jam dengan perbandingan dosis kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dengan NaNO_2 sebesar 1 bsk berbanding 3 bsk menghasilkan produk karet alam degradasi yang memiliki viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas karet alam paling rendah yakni viskositas intrinsik sebesar 279,31 dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas karet alam sebesar $4,82 \times 10^5$.



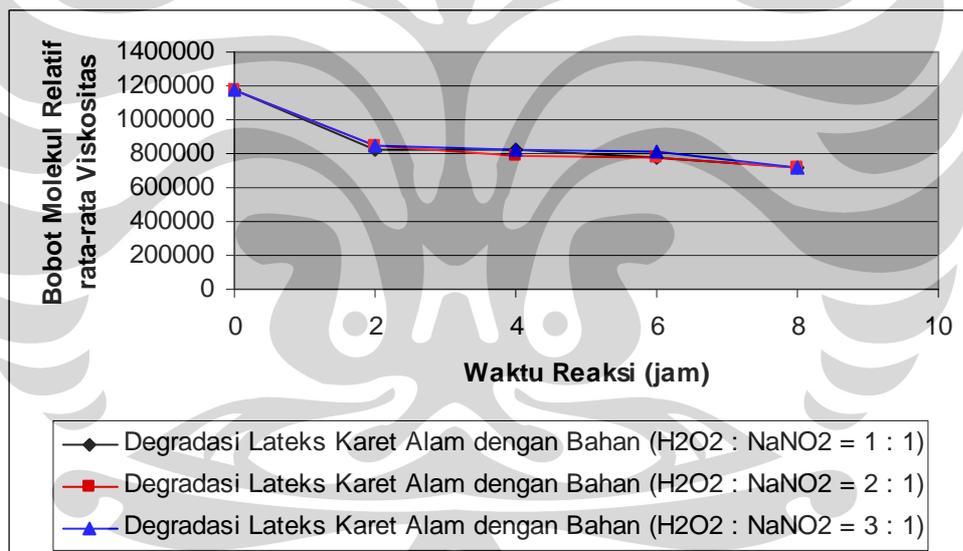
Gambar 4.1 Viskositas intrinsik karet alam dengan perlakuan perubahan dosis bahan pendegradasi NaNO₂ dan waktu reaksi



Gambar 4.2 Viskositas intrinsik karet alam dengan perlakuan perubahan dosis bahan pendegradasi H₂O₂ dan waktu reaksi



Gambar 4.3 Bobot molekul relatif rata-rata viskositas karet alam dengan perlakuan perubahan dosis bahan pendegradasi $NaNO_2$ dan waktu reaksi

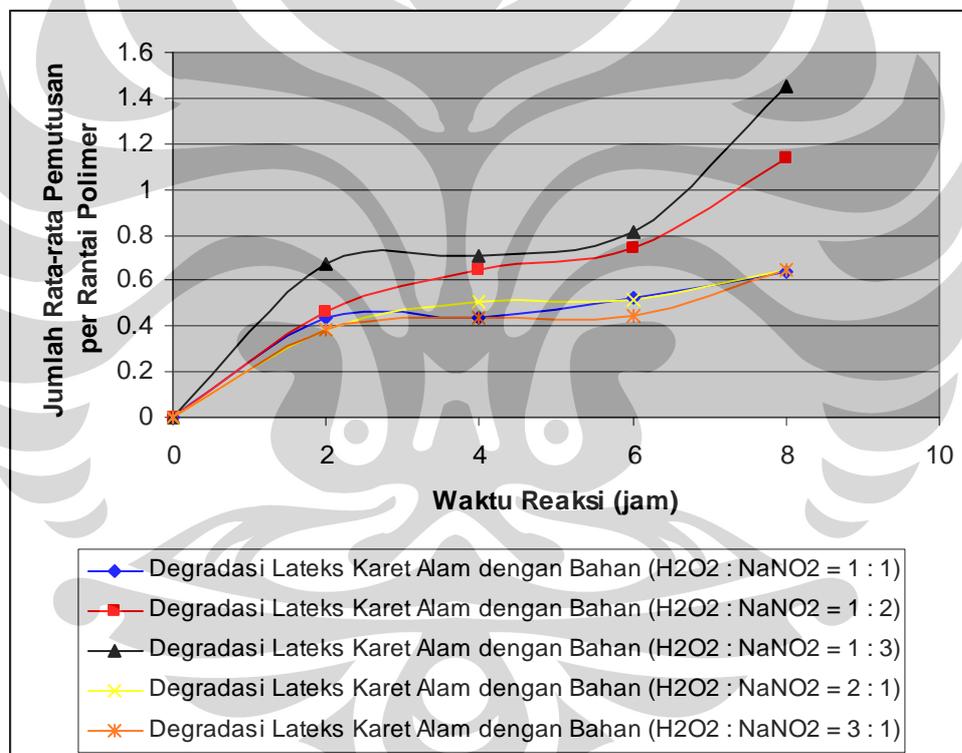


Gambar 4.4 Bobot molekul relatif rata-rata viskositas karet alam dengan perlakuan perubahan dosis bahan pendegradasi H_2O_2 dan waktu reaksi

Laju pemutusan rantai molekul karet alam ditunjukkan pada Gambar 4.5. Laju pemutusan ini ditentukan berdasarkan kemiringan kurva hubungan antara jumlah rata-rata pemutusan per rantai polimer dengan waktu reaksi degradasi karet alam. Persamaan matematis untuk menentukan jumlah rata-rata pemutusan per rantai polimer adalah sebagai berikut :

$$y = \frac{x_0 - x}{x}$$

dengan x_0 menunjukkan derajat polimerisasi karet alam, sedangkan x menunjukkan derajat polimerisasi karet alam hasil degradasi. Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dijelaskan bahwa jumlah rata-rata pemutusan rantai molekul karet alam menggunakan kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dan $NaNO_2$ pada temperatur reaksi sebesar $70^\circ C$ masih kecil. Nilai terbesar dari jumlah rata-rata pemutusan rantai molekul karet alam hasil degradasi dalam penelitian ini baru mencapai 1,4 yang diperoleh dari proses degradasi dengan perlakuan dosis kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 sebanyak 1 bsk - $NaNO_2$ sebanyak 3 bsk.



Gambar 4.5 Laju pemutusan rantai molekul karet alam dengan perlakuan perubahan dosis kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dan $NaNO_2$

4.1.3 Spektra FTIR

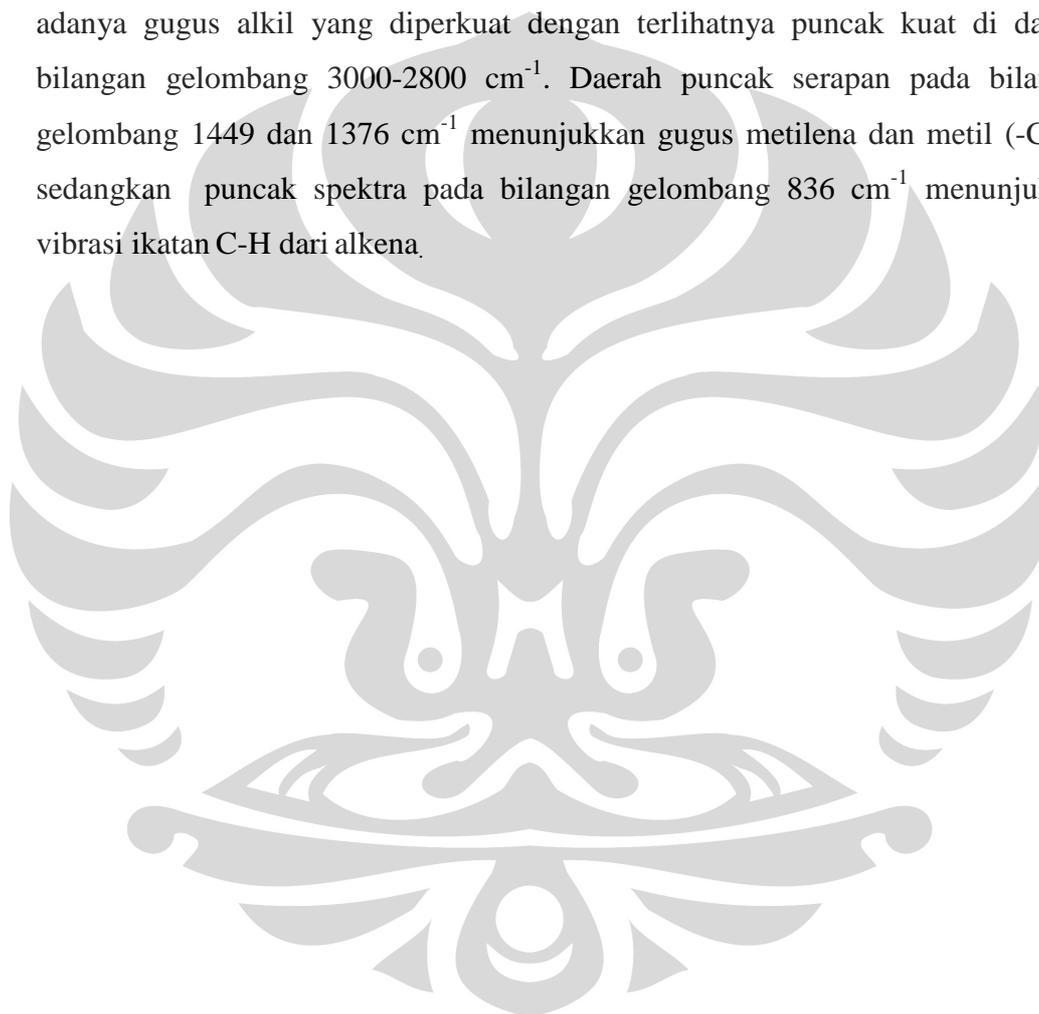
Analisa struktur molekul karet alam hasil degradasi dengan spektrometri FTIR dilakukan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya reaksi pembentukan gugus fungsional dalam proses degradasi tersebut dengan melihat puncak-puncak pada spektrogram FTIR. Masing-masing puncak dari suatu bahan, khususnya

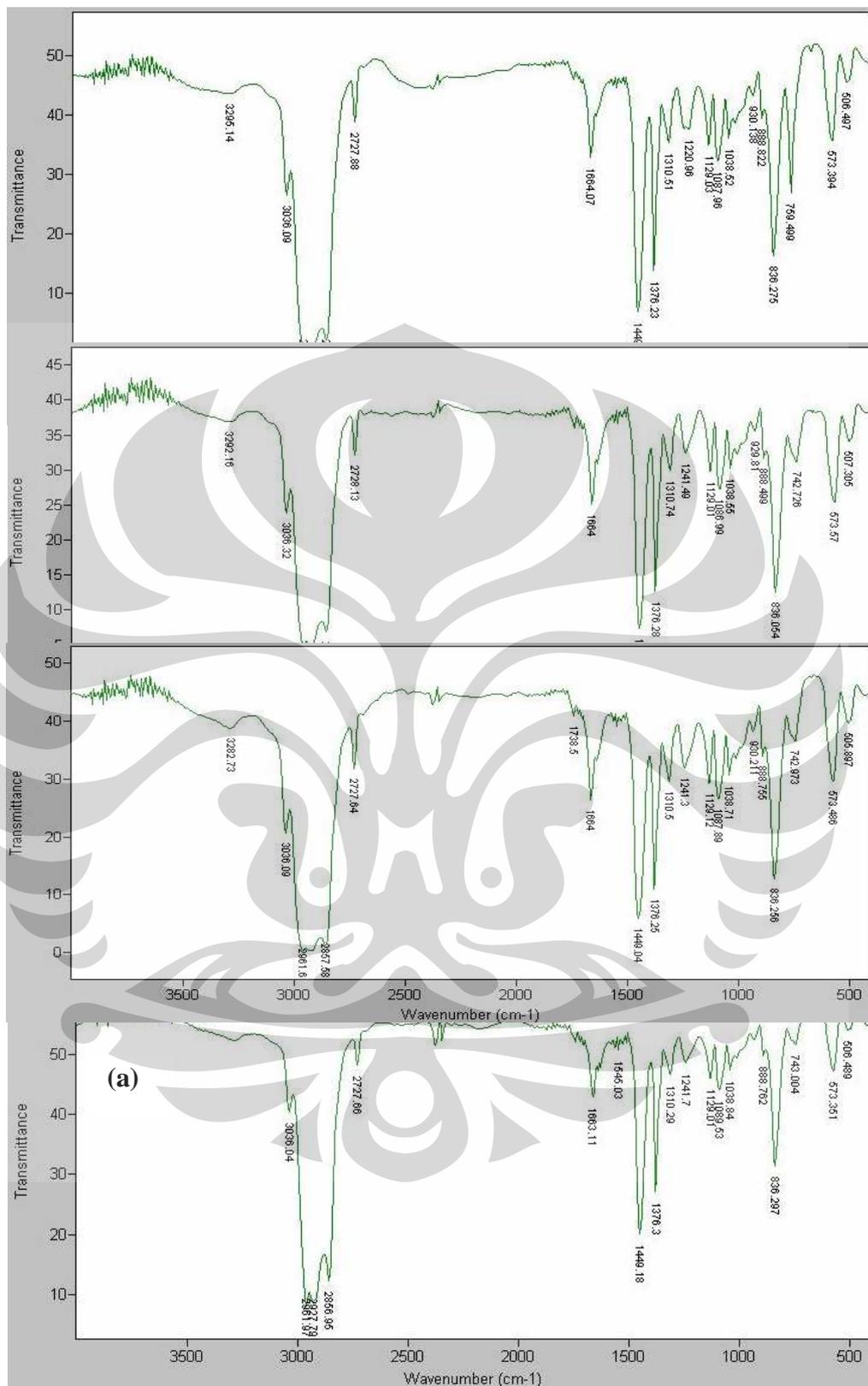
senyawa organik, mempunyai ciri khas tersendiri dalam menyerap gelombang IR yang ditentukan oleh gugus fungsional dalam struktur molekulnya. Spektra FTIR hasil percobaan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7.

Spektrogram FTIR yang ditampilkan pada Gambar 4.6 merupakan perbandingan antara spektrogram FTIR karet alam sebagai kontrol dengan karet alam hasil degradasi selama 8 jam dengan variasi perlakuan perubahan dosis bahan pendegradasi H_2O_2 yang digabungkan dengan NaNO_2 dengan dosis tetap. Alasan penggunaan sampel hasil degradasi yang dilakukan selama delapan jam untuk dianalisa struktur molekulnya dengan spektrometri FTIR adalah sampel tersebut memiliki viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas paling rendah yang dihasilkan dari penelitian sehingga memiliki kemungkinan yang paling besar terjadinya reaksi-reaksi dalam proses degradasi lateks alam sehingga dapat diketahui mekanisme reaksi degradasinya yakni pembentukan gugus fungsional dalam struktur molekul karet alam hasil degradasi. Berdasarkan analisa struktur molekul dengan menggunakan spektrometri FTIR yang ditampilkan pada Gambar 4.6 terlihat bahwa puncak-puncak serapan dari sampel hasil degradasi tidak ada perbedaan dengan puncak serapan karet alam sebagai kontrol, tidak nampak puncak-puncak serapan pada bilangan gelombang yang baru. Walaupun pada puncak serapan sampel (d) pada Gambar 4.6 terlihat adanya puncak serapan yang baru yaitu pada bilangan gelombang $759,499\text{ cm}^{-1}$, namun setelah dianalisa bahwa pada bilangan gelombang tersebut merupakan serapan dari vibrasi ikatan C-Cl yang berasal dari senyawa kloroform (CHCl_3) yang dalam percobaan ini digunakan sebagai pelarut sampel karet alam hasil degradasi dalam penyiapan sampel untuk analisa dengan spektrometri FTIR. Hal ini menunjukkan bahwa proses degradasi lateks alam dengan variasi perlakuan dosis H_2O_2 tersebut tidak terjadi reaksi pembentukan gugus fungsional dalam struktur molekul karet alam hasil degradasinya. Hasil yang serupa juga ditampilkan pada Gambar 4.7, yang memperlihatkan perbandingan antara spektrogram FTIR karet alam sebagai kontrol dengan karet alam hasil degradasi selama 8 jam dengan variasi perlakuan perubahan dosis bahan pendegradasi NaNO_2 yang digabungkan dengan H_2O_2 dengan dosis tetap. Pada Gambar tersebut terlihat tidak ada

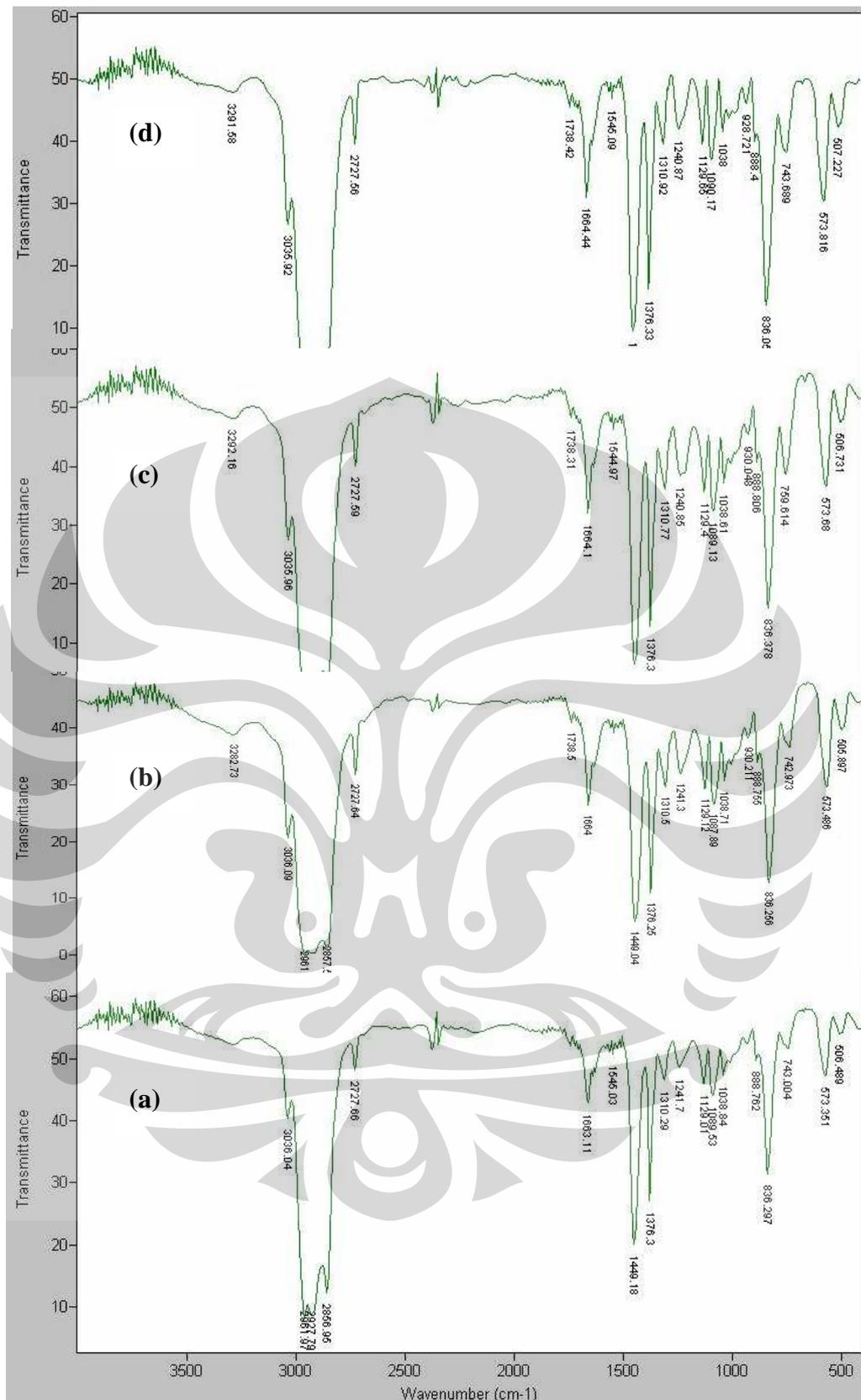
perbedaan puncak-puncak serapan dari sampel karet alam hasil degradasinya dengan karet alam sebagai kontrol.

Dalam analisa struktur molekul karet alam menggunakan spektrometri FTIR terdapat empat puncak spektra yang khas pada daerah bilangan gelombang sekitar 1664, 1449, 1376, dan 836 cm^{-1} . Puncak spektra dengan bilangan gelombang 1664 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan rangkap dua karbon ($\text{C}=\text{C}$). Puncak spektra di daerah bilangan gelombang 1449 dan 1376 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus alkil yang diperkuat dengan terlihatnya puncak kuat di daerah bilangan gelombang 3000-2800 cm^{-1} . Daerah puncak serapan pada bilangan gelombang 1449 dan 1376 cm^{-1} menunjukkan gugus metilena dan metil ($-\text{CH}_3$), sedangkan puncak spektra pada bilangan gelombang 836 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ikatan C-H dari alkena.





Gambar 4.6. Spektra FTIR karet alam hasil degradasi selama 8 jam variasi dosis kombinasi bahan pendegradasi dengan (a) kontrol (b) H₂O₂ : NaNO₂ = 1 : 1 (c) H₂O₂ : NaNO₂ = 2 : 1, (d) H₂O₂ : NaNO₂ = 3 : 1



Gambar 4.7. Spektra FTIR karet alam hasil degradasi selama 8 jam variasi dosis kombinasi bahan pendegradasi dengan (a) kontrol (b) $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{NaNO}_2 = 1 : 1$ (c) $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{NaNO}_2 = 1 : 2$, (d) $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{NaNO}_2 = 1 : 3$

4.2 Pembuatan Karet Siklo

Dalam penelitian ini, karet siklo dibuat dengan cara menambahkan asam sulfat pekat ke dalam lateks karet alam. Asam sulfat pekat berfungsi sebagai katalis untuk pembentukan ion karbonium pada molekul karet alam yang selanjutnya terjadi proses siklisasi. Penambahan asam sulfat pekat ke dalam lateks karet alam dapat menyebabkan penurunan kestabilan lateks sehingga dalam penelitian ini ditambahkan emulgen (surfaktan) yang berfungsi untuk menjaga kestabilan partikel lateks karet alam.

Penambahan asam sulfat pekat ke dalam lateks karet alam menimbulkan energi panas sehingga terjadi peningkatan temperatur sistem karena reaksi bersifat eksotermis. Akibatnya, dalam proses siklisasi lateks karet alam diperlukan kontrol temperatur reaksi agar tidak terjadi kegagalan karena bila temperatur reaksi melebihi 115°C akan terjadi proses pengarangkan sehingga untuk mengatasi hal tersebut pada reaktor dialirkan air dingin.

Indikator visual yang dijadikan penanda keberhasilan proses siklisasi lateks karet alam biasanya melalui perubahan warna pada lateks alam. Lateks karet alam berupa cairan yang berwarna putih ketika direaksikan dengan asam sulfat pekat, jika terjadi proses siklisasi pada lateks karet alam, maka terjadi perubahan warna menjadi berwarna ungu dan dosis asam sulfat pekat mempengaruhi intensitas warna ungu tersebut, semakin tinggi dosis asam sulfat pekat maka akan terbentuk warna ungu semakin tua.

Reaksi siklisasi lateks karet alam menggunakan katalis asam sulfat pekat dihentikan dengan cara penambahan air panas ke dalam lateks tersebut. Penambahan air panas ke dalam lateks karet alam dimaksudkan untuk pengenceran campuran lateks karet alam dengan asam sulfat pekat sehingga terjadi penurunan dan bahkan penghentian kinerja katalis asam sulfat dalam proses siklisasi. Pada saat ditambahkan air panas, terjadi pemisahan partikel produk siklisasi lateks karet alam dalam cairan sistem. Partikel-partikel produk siklisasi tersebut bergerak menuju ke permukaan cairan.

Berdasarkan Coomasamy, Perera, and Nadarajah (1981), karet siklo yang dibuat dari bahan lateks karet alam memiliki kelarutan yang rendah bahkan sukar larut dalam pelarut hidrokarbon sehingga pemanfaatannya terbatas sebagai

bahan pengisi barang jadi karet. Oleh karena itu, untuk meningkatkan ranah aplikasi karet siklo yang dibuat dari lateks karet alam maka dalam penelitian ini dikaji karakteristik karet siklo dari lateks karet alam berbobot molekul rendah. Karakteristik karet siklo dari lateks karet alam berbobot molekul rendah selanjutnya dibandingkan dengan karet siklo dari lateks karet alam.

4.2.1 Rendemen

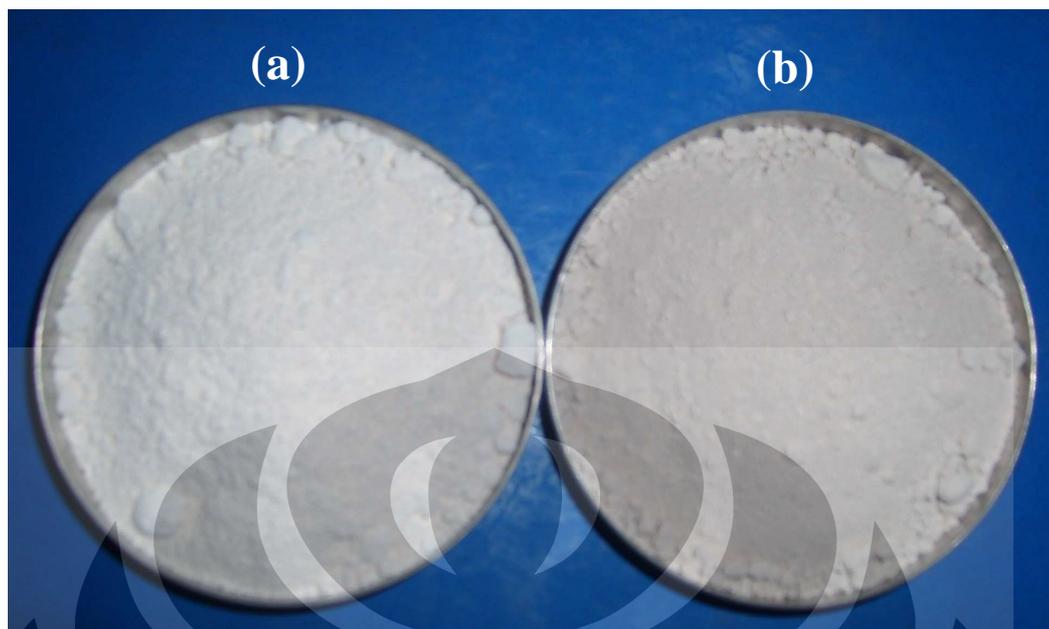
Menurut Riyajan and Sakdapipanih (2006), Penampakkan produk hasil siklisasi bermacam-macam tergantung derajat siklisasinya, seperti : bahan menyerupai karet (*rubbery*), bahan menyerupai karet yang keras (*hard rubbery*), dan bahan menyerupai serbuk (*powdery*). Dalam penelitian ini, dibuat karet siklo dari dua jenis bahan lateks yang berbeda dengan kondisi proses pembuatannya yang sama, yakni pada temperatur reaksi sebesar $100 \pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 2,5 jam dengan menggunakan asam sulfat pekat (98 %). Jenis bahan yang dipakai adalah lateks karet alam dan lateks karet alam berbobot molekul rendah (lateks hasil degradasi molekul karet). Karet siklo yang dihasilkan dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul relatif rata-rata viskositas terendah memiliki bentuk berupa serbuk berwarna putih kecoklatan, sedangkan karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berupa serbuk berwarna putih. Rendemen karet siklo yang dibuat dalam penelitian terangkum dalam Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Rendemen karet siklo

No.	Rendemen	Karet siklo A	Karet siklo B
1.	% Rendemen	93,2	90,2
2.	Bentuk	serbuk	serbuk
3.	Warna	putih	putih ke coklatan

keterangan :

- Karet siklo A = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam
- Karet siklo B = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah



Gambar 4.8 Visual rendemen, (a) karet siklo dari siklisasi lateks karet alam, (b) karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah

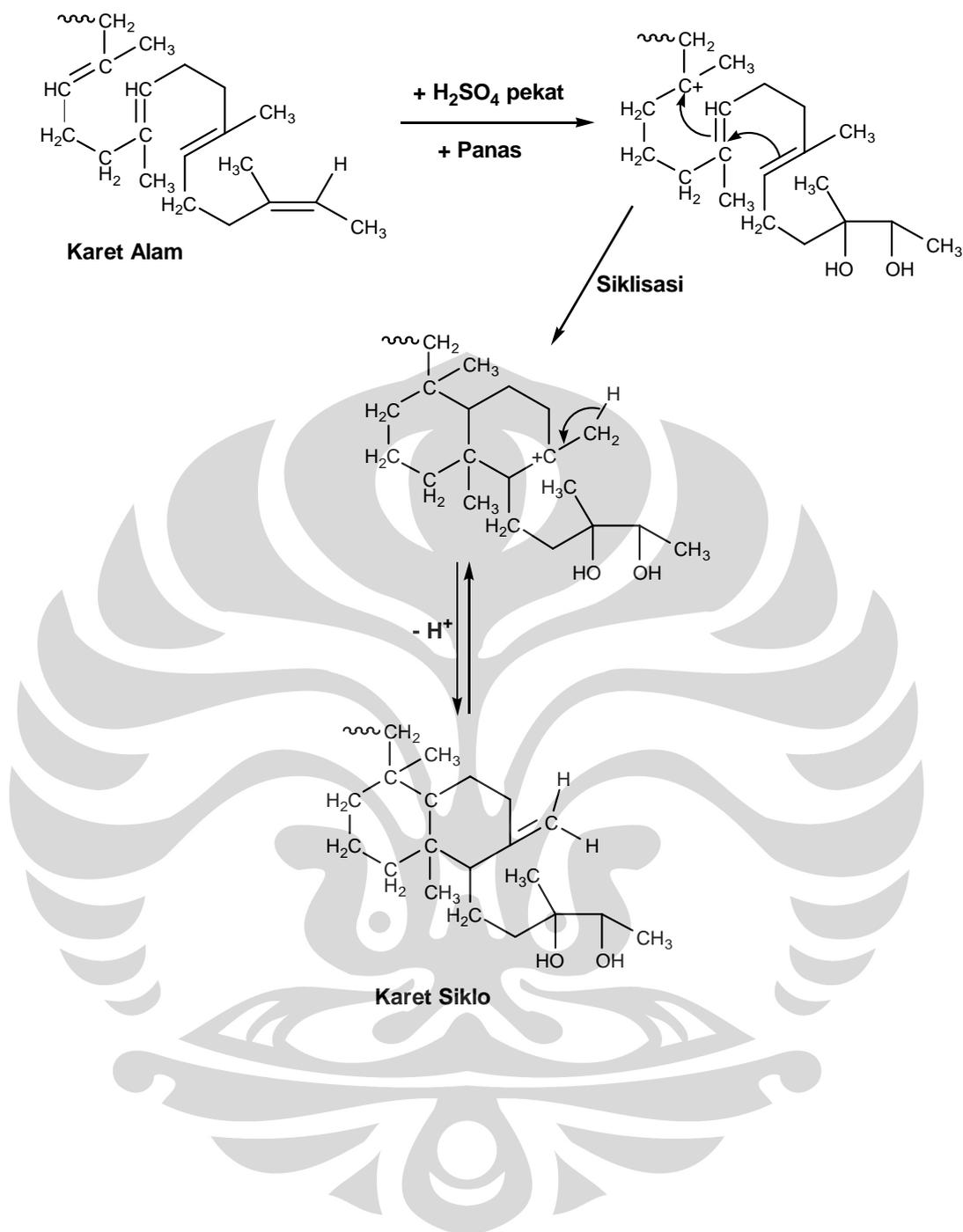
4.2.2 Spektra FTIR

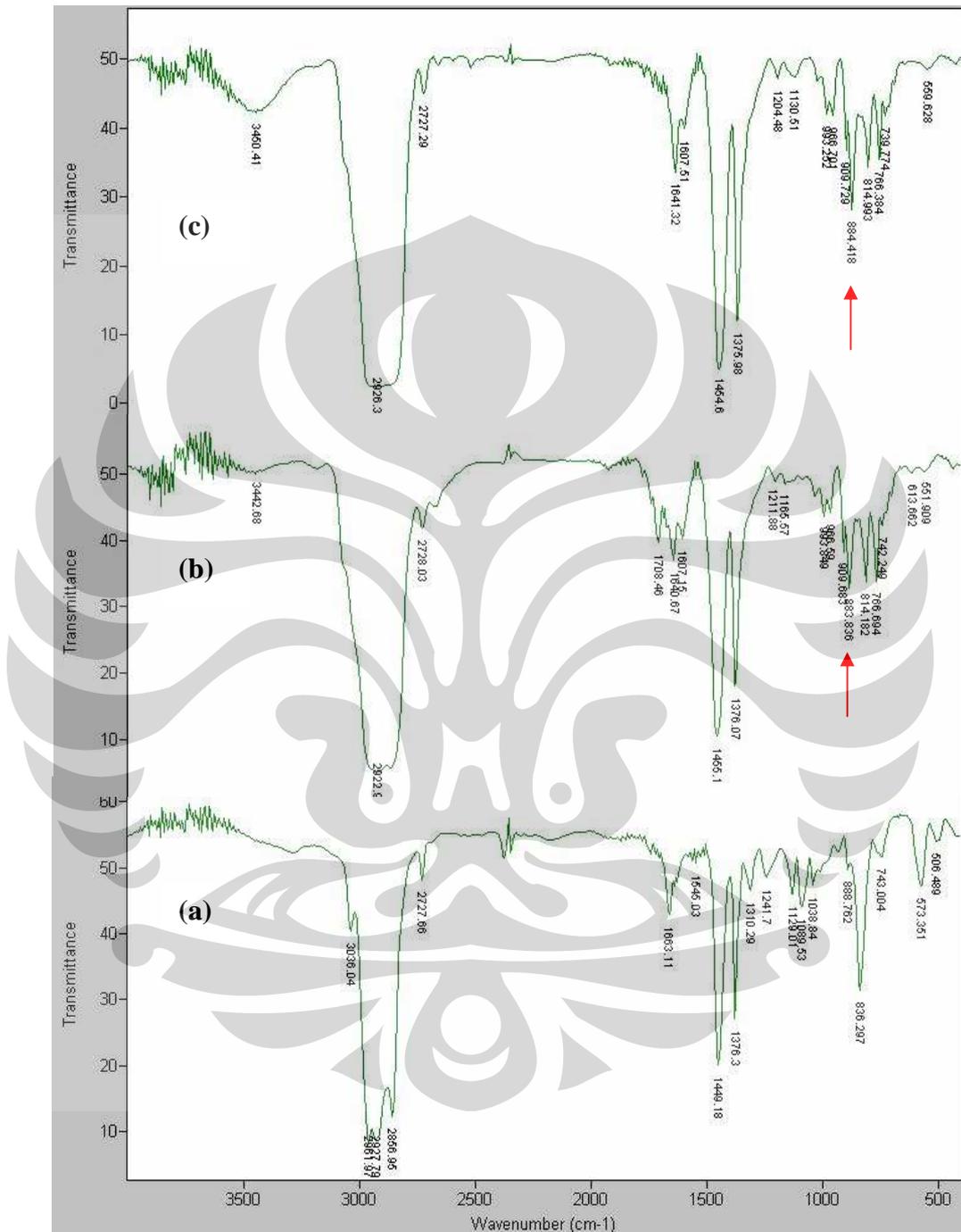
Analisis spektrometri FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsional yang terdapat dalam suatu molekul. Siklisasi karet alam merupakan suatu teknik modifikasi kimia melalui perubahan struktur molekul karet alam secara kimiawi yang semula berupa rantai terbuka menjadi struktur molekul yang melingkar (Van Veersen, 1951). Perubahan struktur molekul ini dapat diamati dengan teknik analisa spektrometri FTIR, melalui pengamatan perbandingan spektrogram FTIR dari karet alam dengan karet siklo. Menurut Victor dan Prajna dalam Riyajan and Sakdapipanich (2006), spektroskopi infra merah dapat digunakan sebagai indikator untuk mengamati terjadinya siklisasi karet alam yang terlihat dari munculnya spektra khas pada bilangan gelombang $800 - 900 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi tekuk ikatan C-H dari eksosiklik. Derajat siklisasi karet tersebut dapat dilihat dari perubahan intensitas serapan spektra FTIR pada bilangan gelombang $880 - 885 \text{ cm}^{-1}$ dan 836 cm^{-1} , semakin tinggi intensitas serapan pada bilangan gelombang $880 - 885 \text{ cm}^{-1}$ serta semakin rendah intensitas

serapan pada bilangan gelombang 836 cm^{-1} menunjukkan peningkatan derajat siklisasi karet alam.

Spektrogram FTIR yang ditampilkan pada Gambar 4.9 merupakan perbandingan antara spektrogram FTIR karet alam sebagai kontrol dengan karet siklo dari siklisasi lateks karet alam dan karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah. Berdasarkan spektra FTIR pada Gambar 4.9 terlihat bahwa spektra FTIR sampel karet siklo dari siklisasi lateks karet alam (b) dan karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah (c) berbeda dengan spektra FTIR karet alam, terlihat puncak-puncak spektra yang baru serta terjadi pergeseran puncak spektra. Pada spektrogram FTIR karet siklo muncul puncak-puncak spektra baru yaitu pada bilangan gelombang $3400 - 3500\text{ cm}^{-1}$, $1700 - 1710\text{ cm}^{-1}$, 883 cm^{-1} , dan 814 cm^{-1} serta menghilangnya puncak spektra pada bilangan gelombang 836 cm^{-1} bila dibandingkan dengan spektra FTIR karet alam.

Pada spektrogram FTIR karet siklo, puncak spektra dengan bilangan gelombang 883 cm^{-1} menunjukkan vibrasi tekuk ikatan C-H dari eksosiklik. Kemudian puncak spektra di daerah bilangan gelombang 814 cm^{-1} menunjukkan deformasi/vibrasi keluar bidang (*out-of-plane deformation*) dari ikatan C-H metin olefinik tiga-tersubstitusi (*the tri-substituted olefinic methine*) pada struktur tersiklisasi. Disamping itu, pada sampel karet siklo dari lateks karet alam juga terdapat puncak spektra pada bilangan gelombang $1700 - 1710\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus asam karboksilat dan diperkuat munculnya puncak spektra pada bilangan gelombang $3400 - 3500\text{ cm}^{-1}$, sedangkan untuk sampel karet siklo dari hasil degradasi karet alam muncul puncak spektra yang melebar pada daerah bilangan gelombang $3400 - 3500\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus hidroksil (-OH). Gugus-gugus fungsional tersebut diperkirakan dari reaksi oksidasi sebagai reaksi samping dalam siklisasi lateks karet alam. Berdasarkan analisis puncak-puncak spektra dari spektrogram FTIR karet siklo tersebut maka dugaan reaksi siklisasi lateks karet alam dengan H_2SO_4 pekat adalah sebagai berikut :

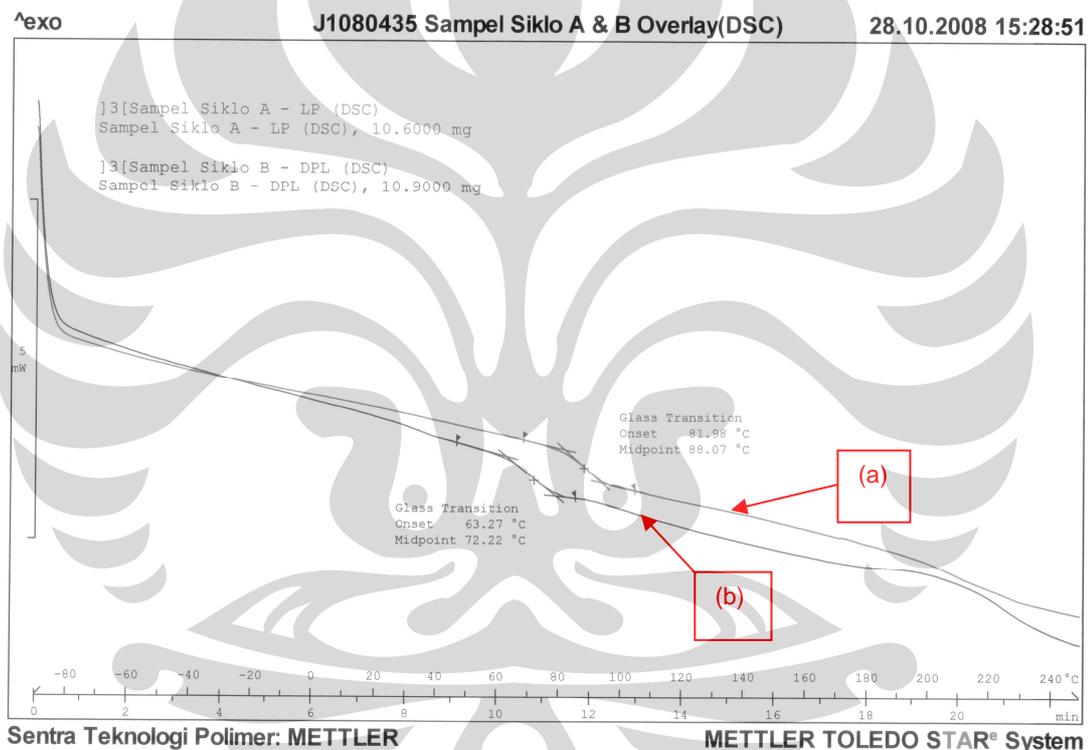




Gambar 4.9. Spektra FTIR (a) karet alam (b) karet siklo dari siklisasi lateks karet alam (c) karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekuler rendah

4.2.3 Sifat Termal

Pada umumnya polimer bersifat semikristalin yaitu sebagian rantai polimer bersifat kristalin dan sebagian bersifat amorf. Analisa sifat termal karet siklo dengan DSC dapat digunakan untuk mengetahui struktur rantai polimernya bersifat kristalin atau amorf melalui pengamatan suhu transisi (T_m dan T_g). Dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui perbedaan suhu transisi tersebut antara karet siklo yang dibuat dari siklisasi lateks karet alam dengan karet siklo yang dibuat dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah.



Gambar 4.10. Termograf DSC (a) karet siklo dari siklisasi lateks karet alam
 (b) karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah

Hasil analisa sifat termal dengan DSC karet siklo dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.4. Berdasarkan hasil pengujian sifat termal, karet siklo hanya memiliki suhu transisi T_g sehingga karet siklo secara keseluruhan memiliki rantai polimer bersifat amorf. T_g adalah suhu pada saat polimer terjadi perubahan dari keadaan gelas menjadi karet. Semakin tinggi T_g menunjukkan polimer yang

semakin getas. Karet siklo yang dihasilkan dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah memiliki suhu transisi T_g yang lebih kecil dari pada suhu transisi T_g karet siklo dari siklisasi lateks karet alam. Suhu transisi T_g karet siklo dari siklisasi lateks karet alam dan lateks karet alam berbobot molekul rendah berturut-turut sebesar $88,07^\circ\text{C}$ dan $72,22^\circ\text{C}$. Suhu transisi T_g karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah lebih kecil daripada suhu transisi T_g karet siklo dari lateks karet alam disebabkan interaksi antar partikelnya lebih lemah karena rantai molekul karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah lebih pendek.

Tabel 4.4 Suhu transisi T_g karet siklo

No	Bahan Polimer	Suhu Transisi T_g ($^\circ\text{C}$)
1.	Karet siklo A	88,07
2.	Karet siklo B	72,22

keterangan :

- Karet siklo A = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam
- Karet siklo B = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah

4.2.4 Kelarutan

Bila polimer dicampurkan dengan suatu pelarut maka terjadi suatu keadaan campuran satu fasa ataupun dua fasa. Bila campuran polimer tersebut membentuk satu fasa maka keadaan tersebut dinamakan larutan polimer yang prosesnya melalui 2 tahap : (1) proses penggembungan (*swelling*) yang lambat. Proses ini terjadi solvasi, molekul pelarut akan terabsorpsi pada permukaan molekul polimer yang mengakibatkan terjadinya perubahan dimensi rata-ratanya. (2) partikel polimer akan terdispersi untuk membentuk larutan polimer.

Karet siklo yang dibuat dari siklisasi lateks karet alam umumnya tidak larut dalam pelarut hidrokarbon sehingga produk ini sampai saat ini belum dapat diaplikasikan secara optimal. Berdasarkan Coomasamy et al (1981), karet siklo yang dibuat dari bahan lateks karet alam memiliki kelarutan yang rendah bahkan sukar larut dalam pelarut hidrkarbon sehingga pemanfaatannya terbatas sebagai bahan pengisi barang jadi karet.

Berdasarkan teori termodinamika larutan polimer dari Flory dan Huggins, entalpi pencampuran polimer dalam suatu pelarut tertentu diantaranya dipengaruhi oleh parameter antar aksi molekul pelarut dengan polimer yang nilainya parameter ini dipengaruhi bobot molekul relatif polimer. Dalam penelitian ini dipelajari kelarutan karet siklo yang dihasilkan dari siklisasi lateks karet alam dan lateks karet alam berbobot molekul rendah dalam pelarut toluen. Pemilihan pelarut toluen didasarkan atas pemakaian bahan ini dalam industri cat, perekat, dan pelapis. Apabila karet siklo yang diperoleh dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah larut dalam toluen maka peluang aplikasi karet siklo semakin besar.

Tabel 4.5 Kelarutan karet siklo dalam toluen

No	Bahan Polimer	Kelarutan dalam toluen (%)
1.	Karet siklo A	tidak larut
2.	Karet siklo B	tidak larut

keterangan :

- Karet siklo A = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam
- Karet siklo B = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah

Berdasarkan hasil uji kelarutan karet siklo dalam toluen yang terangkum dalam Tabel 4.5 bahwa karet siklo yang dibuat dari siklisasi lateks karet alam ataupun lateks karet alam berbobot molekul rendah masing-masing tidak larut dalam toluen. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan bobot molekul karet siklo ternyata belum mempengaruhi secara nyata kelarutannya dalam toluen.

Polimer akan larut dalam suatu pelarut jika parameter kelarutan polimer (δ_{polimer}) sama atau mendekati sama dengan parameter kelarutan pelarut (δ_{pelarut}). Berdasarkan Hayes (dalam Cynthia, 2004) bahwa parameter kelarutan (δ) dipengaruhi oleh suhu transisi gelas (T_g) dari polimer. Hasil analisa sifat termal dengan DSC yang ditunjukkan dalam Tabel 4.4, karet siklo dari lateks karet alam dan lateks karet alam berbobot molekul rendah masing-masing memiliki T_g berturut-turut sebesar $88,07^\circ\text{C}$ dan $72,22^\circ\text{C}$, sedangkan T_g karet alam (Cynthia, 2004) sebesar -73°C . Berdasarkan acuan karet alam yang larut dengan pelarut

toluen karena memiliki parameter kelarutan yang hampir sama, yaitu $\delta_{\text{karet alam}}$ dan δ_{toluen} masing-masing berturut-turut sebesar 8,3 dan 8,6 maka perbedaan T_g karet siklo dari lateks karet alam berbobot molekul rendah dan T_g karet siklo dari lateks karet alam terhadap T_g karet alam yang cukup besar yakni sekitar 100 poin menyebabkan karet siklo yang dihasilkan tidak larut dalam pelarut toluen.

4.2.5 Kuat Rekatan

Aplikasi karet siklo yang dibuat dari siklisasi lateks karet alam selama ini masih belum optimal, tetapi berdasarkan karakteristik secara umum karet siklo memiliki daya lekat yang baik sehingga karet siklo yang dihasilkan dalam penelitian ini diuji cobakan sebagai perekat. Perekat merupakan suatu bahan yang mampu menyambungkan atau menyatukan kedua permukaan benda sehingga mempunyai kekuatan yang memadai saat dikenai beban tertentu (Salomon and Schonlau, 1951). Perekat yang dibuat dalam penelitian merupakan perekat berbasis pelarut dan dibuat dengan cara mencampurkan karet siklo, karet alam dan bahan kimia karet tertentu membentuk kompon karet. Formulasi kompon karet yang mengandung karet siklo untuk membuat perekat seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.2. Formulasi yang dibuat mengacu kepada formulasi pembuatan kompon karet standar ASTM 2A yang dimodifikasi melalui penggantian *carbon black* dengan karet siklo. Dalam kompon karet yang dibuat, karet siklo berfungsi sebagai bahan pelekat/pelengket (*tackifier*), ZnO dan asam stearat berfungsi sebagai bahan pengaktif vulkanisasi, TBBS berfungsi sebagai bahan pencepat vulkanisasi, dan sulfur berfungsi sebagai bahan pemvulkanisasi.

Dalam penelitian ini, karet siklo yang diperoleh dari siklisasi lateks karet alam dan dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah dibandingkan sifat lekatannya pada substrat karet ke karet, karet ke logam, dan logam ke logam melalui pengamatan hasil pengujian kuat rekatan. Hasil pengujian kuat rekatannya dirangkum dalam Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.6 Kuat rekatan kompon karet yang mengandung karet siklo

No.	Kompon karet yang mengandung	Kuat Rekatan ^{x)}		
		Karet ke karet	Karet ke logam	Logam ke logam
1.	Karet siklo A	3,07 kg/cm ²	0,46 kg/cm	1,52 kg/cm ²
2.	Karet siklo B	1,17 kg/cm ²	1,29 kg/cm	2,83 kg/cm ²

keterangan :

- ^{x)} = sesuai formulasi kompon karet pada Tabel 3.2
- Karet siklo A = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam
- Karet siklo B = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah

Pengujian kuat rekatan untuk substrat karet-logam dilakukan dengan teknik pembebanan pada substrat karet dikelupaskan dari substrat logam, sedangkan teknik pengujian kuat rekatan untuk substrat karet-karet dan logam-logam dilakukan melalui pembebanan geser (*shear*) dan tarik pada salah satu substratnya. Berdasarkan hasil pengujian kuat rekatan yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 bahwa kuat rekatan kompon karet yang mengandung karet siklo A pada substrat karet-karet memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan substrat karet-logam dan logam-logam dengan nilai kuat rekatan pada substrat karet-karet, karet-logam, dan logam-logam berturut-turut sebesar 3,07 kg/cm²; 0,46 kg/cm; dan 1,52 kg/cm². Sedangkan kuat rekatan kompon karet yang mengandung karet siklo B memiliki nilai paling tinggi pada substrat logam-logam dengan nilai kuat rekatan pada substrat karet-karet, karet-logam, dan logam-logam berturut-turut sebesar 1,17 kg/cm²; 1,29 kg/cm; dan 2,83 kg/cm².

Kuat rekatan kompon karet yang mengandung karet siklo A pada substrat karet-karet lebih baik dari pada kuat rekatan kompon karet yang mengandung karet siklo B, sebaliknya untuk substrat karet-logam dan logam-logam kompon karet yang mengandung karet siklo B lebih unggul. Hal ini menunjukkan karet siklo B memiliki sifat lekatan yang baik pada substrat logam. Alasan ini diperkuat berdasarkan hasil analisa spektrometri FTIR, karet siklo B mengandung gugus fungsional hidroksil (-OH) pada struktur molekulnya begitu juga pada struktur molekul karet siklo A. Namun jumlah gugus hidroksil pada karet siklo B lebih banyak dibandingkan dengan karet siklo A, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 karet siklo B memiliki luas area pada bilangan gelombang 3400 –

3500 cm^{-1} lebih besar daripada karet siklo A. Semakin banyak jumlah gugus hidroksil pada karet siklo dapat menunjukkan peningkatan polaritas bahan. Oleh karena itu, polaritas karet siklo B lebih besar daripada karet siklo A sehingga karet siklo B lebih kuat untuk menyatukan substrat logam dengan logam dari pada karet siklo A.



BAB 5 KESIMPULAN

Telah dilakukan penelitian mengenai degradasi lateks karet alam secara kimia melalui reaksi oksidasi yang dipicu energi panas dengan perlakuan perubahan dosis kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dan NaNO_2 serta waktu reaksi degradasi. Kombinasi bahan pendegradasi yang digunakan tersebut dan peningkatan waktu reaksi terbukti dapat menurunkan viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas karet alam. Degradasi lateks karet alam pada temperatur reaksi sebesar 70°C dengan bahan pendegradasi H_2O_2 1 bsk dan NaNO_2 3 bsk selama 8 (delapan) jam waktu reaksi dapat menghasilkan karet alam yang memiliki viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas terendah dengan nilai viskositas intrinsik sebesar 279,31 dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas sebesar $4,82 \times 10^5$. Dengan demikian laju degradasi lateks karet alam tergantung jenis dan dosis bahan pendegradasi serta waktu reaksi.

Hasil spektra FTIR menunjukkan bahwa karet alam hasil degradasi menggunakan kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dan NaNO_2 pada temperatur reaksi 70°C dengan berbagai perlakuan waktu reaksi tidak memiliki puncak-puncak spektra FTIR yang berbeda dengan puncak-puncak spektra FTIR karet alam sehingga reaksi degradasi lateks karet alam dengan kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 dan NaNO_2 tidak menghasilkan pembentukan gugus fungsional dalam struktur molekulnya.

Lateks karet alam hasil degradasi polimer menggunakan kombinasi bahan pendegradasi H_2O_2 1 bsk dan NaNO_2 3 bsk dengan waktu reaksi degradasi selama 8 jam yang memiliki bobot molekul relatif rata-rata viskositas terendah telah berhasil disiklisasi dengan menggunakan katalis asam sulfat pekat. Karet siklo yang dihasilkan dari proses siklisasi pada bahan tersebut memiliki bentuk berupa serbuk berwarna putih kecoklatan. Hasil spektra FTIR menunjukkan bahwa proses siklisasi dari lateks karet alam berbobot molekul rendah telah berhasil disintesa yang ditunjukkan melalui pembentukan puncak-puncak khas spektra FTIR dari karet siklo yaitu munculnya puncak spektra pada bilangan gelombang 883 cm^{-1}

dan menghilangkan puncak spektra khas dari karet alam yakni pada panjang gelombang 836 cm^{-1} .

Hasil analisis sifat termal dengan DSC menunjukkan bahwa karet siklo yang dihasilkan dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah memiliki suhu transisi T_g yang lebih kecil dari pada suhu transisi T_g karet siklo dari siklisasi lateks karet alam. Suhu transisi T_g karet siklo dari siklisasi lateks karet alam dan lateks karet alam berbobot molekul rendah berturut-turut sebesar $88,07^\circ\text{C}$ dan $72,22^\circ\text{C}$.

Berdasarkan hasil uji kelarutan karet siklo dalam toluen menunjukkan bahwa karet siklo yang dibuat dari siklisasi lateks karet alam ataupun lateks karet alam berbobot molekul rendah masing-masing tidak larut dalam toluen. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan bobot molekul karet siklo ternyata belum mempengaruhi secara nyata kelarutannya dalam toluen.

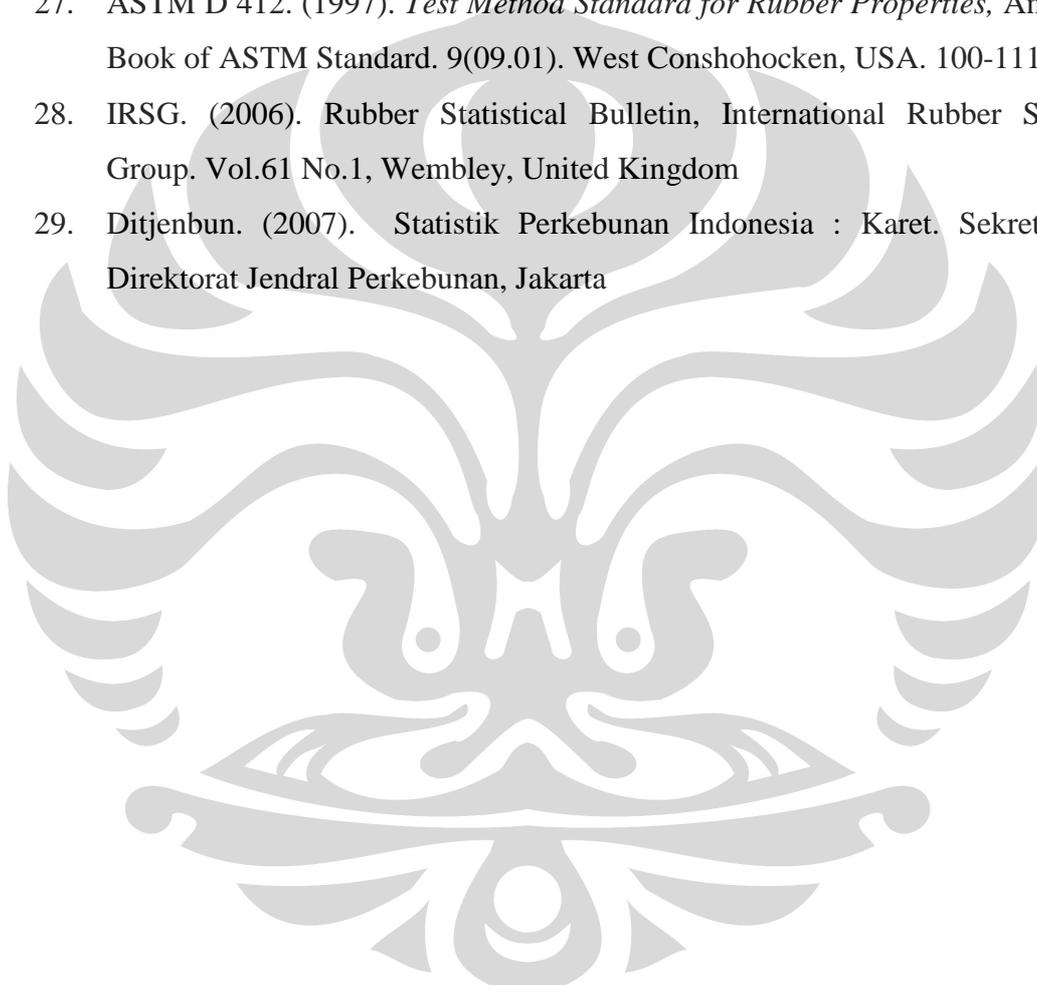
Hasil pengujian kuat rekatan kompon karet yang mengandung karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah memiliki kuat rekatan yang lebih baik daripada karet siklo dari siklisasi lateks karet alam pada rekatan substrat karet-logam dan logam-logam, sebaliknya pada rekatan substrat karet-karet daya rekatannya lebih rendah.

DAFTAR REFERENSI

1. Riyajan, S., and Sakdapipanic, J. T. (2006). Cationic Cyclization of Deproteinized Natural Rubber Using Sulfuric Acid. *Elastomer and Plastics*. p. 104-109.
2. Alfa, A.A., Santosa, A. M., dan Yuliasih, I. (2002). *Pemanfaatan Karet Siklo sebagai Binder dalam Cat Oles (Cold Paint) Marka Jalan*. Pros. Seminar Nasional V, Kimia dalam Pembangunan, 133-141.
3. Stolka, M., Vodehnal, J., and Kossler, I. (1964). *J. Polymer. Sci.* A2, 3987.
4. Van Veersen, G. J. (1951). The Structure of Cyclised Rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, 24, 957-969.
5. Nadarajah, M., Coomarasamy, A., Varathungrajan, G., Tharmalingam, R., Narangoda, H., and Jayasinghe, P. P. (1975). *Recent Development in Cyclised Rubber and Latex Crepe Production in Sri langka*. Proc. of the International Rubber conference, Kuala Lumpur. p. 321-333
6. Coomarasamy, A., Perera, P. P., and Nadarajah, M. (1981). Preparation and Uses of Cyclised Rubber Obtained from Papain coagulated Natural Rubber, *J. Rubber. Res. Inst. sri Lanka*, 58, 46-57.
7. Morton, A. G., and Heller, J. (1963). The Reaction of Polyisoprene With Titanium Tetrachloride. *Canadian Journal of Chemistry*, Vol.41, 937-953.
8. Zaleha Isa, S., Yahya, R., Hassan, A., and Tahir, M. (2007). The influence of Temperatur and Reaction Time in The Degradation of Natural Rubber Latex, *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 11(1), 42-47
9. Solanky, S.S., Sing, R. P., Reyx, D., and Campistron, I. (2000). Photo-controlled Degradation of Natural Rubber, *J. Nat. Rubb Res*, 3(2), 76-94
10. Solanky, S.S., and Sing, R. P. (2003). Functional End Group Determination in Photo-degraded Liquid Rubbers, *J. Nat. Rubb Res*, 6(1), 1-11
11. Tangpakdee, J., Kowitteerawut, T., Kawahara, S., and Tanaka, Y. (2001). Depolymerisation of Highly Purified Natural Rubber. I. Metal-Catalysed Oxidation of Deproteinised Natural Rubber, *J. Nat. Rubb. Res.* 4(1). 1-10

12. Tangpakdee, J., Mizokoshi, M., Endo, A., and Tanaka, Y. (1998). Novel Method for Preparation of Low Molekular Weight Natural Rubber, *Rubber Chemistry and Technology*. 71(4), 795-802
13. Suda Kiatkamjornwong, Roongkan Nuisin, Guang-Hui Ma, and Shinzo Omi. (2000). Synthesis of Styrenic Toner Particles By SPG Emulsification Technique. *Chinese Journal of Polymer Science*, 18 (4), 309-322
14. Rastogi Aditya, Souhail Al-Abed, and Dionysios D. Dionysiou. (2006). Iron-Peroxymonosulfate : A Novel Sulfate Radical Based Advanced Oxidation Technology for Degradation of PCBs. The 12th International Conference on Advanced Oxidation Technologies for Treatment of Water Air and Soil, Pennsylvania, Sept. 25-28.
15. Detrembleur, C., Mouithys Nikcalad, A., Teyssie, P., and Jerome, R. (2002) Sodium Nitrite and Ascorbic Acid : A Metal Free Combinations that Controls the Free-Radical Polymerization of tert-Buthyl Methacrylate in Water. *e-Polymer Journal* no.004
16. Surdia, N. M. (1998). Sistem Multipolimer, *Majalah Polimer Indonesia*. 1(1), 25-27
17. Surdia, N. M. (2000). Degradasi Polimer, *Majalah Polimer Indonesia*. 3(1), 20-21
18. Blackley, D. C. (1966). *High Polymer Latices*. London : Maclaren and Sons Ltd.
19. Grassie, N. (1956). *Chemistry of High Polymer Degradation Processes*. London : Butterworths Scientific Publications.
20. Brandrup, J., Immergut, E. H., and Grulke, E. A. (1999). *Polymer Handbook* (4th ed), New York : John Wiley & Sons Inc.
21. Roberts, A. D. (1988). *Natural Rubber Science and Technology*. New York : Oxford University Press.
22. Utami, S. dan Siswantoro, O. (1989). *Pedoman Teknis Pengawetan dan Pengolahan Lateks Hevea*. Bogor : Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor, Bogor.
23. Stern, H.J. (1967). *Rubber : Natural & Synthetic*. (2nd ed), London : McLaren and Sons Ltd.

24. Salomon, G., and Schonlau. (1951). *Rubbery Adhesive*. In de Bruyne, N. A., and R. Houwink. *Adhesion and Adhesive*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
25. Cynthia L. Radiman. (2004). *Kimia Polimer*. Penerbit ITB, Bandung.
26. ASTM D 1076-97. (1997). *Standard Specification for Rubber-Concentrated, Amonia Preserved, Creamed, and Centrifugated Natural Latex*, Annual Book of ASTM Standard. 9(09.01). West Conshohocken, USA.197-207.
27. ASTM D 412. (1997). *Test Method Standard for Rubber Properties*, Annual Book of ASTM Standard. 9(09.01). West Conshohocken, USA. 100-111.
28. IRSG. (2006). *Rubber Statistical Bulletin*, International Rubber Study Group. Vol.61 No.1, Wembley, United Kingdom
29. Ditjenbun. (2007). *Statistik Perkebunan Indonesia : Karet*. Sekretariat Direktorat Jendral Perkebunan, Jakarta



LAMPIRAN

1. Rendemen

Data :

Berat karet alam = 222 g

Berat karet siklo A = 206,9 g

Berat karet siklo B = 200,24 g

$$\% \text{ Rendemen.Karet.Siklo.A} = \frac{\text{berat.karet.siklo.A}}{\text{berat.karet.alam}} \times 100\% = \frac{200,9}{222} \times 100\% = 93,2\%$$

$$\% \text{ Rendemen.Karet.siklo.B} = \frac{\text{berat.karet.siklo.B}}{\text{berat.karet.alam}} \times 100\% = \frac{200,24}{222} \times 100\% = 90,2\%$$

2. Kuat Rekatan

Kuat Rekatan Kompon karet (formulasi sesuai Tabel 3.2) mengandung karet siklo A

No	Substrat	Kuat rekatan			Rata-rata
		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	
1.	karet ke karet	2,72 kg/cm ²	4,24 kg/cm ²	2,26 kg/cm ²	3,07 kg/cm²
2.	karet ke logam	0,42 kg/cm	0,44 kg/cm	0,52 kg/cm	0,46 kg/cm
3.	logam ke logam	2,1 kg/cm ²	0,94 kg/cm ²	-	1,52 kg/cm²

Kuat Rekatan Kompon karet (formulasi sesuai Tabel 3.2) mengandung karet siklo B

No	Substrat	Kuat rekatan			Rata-rata
		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	
1.	karet ke karet	1,44 kg/cm ²	1,2 kg/cm ²	0,88 kg/cm ²	1,17 kg/cm²
2.	karet ke logam	1,26 kg/cm	1,11 kg/cm	1,49 kg/cm	1,29 kg/cm
3.	logam ke logam	2,75 kg/cm ²	2,85 kg/cm ²	2,89 kg/cm ²	2,83 kg/cm²

keterangan :

- Karet siklo A = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam
- Karet siklo B = karet siklo dari siklisasi lateks karet alam berbobot molekul rendah

LAMPIRAN

3. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 1 : 3$; waktu reaksi = 2 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	77.65	60.46	46.41	34.55	24.17	16.85
t2	77.62	60.40	46.36	34.58	24.13	16.81
t3	77.74	60.44	46.32	34.46	24.26	16.83
t4	77.7	60.52	46.45	34.4	24.18	16.81
t5	77.81	60.48	46.5	34.36	24.25	16.84
trata-rata	77.704	60.46	46.408	34.47	24.198	16.828
Vis. Relatif	4.6175422	3.5928215	2.7577846	2.0483718	1.4379605	
Vis. Spesifik	3.6175422	2.5928215	1.7577846	1.0483718	0.4379605	
C	0.005004	0.0040032	0.0029964	0.0020016	0.0010008	
Vis. Reduksi	722.93009	647.68722	586.63077	523.76687	437.61045	
Vis. Intrinsik	375.45					
Mv	719052.54					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	78.3	60.84	46.22	34.59	24.03	16.85
t2	78.42	60.82	46.17	34.64	24.04	16.81
t3	78.52	60.76	46.37	34.61	24.02	16.83
t4	78.36	60.73	46.48	34.5	24.09	16.81
t5	78.61	60.68	46.28	34.6	24.02	16.84
trata-rata	78.442	60.766	46.304	34.588	24.04	16.828
Vis. Relatif	4.6613977	3.6110055	2.7516045	2.0553839	1.4285714	
Vis. Spesifik	3.6613977	2.6110055	1.7516045	1.0553839	0.4285714	
C	0.005004	0.0040032	0.0029964	0.0020016	0.0010008	
Vis. Reduksi	731.69418	652.22958	584.56824	527.27013	428.22885	
Vis. Intrinsik	365.32					
Mv	692960.34					

LAMPIRAN

4. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi H_2O_2 : $NaNO_2$ = 1 : 3 ; waktu reaksi = 4 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	75.4	56.75	42.47	31.20	23.37	16.39
t2	75.47	56.79	42.7	31.29	23.46	16.45
t3	75.48	56.84	42.46	31.22	23.45	16.34
t4	75.44	56.83	42.25	31.23	23.47	16.38
t5	75.47	56.74	42.31	31.21	23.45	16.43
trata-rata	75.452	56.79	42.438	31.23	23.44	16.398
Vis. Relatif	4.6012928	3.4632272	2.5879985	1.9045005	1.4294426	
Vis. Spesifik	3.6012928	2.4632272	1.5879985	0.9045005	0.4294426	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	720.25857	615.80681	530.39151	452.25027	429.44261	
Vis. Intrinsik	326.13					
Mv	594442.89					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	78.08	59.23	44.31	32.76	24.69	16.39
t2	77.97	59.27	44.22	32.74	24.67	16.45
t3	77.99	59.22	44.21	32.81	24.74	16.34
t4	78.1	59.26	44.28	32.86	24.67	16.43
t5	78.02	59.24	44.25	32.9	24.73	16.38
trata-rata	78.032	59.244	44.254	32.814	24.7	16.398
Vis. Relatif	4.7586291	3.6128796	2.6987437	2.0010977	1.5062813	
Vis. Spesifik	3.7586291	2.6128796	1.6987437	1.0010977	0.5062813	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	751.72582	653.2199	567.38041	500.54885	506.28125	
Vis. Intrinsik	402.79					
Mv	790701.83					

LAMPIRAN

5. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 1 : 3$; waktu reaksi = 6 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	59.4	46.75	36.47	28.20	23.37	16.39
t2	59.47	46.79	36.7	28.29	23.46	16.45
t3	59.48	46.84	36.46	28.22	23.45	16.34
t4	59.44	46.83	36.25	28.23	23.47	16.43
t5	59.47	46.74	36.31	28.21	23.45	16.38
trata-rata	59.452	46.79	36.438	28.23	23.44	16.398
Vis. Relatif	3.6255640 9	2.8533967 6	2.2221002 6	1.7215514 1	1.4294426 1	
Vis. Spesifik	2.6255640 9	1.8533967 6	1.2221002 6	0.7215514 1	0.4294426 1	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	525.11281 9	463.34918 9	408.18148 6	360.77570 4	429.44261 5	
Vis. Intrinsik	349.18					
Mv	651912.54 9					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	59.33	47.6	37.83	29.89	22.83	16.39
t2	59.40	47.76	37.78	29.84	22.87	16.45
t3	59.31	47.62	37.82	29.82	22.82	16.34
t4	59.33	47.71	37.88	29.85	22.84	16.43
t5	59.44	47.72	37.82	29.89	22.85	16.38
trata-rata	59.362	47.682	37.826	29.858	22.842	16.398
Vis. Relatif	3.6200756	2.9077936	2.3067447	1.8208318	1.3929748	
Vis. Spesifik	2.6200756	1.9077936	1.3067447	0.8208318	0.3929748	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	524.01512	476.94841	436.45274	410.4159	392.97475	
Vis. Intrinsik	349.6					
Mv	652972.41					

LAMPIRAN

6. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi H_2O_2 : $NaNO_2$ = 1 : 3 ; waktu reaksi = 8 jam

Ulangan1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	45.9	37.75	30.17	25.21	21.87	16.39
t2	45.97	37.79	30.07	25.29	21.86	16.45
t3	45.98	37.84	30.06	25.22	21.85	16.34
t4	45.94	37.83	30.15	25.26	21.87	16.43
t5	45.97	37.74	30.11	25.21	21.9	16.38
trata-rata	45.952	37.79	30.112	25.238	21.87	16.398
Vis. Relatif	2.802293	2.3045493	1.8363215	1.5390901	1.3336992	
Vis. Spesifik	1.802293	1.3045493	0.8363215	0.5390901	0.3336992	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	360.45859	326.13733	279.33138	269.54507	333.69923	
Vis. Intrinsik	280.75					
Mv	485485.62					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	45.12	38.02	31.59	26.28	21.33	16.39
t2	45.17	37.91	31.55	26.35	21.25	16.45
t3	45.18	37.98	31.58	26.38	21.2	16.34
t4	45.26	38	31.52	26.33	21.3	16.43
t5	45.24	37.99	31.55	26.31	21.31	16.38
trata-rata	45.194	37.98	31.558	26.33	21.278	16.398
Vis. Relatif	2.7560678	2.3161361	1.924503	1.6056836	1.2975973	
Vis. Spesifik	1.7560678	1.3161361	0.924503	0.6056836	0.2975973	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	351.21356	329.03403	308.784	302.84181	297.59727	
Vis. Intrinsik	277.87					
Mv	478767.74					

LAMPIRAN

7. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 1 : 2$; waktu reaksi = 2 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	67.43	54.24	42.54	32.72	25.38	17.33
t2	67.13	54.24	42.59	32.77	25.3	17.31
t3	67.13	54.2	42.54	33.01	25.28	17.35
t4	67.05	54.23	42.59	32.71	25.36	17.25
t5	67.11	54.2	42.55	33.02	25.27	17.35
trata-rata	67.17	54.222	42.562	32.846	25.318	17.318
Vis. Relatif	3.8786234	3.130962	2.4576741	1.8966393	1.4619471	
Vis. Spesifik	2.8786234	2.130962	1.4576741	0.8966393	0.4619471	
C	0.005028	0.0040224	0.0030108	0.0020112	0.0010056	
Vis. Reduksi	572.51858	529.77377	484.1519	445.82306	459.37461	
Vis. Intrinsik	405.27					
Mv	797287.85					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	68.4	56.54	45.65	34.35	24.99	17.33
t2	68.79	56.67	45.56	34.28	24.92	17.31
t3	68.81	56.55	45.64	34.33	24.97	17.35
t4	68.75	56.92	45.51	34.34	24.96	17.25
t5	68.85	57.04	45.72	34.31	24.96	17.35
trata-rata	68.72	56.744	45.616	34.322	24.96	17.318
Vis. Relatif	3.9681256	3.2765908	2.6340224	1.9818686	1.441275	
Vis. Spesifik	2.9681256	2.2765908	1.6340224	0.9818686	0.441275	
C	0.005028	0.0040224	0.0030108	0.0020112	0.0010056	
Vis. Reduksi	590.31934	565.97823	542.72423	488.20037	438.8176	
Vis. Intrinsik	411.05					
Mv	812692.44					

LAMPIRAN

8. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 1 : 2$; waktu reaksi = 4 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	90.01	68.63	50.97	36.94	24.32	16.85
t2	89.92	68.55	50.87	36.97	24.42	16.81
t3	90.08	68.47	50.92	36.94	24.34	16.83
t4	90.18	68.58	50.9	36.94	24.32	16.81
t5	89.93	68.67	50.97	36.99	24.39	16.84
trata-rata	90.024	68.58	50.926	36.956	24.358	16.828
Vis. Relatif	5.3496553	4.0753506	3.0262657	2.1961017	1.4474685	
Vis. Spesifik	4.3496553	3.0753506	2.0262657	1.1961017	0.4474685	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	869.93107	768.83765	676.77276	598.05087	447.4685	
Vis. Intrinsik	367.63					
Mv	698888.18					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	87.39	67.65	50.31	36.65	24.57	16.85
t2	87.41	67.74	50.56	36.48	24.6	16.81
t3	87.56	67.7	50.4	36.41	24	16.83
t4	87.66	67.7	50.36	36.49	24.65	16.81
t5	87.52	67.6	50.47	36.48	24.5	16.84
trata-rata	87.508	67.678	50.42	36.502	24.548	16.828
Vis. Relatif	5.2001426	4.0217495	2.9961968	2.1691229	1.4587592	
Vis. Spesifik	4.2001426	3.0217495	1.9961968	1.1691229	0.4587592	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	840.02852	755.43737	666.72974	584.56145	458.75921	
Vis. Intrinsik	381.2					
Mv	733973.87					

LAMPIRAN

9. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 1 : 2$; waktu reaksi = 6 jam

ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	81.68	62.75	46.97	34.69	24.76	16.85
t2	81.68	62.56	46.95	34.68	24.76	16.81
t3	81.72	62.62	46.89	34.65	24.8	16.83
t4	81.93	62.69	46.97	34.63	24.84	16.81
t5	81.96	62.69	47	34.66	24.8	16.84
trata-rata	81.794	62.662	46.956	34.662	24.792	16.828
Vis. Relatif	4.8605895	3.7236748	2.7903494	2.0597813	1.4732589	
Vis. Spesifik	3.8605895	2.7236748	1.7903494	1.0597813	0.4732589	
C	0.005016	0.0040128	0.0030036	0.0020064	0.0010032	
Vis. Reduksi	769.655	678.74672	596.06928	528.20042	471.74926	
Vis. Intrinsik	385.04					
Mv	743982.93					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	78.42	60.75	45.64	33.90	23.7	16.85
t2	78.36	60.68	45.66	33.88	23.64	16.81
t3	78.77	60.69	45.6	33.93	23.71	16.83
t4	78.77	60.7	45.66	33.9	23.68	16.81
t5	78.59	60.71	45.69	33.92	23.66	16.84
trata-rata	78.582	60.706	45.65	33.906	23.678	16.828
Vis. Relatif	4.6697171	3.60744	2.7127407	2.0148562	1.4070597	
Vis. Spesifik	3.6697171	2.60744	1.7127407	1.0148562	0.4070597	
C	0.005016	0.0040128	0.0030036	0.0020064	0.0010032	
Vis. Reduksi	731.6023	649.7807	570.23065	505.80951	405.76123	
Vis. Intrinsik	334.03					
Mv	613984.01					

LAMPIRAN

10. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi H_2O_2 : $NaNO_2$ = 1 : 2 ; waktu reaksi = 8 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	54.4	44.75	36.47	29.20	22.37	16.85
t2	54.47	44.79	36.7	29.29	22.46	16.81
t3	54.48	44.84	36.46	29.22	22.45	16.83
t4	54.44	44.83	36.25	29.23	22.47	16.81
t5	54.47	44.74	36.31	29.21	22.45	16.84
trata-rata	54.452	44.79	36.438	29.23	22.44	16.828
Vis. Relatif	3.2357975	2.6616354	2.1653197	1.736986	1.3334918	
Vis. Spesifik	2.2357975	1.6616354	1.1653197	0.736986	0.3334918	
C	0.005036	0.0040288	0.0030156	0.0020144	0.0010072	
Vis. Reduksi	443.96296	412.43928	386.43445	365.8588	331.10782	
Vis. Intrinsik	306.3					
Mv	546127.76					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	53.26	44.2	35.95	29.23	22.44	16.85
t2	53.16	44.08	35.95	29.41	22.4	16.81
t3	53.14	44.14	36.03	29.4	22.39	16.83
t4	53.05	44.11	35.97	29.2	22.46	16.81
t5	53.07	44.19	36.04	29.24	22.45	16.84
trata-rata	53.136	44.144	35.988	29.296	22.428	16.828
Vis. Relatif	3.1575945	2.623247	2.1385786	1.740908	1.3327787	
Vis. Spesifik	2.1575945	1.623247	1.1385786	0.740908	0.3327787	
C	0.005036	0.0040288	0.0030156	0.0020144	0.0010072	
Vis. Reduksi	428.43417	402.91078	377.56676	367.8058	330.39982	
Vis. Intrinsik	312.09					
Mv	560124.54					

LAMPIRAN

11. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 1 : 1$; waktu reaksi = 2 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	99.86	72.79	52.77	37.78	25.88	17.33
t2	99.42	72.83	52.76	37.8	25.77	17.31
t3	99.13	72.76	52.67	37.89	25.83	17.35
t4	99.1	72.51	52.76	37.9	25.89	17.25
t5	98.72	72.39	52.71	37.88	26.02	17.35
trata-rata	99.246	72.656	52.734	37.85	25.878	17.318
Vis. Relatif	5.7308003	4.1954036	3.0450398	2.1855873	1.4942834	
Vis. Spesifik	4.7308003	3.1954036	2.0450398	1.1855873	0.4942834	
C	0.00502	0.004016	0.0030060	0.002008	0.001004	
Vis. Reduksi	942.3905	795.66823	680.32202	590.4319	492.31415	
Vis. Intrinsik	368.71					
Mv	701664.14					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	98.07	67.27	51.44	38.06	27.45	17.33
t2	97.21	67.17	51.22	38.29	27.58	17.31
t3	97.37	67.27	51.36	38	27.71	17.35
t4	98.38	67.4	51.48	38.12	27.57	17.25
t5	97.97	67.23	51.5	38.2	27.55	17.35
trata-rata	97.8	67.268	51.4	38.134	27.572	17.318
Vis. Relatif	5.6473034	3.8842822	2.9680102	2.2019864	1.5921007	
Vis. Spesifik	4.6473034	2.8842822	1.9680102	1.2019864	0.5921007	
C	0.00502	0.004016	0.0030060	0.002008	0.001004	
Vis. Reduksi	925.75765	718.19777	654.69661	598.59879	589.74174	
Vis. Intrinsik	459.93					
Mv	945950.11					

LAMPIRAN

12. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 1 : 1$; waktu reaksi = 4 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	58.08	47.66	38.41	30.96	24.25	17.33
t2	58.15	47.67	38.38	30.93	24.34	17.31
t3	58.12	47.56	38.55	30.86	24.15	17.35
t4	58.11	47.61	38.58	30.96	24.33	17.25
t5	58.06	47.89	38.48	30.86	24.4	17.35
trata-rata	58.104	47.678	38.48	30.914	24.294	17.318
Vis. Relatif	3.3551218	2.7530893	2.2219656	1.7850791	1.4028179	
Vis. Spesifik	2.3551218	1.7530893	1.2219656	0.7850791	0.4028179	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	471.02437	438.27232	408.13651	392.53955	402.81788	
Vis. Intrinsik	367.91					
Mv	841242.14					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	61.99	51.72	42.87	33.15	25.87	17.33
t2	62.15	51.80	42.83	33.26	25.86	17.31
t3	62.09	51.75	42.81	33.08	25.96	17.35
t4	62.16	51.88	42.83	33.05	25.87	17.25
t5	62.09	51.86	42.8	33.05	25.09	17.35
trata-rata	62.096	51.802	42.828	33.118	25.73	17.318
Vis. Relatif	3.5856334	2.991223	2.4730338	1.9123455	1.4857374	
Vis. Spesifik	2.5856334	1.991223	1.4730338	0.9123455	0.4857374	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	517.12669	497.80575	491.9933	456.17277	485.73738	
Vis. Intrinsik	458.46					
Mv	1137168.8					

LAMPIRAN

13. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

➤ Dosis (bsk) kombinasi H_2O_2 : $NaNO_2$ = 1 : 1 ; waktu reaksi = 6 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	101.59	75.29	54.24	38.33	25.99	16.85
t2	101.73	75.30	54.19	38.39	25.92	16.81
t3	101.72	75.21	54.21	38.4	25.93	16.83
t4	101.61	75.26	54.2	38.47	25.93	16.81
t5	101.59	75.2	54.19	38.48	25.97	16.84
trata-rata	101.648	75.252	54.206	38.414	25.948	16.828
Vis. Relatif	6.0404088	4.4718327	3.221179	2.282743	1.5419539	
Vis. Spesifik	5.0404088	3.4718327	2.221179	1.282743	0.5419539	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	1008.0818	867.95816	741.87378	641.37152	541.95389	
Vis. Intrinsik	412.7					
Mv	817103.98					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	100.44	75.16	54.8	38.61	25.07	16.85
t2	100.60	75.19	54.63	38.59	25.1	16.81
t3	100.69	75.18	54.69	38.63	25.03	16.83
t4	100.66	75.12	54.7	38.72	25.09	16.81
t5	100.73	75.19	54.68	38.58	25.03	16.84
trata-rata	100.624	75.168	54.7	38.626	25.064	16.828
Vis. Relatif	5.9795579	4.466841	3.2505348	2.2953411	1.4894224	
Vis. Spesifik	4.9795579	3.466841	2.2505348	1.2953411	0.4894224	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	995.91158	866.71024	751.67863	647.67055	489.42239	
Vis. Intrinsik	380.82					
Mv	732985.31					

LAMPIRAN

14. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi H_2O_2 : $NaNO_2$ = 1 : 1 ; waktu reaksi = 8 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	54.9	45.02	37.59	30.84	24.22	17.33
t2	54.85	45.09	37.57	30.75	24.27	17.31
t3	54.82	45.17	37.46	30.8	24.23	17.35
t4	54.83	45.27	37.43	30.78	24.22	17.25
t5	54.79	45.22	37.56	30.81	24.26	17.35
trata-rata	54.838	45.154	37.522	30.796	24.24	17.318
Vis. Relatif	3.1665319	2.607345	2.1666474	1.7782654	1.3996997	
Vis. Spesifik	2.1665319	1.607345	1.1666474	0.7782654	0.3996997	
C	0.005032	0.0040256	0.0030132	0.0020128	0.0010064	
Vis. Reduksi	430.55086	399.28084	387.18227	386.65808	397.15792	
Vis. Intrinsik	376.33					
Mv	721330.98					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	53.74	44.05	36.4	31.25	25.03	17.33
t2	53.62	43.98	36.34	31.27	24.95	17.31
t3	53.53	43.97	36.34	31.34	25.02	17.35
t4	53.59	44.06	36.36	31.26	24.99	17.25
t5	53.67	44	36.37	31.35	24.94	17.35
trata-rata	53.63	44.012	36.362	31.294	24.986	17.318
Vis. Relatif	3.0967779	2.541402	2.0996651	1.8070216	1.4427763	
Vis. Spesifik	2.0967779	1.541402	1.0996651	0.8070216	0.4427763	
C	0.005032	0.0040256	0.0030132	0.0020128	0.0010064	
Vis. Reduksi	416.68878	382.89994	364.95244	400.94475	439.96055	
Vis. Intrinsik	420.39					
Mv	1009836					

LAMPIRAN

15. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

➤ Dosis (bsk) kombinasi H_2O_2 : $NaNO_2$ = 2 : 1 ; waktu reaksi = 2 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	112.26	83.39	57.75	39.94	26.35	16.39
t2	112.30	83.30	57.7	40.03	26.31	16.45
t3	112.35	83.35	57.75	40	26.34	16.34
t4	112.4	83.29	57.8	39.93	26.34	16.43
t5	112.25	83.34	57.72	39.92	26.3	16.38
trata-rata	112.312	83.334	57.744	39.964	26.328	16.398
Vis. Relatif	6.8491279	5.0819612	3.52140505	2.4371265	1.6055617	
Vis. Spesifik	5.8491279	4.0819612	2.52140505	1.4371265	0.6055617	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	1169.8256	1020.4903	842.149286	718.56324	605.56165	
Vis. Intrinsik	442.3					
Mv	897282.74					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	113.74	84.05	58.4	39.25	26.03	16.39
t2	113.62	83.98	58.34	39.27	25.95	16.45
t3	113.53	83.97	58.34	39.34	26.02	16.34
t4	113.59	84.06	58.36	39.26	25.99	16.43
t5	113.67	84	58.37	39.35	25.94	16.38
trata-rata	113.63	84.012	58.362	39.294	25.986	16.398
Vis. Relatif	6.9295036	5.1233077	3.5590926	2.3962678	1.5847055	
Vis. Spesifik	5.9295036	4.1233077	2.5590926	1.3962678	0.5847055	
C	0.005032	0.0040256	0.0030132	0.0020128	0.0010064	
Vis. Reduksi	1178.3592	1024.2716	849.30139	693.69428	580.98713	
Vis. Intrinsik	407.88					
Mv	804234.41					

LAMPIRAN

16. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 2 : 1$; waktu reaksi = 4 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	105.75	78.33	54.84	38.66	25.94	16.39
t2	105.68	78.37	54.86	38.6	25.98	16.45
t3	105.7	78.41	54.8	38.68	26.03	16.34
t4	105.65	78.43	54.96	38.69	26.08	16.43
t5	105.62	78.32	54.94	38.58	25.99	16.38
trata-rata	105.68	78.372	54.88	38.642	26.004	16.398
Vis. Relatif	6.4446884	4.7793633	3.3467496	2.3565069	1.5858031	
Vis. Spesifik	5.4446884	3.7793633	2.3467496	1.3565069	0.5858031	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	1088.9377	944.84083	783.814368	678.25345	585.80315	
Vis. Intrinsik	434.57					
Mv	876156.62					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	101.74	73.05	55.4	37.25	26.03	17.33
t2	101.62	72.98	55.34	37.27	25.95	17.31
t3	101.53	72.97	55.34	37.34	26.02	17.35
t4	101.59	73.06	55.36	37.26	25.99	17.25
t5	101.67	73	55.37	37.35	25.94	17.35
trata-rata	101.63	73.012	55.362	37.294	25.986	17.318
Vis. Relatif	5.8684606	4.2159603	3.19678947	2.1534819	1.5005197	
Vis. Spesifik	4.8684606	3.2159603	2.19678947	1.1534819	0.5005197	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	973.69211	803.99007	733.727682	576.74096	500.51969	
Vis. Intrinsik	365.83					
Mv	694267.95					

LAMPIRAN

17. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 2 : 1$; waktu reaksi = 6 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	110.23	82.02	58.95	39.99	26.87	16.39
t2	110.25	82.04	58.93	39.9	26.87	16.45
t3	110.31	81.98	58.99	39.92	26.79	16.34
t4	110.32	81.95	59.01	39.94	26.84	16.43
t5	110.28	81.94	58.92	40	26.91	16.38
trata-rata	110.278	81.986	58.96	39.95	26.856	16.398
Vis. Relatif	6.7250884	4.9997561	3.59556043	2.4362727	1.6377607	
Vis. Spesifik	5.7250884	3.9997561	2.59556043	1.4362727	0.6377607	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	1145.0177	999.93902	866.917185	718.13636	637.7607	
Vis. Intrinsik	404					
Mv	793913.4					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	111.74	84.05	55.4	38.25	26.03	16.39
t2	111.62	83.98	55.34	38.27	25.95	16.45
t3	111.53	83.97	55.34	38.34	26.02	16.34
t4	111.59	84.06	55.36	38.26	25.99	16.43
t5	111.67	84.05	55.37	38.35	25.94	16.38
trata-rata	111.63	84.022	55.362	38.294	25.986	16.398
Vis. Relatif	6.8075375	5.1239176	3.37614343	2.3352848	1.5847055	
Vis. Spesifik	5.8075375	4.1239176	2.37614343	1.3352848	0.5847055	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	1161.5075	1030.9794	793.631906	667.6424	584.70545	
Vis. Intrinsik	392.7					
Mv	764053.65					

LAMPIRAN

18. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

➤ Dosis (bsk) kombinasi H_2O_2 : $NaNO_2$ = 2 : 1 ; waktu reaksi = 8 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	75.58	58.06	44.3	33.25	24.08	16.39
t2	75.58	58.02	44.25	33.2	24.11	16.45
t3	75.52	58	44.26	33.27	24.17	16.34
t4	75.5	58.02	44.22	33.24	24.09	16.43
t5	75.59	58.1	44.21	33.28	24.05	16.38
trata-rata	75.554	58.04	44.248	33.248	24.1	16.398
Vis. Relatif	4.6075131	3.539456	2.69837785	2.0275643	1.4696914	
Vis. Spesifik	3.6075131	2.539456	1.69837785	1.0275643	0.4696914	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	721.50262	634.86401	567.258202	513.78217	469.69143	
Vis. Intrinsik	394.06					
Mv	767631.6					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	73.74	57.05	45.4	33.25	23.03	16.39
t2	73.62	57.98	45.34	33.27	22.95	16.45
t3	73.53	57.97	45.34	33.34	23.02	16.43
t4	73.59	57.06	45.36	33.26	22.99	16.34
t5	73.67	57.04	45.37	33.35	22.94	16.38
trata-rata	73.63	57.42	45.362	33.294	22.986	16.398
Vis. Relatif	4.4901817	3.5016465	2.76631296	2.0303696	1.4017563	
Vis. Spesifik	3.4901817	2.5016465	1.76631296	1.0303696	0.4017563	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	698.03635	625.41164	589.94853	515.18478	401.75631	
Vis. Intrinsik	355.36					
Mv	667552.66					

LAMPIRAN

19. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi H_2O_2 : $NaNO_2$ = 3 : 1 ; waktu reaksi = 2 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	97.77	73.48	52.41	37.00	25.38	16.39
t2	97.70	73.53	52.31	36.98	25.47	16.45
t3	97.85	73.42	52.42	36.92	25.41	16.34
t4	97.81	73.5	52.35	36.97	25.46	16.43
t5	97.75	73.45	52.4	36.9	25.44	16.38
trata-rata	97.776	73.476	52.378	36.954	25.432	16.398
Vis. Relatif	5.9626784	4.4807903	3.19417002	2.2535675	1.5509208	
Vis. Spesifik	4.9626784	3.4807903	2.19417002	1.2535675	0.5509208	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	992.53568	870.19759	732.852787	626.78375	550.92084	
Vis. Intrinsik	416.76					
Mv	827985.4					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	95.74	74.05	55.42	38.25	25.03	16.39
t2	95.62	73.98	55.34	38.27	24.95	16.45
t3	95.53	73.97	55.34	38.34	25.02	16.34
t4	95.59	74.06	55.36	38.3	24.99	16.43
t5	95.67	74	55.39	38.35	24.94	16.38
trata-rata	95.63	74.012	55.37	38.302	24.986	16.398
Vis. Relatif	5.8318088	4.5134773	3.3766313	2.3357727	1.5237224	
Vis. Spesifik	4.8318088	3.5134773	2.3766313	1.3357727	0.5237224	
C	0.005032	0.0040256	0.0030132	0.0020128	0.0010064	
Vis. Reduksi	960.21637	872.7835	788.74687	663.63904	520.3919	
Vis. Intrinsik	434.7					
Mv	876510.83					

LAMPIRAN

20. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi H_2O_2 : $NaNO_2$ = 3 : 1 ; waktu reaksi = 4 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	80.7	61.44	46.54	34.54	25.14	16.39
t2	80.77	61.30	46.42	34.45	25.21	16.45
t3	80.9	61.33	46.42	34.52	25.14	16.34
t4	80.71	61.38	46.46	34.6	25.13	16.43
t5	80.92	61.28	46.5	34.52	25.15	16.38
trata-rata	80.8	61.346	46.468	34.526	25.154	16.398
Vis. Relatif	4.9274302	3.741066	2.83376021	2.1055007	1.5339676	
Vis. Spesifik	3.9274302	2.741066	1.83376021	1.1055007	0.5339676	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	785.48603	685.2665	612.475912	552.75034	533.96756	
Vis. Intrinsik	443.36					
Mv	900189.9					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	78.74	60.05	45.39	33.25	24.03	16.39
t2	78.62	59.98	45.34	33.27	23.95	16.45
t3	78.53	59.97	45.34	33.34	24.02	16.34
t4	78.59	60.06	45.36	33.26	23.99	16.43
t5	78.67	60.01	45.37	33.35	24.94	16.38
trata-rata	78.63	60.014	45.36	33.294	24.186	16.398
Vis. Relatif	4.795097	3.6598366	2.766191	2.0303696	1.474936	
Vis. Spesifik	3.795097	2.6598366	1.766191	1.0303696	0.474936	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	759.01939	664.95914	589.907794	515.18478	474.93597	
Vis. Intrinsik	385.49					
Mv	745158.18					

LAMPIRAN

21. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 3 : 1$; waktu reaksi = 6 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	97.47	74.63	54.06	36.74	25.61	16.39
t2	97.67	74.68	54.01	36.73	25.55	16.45
t3	97.52	74.68	54	36.69	25.52	16.34
t4	97.5	74.6	53.9	36.62	25.5	16.43
t5	97.42	74.64	53.93	36.75	25.57	16.38
trata-rata	97.516	74.646	53.98	36.706	25.55	16.398
Vis. Relatif	5.9468228	4.5521405	3.29186486	2.2384437	1.5581168	
Vis. Spesifik	4.9468228	3.5521405	2.29186486	1.2384437	0.5581168	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	989.36456	888.03513	765.482864	619.22186	558.11684	
Vis. Intrinsik	424.79					
Mv	849616.66					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	98.74	74.03	54.36	37.26	25.03	16.39
t2	98.62	73.98	54.34	37.27	24.95	16.45
t3	98.53	73.97	54.34	37.34	25.02	16.34
t4	98.59	74.06	54.36	37.26	24.99	16.43
t5	98.67	74.07	54.37	37.35	24.94	16.38
trata-rata	98.63	74.022	54.354	37.296	24.986	16.398
Vis. Relatif	6.0147579	4.5140871	3.3146725	2.2744237	1.5237224	
Vis. Spesifik	5.0147579	3.5140871	2.3146725	1.2744237	0.5237224	
C	0.005032	0.0040256	0.0030132	0.0020128	0.0010064	
Vis. Reduksi	996.57351	872.93499	768.18424	633.15963	520.3919	
Vis. Intrinsik	400.77					
Mv	785347.93					

LAMPIRAN

22. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

Degradasi lateks karet alam dengan :

- Dosis (bsk) kombinasi $H_2O_2 : NaNO_2 = 3 : 1$; waktu reaksi = 8 jam

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	103.99	77.34	55.16	37.22	25.48	16.39
t2	103.88	77.46	55.07	37.29	25.48	16.45
t3	103.08	77.4	55.09	37.33	25.56	16.34
t4	103.9	77.3	55.11	37.3	25.5	16.43
t5	103.97	77.44	55.14	37.2	25.56	16.38
trata-rata	103.764	77.388	55.114	37.268	25.516	16.398
Vis. Relatif	6.3278449	4.719356	3.36101964	2.2727162	1.5560434	
Vis. Spesifik	5.3278449	3.719356	2.36101964	1.2727162	0.5560434	
C	0.005	0.004	0.0029940	0.002	0.001	
Vis. Reduksi	1065.569	929.839	788.580559	636.35809	556.04342	
Vis. Intrinsik	401.66					
Mv	787705.66					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	101.74	74.04	52.42	35.20	25.03	16.39
t2	101.62	73.98	52.34	35.27	24.95	16.45
t3	101.53	73.97	52.34	35.34	25.02	16.34
t4	101.59	74.06	52.36	35.26	24.99	16.43
t5	101.67	74.01	52.37	35.35	24.94	16.38
trata-rata	101.63	74.012	52.366	35.284	24.986	16.398
Vis. Relatif	6.197707	4.5134773	3.1934382	2.1517258	1.5237224	
Vis. Spesifik	5.197707	3.5134773	2.1934382	1.1517258	0.5237224	
C	0.005032	0.0040256	0.0030132	0.0020128	0.0010064	
Vis. Reduksi	1032.9307	872.7835	727.94949	572.20082	520.3919	
Vis. Intrinsik	347.68					
Mv	648130.99					

LAMPIRAN

23. Viskositas intrinsik dan bobot molekul relatif rata-rata viskositas (lanjutan)

- Untuk lateks karet alam (kontrol)

Ulangan 1

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	97	73.39	54.04	38.26	26.73	16.39
t2	97.07	73.44	54.06	38.2	26.75	16.45
t3	97.25	73.52	54.09	38.25	26.86	16.34
t4	97.16	73.55	54.22	38.11	26.73	16.43
t5	97.25	73.62	54.12	38.21	26.85	16.38
trata-rata	97.146	73.504	54.106	38.206	26.784	16.398
Vis. Relatif	5.9242591	4.4824979	3.2995487	2.3299183	1.6333699	
Vis. Spesifik	4.9242591	3.4824979	2.2995487	1.3299183	0.6333699	
C	0.00502	0.004016	0.0030060	0.002008	0.001004	
Vis. Reduksi	980.9281	867.15584	764.98932	662.3099	630.84654	
Vis. Intrinsik	509.82					
Mv	1087195.4					

Ulangan 2

Waktu (det)	C (%(g/ml))					Solvent
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
t1	95.52	80.95	62.72	40.08	28.57	17.33
t2	95.01	81.28	62.84	40.08	28.59	17.31
t3	95.57	81.12	63.24	40.22	28.66	17.35
t4	95.33	81.45	63.15	40.16	28.68	17.25
t5	95.13	81.39	63.09	40.12	28.65	17.35
trata-rata	95.312	81.238	63.008	40.132	28.63	17.318
Vis. Relatif	5.5036378	4.6909574	3.6382954	2.3173577	1.6531932	
Vis. Spesifik	4.5036378	3.6909574	2.6382954	1.3173577	0.6531932	
C	0.00502	0.004016	0.0030060	0.002008	0.001004	
Vis. Reduksi	897.13901	919.06309	877.67995	656.05461	650.59085	
Vis. Intrinsik	573.5					
Mv	1274629.7					