UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI PENGARUH UKURAN PARTIKEL DAN JUMLAH PHR *CARBON BLACK* SEBAGAI BAHAN PENGISI TERHADAP SIFAT MEKANIK PRODUK KARET ALAM

SKRIPSI

ATUR RIGA SASONGKO
0706263006

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI KIMIA
DEPOK
JANUARI 2012

UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI PENGARUH UKURAN PARTIKEL DAN JUMLAH PHR *CARBON BLACK* SEBAGAI BAHAN PENGISI TERHADAP SIFAT MEKANIK PRODUK KARET ALAM

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

ATUR RIGA SASONGKO
0706263006

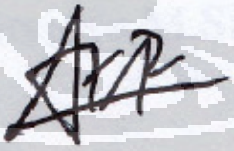
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI KIMIA
DEPOK
JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Atur Riga Sasongko

NPM : 0706263006

Tanda Tangan : 

Tanggal : 6 Januari 2012

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Atur Riga Sasongko

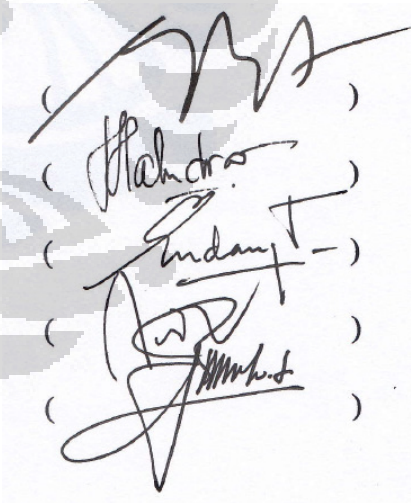
NPM : 0706263006

Program Studi : Kimia

Judul Skripsi : Studi Pengaruh Ukuran Partikel dan Jumlah Phr *Carbon Black* Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Sifat Mekanik Produk Karet Alam

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

DEWAN PENGUJI



Pembimbing 1 : Dr. Emil Budianto ( )

Pembimbing 2 : Drs. Mahendra Anggaravidya M.Si. ( )

Penguji 1 : Prof. Dr. Endang Asijati ( )

Penguji 2 : Ir. Widyastuti Samadi M.Si. ( )

Penguji 3 : Drs. Riswiyanto Siswoyo M.Si. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Januari 2012

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmãnirrohîm,

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini dengan lancar tanpa halangan yang berarti. Sholawat serta salam senantiasa penulis curahkan kepada kekasih Allah, Rasulullah Muhammad SAW yang senantiasa menjadi inspirasi bagi penulis untuk menjadi insan yang berguna bagi bangsa, negara, dan agama.

Penulis menyadari bahwa tanpa dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak, akan sangat berat bagi penulis untuk dapat menghadapi masa-masa sulit dalam studi dan penelitian yang penulis jalani. Untuk itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan dalam segala bentuk, atas keringat dan air mata yang menetes dalam ikhtiar dan doa. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan perlindungan, kebahagiaan, dan segala kecukupan bagi mereka.
- Bpk. Dr. Emil Budianto dan Bpk. Drs. Mahendra A. M.Si selaku pembimbing yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk melakukan riset, memberikan banyak ilmu, bimbingan serta motivasi.
- Ir. Dedi Gumilar M.M selaku Kepala Divisi Barang Teknik Karet PT. Agronesia yang mengizinkan penelitian skripsi ini dilakukan di Lab. R & D PT. Agronesia Divisi Barang Teknik Karet-INKABA
- Bpk. Arif dan Bpk. Hengky yang telah memberikan arahan dan masukan dalam proses penulisan skripsi ini.
- Bpk. Zaky, Bpk. Dadi, Bpk. Sumeri, dan Bpk. Tatang yang telah memberikan pengetahuan tentang pemakaian instrumen, dan membantu dalam proses pengukuran.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

- Ibu Dr. Ivandini Tribidasari. selaku pembimbing akademis yang telah memberikan banyak masukan selama perkuliahan.
- Bpk. Dr. Ridla Bakri selaku ketua Departemen Kimia FMIPA UI dan Ibu Dra. Tresye Utari, M.Si. selaku koordinator penelitian yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian.
- Seluruh dosen Departemen Kimia FMIPA UI yang telah memberikan begitu banyak ilmu serta pengalaman yang bermanfaat.
- Teman-teman angkatan 2007, terima kasih atas segala kebaikan, dan 4,5 tahun yang tak akan terlupakan.
- Pihak lain yang telah banyak membantu penulis dari awal penelitian hingga skripsi ini terselesaikan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Penulis

2012

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama	: Atur Riga Sasongko
NPM	: 0706263006
Program Studi	: Kimia
Departemen	: Kimia
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya	: Skripsi

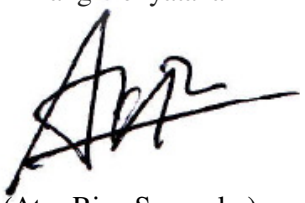
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Studi Pengaruh Ukuran Partikel dan Jumlah Phr *Carbon Black* Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Sifat Mekanik Produk Karet Alam

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 6 Januari 2012
Yang menyatakan



(Atur Riga Sasongko)

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

ABSTRAK

Nama : Atur Riga Sasongko

Program Studi : Kimia

Judul : Studi Pengaruh Ukuran Partikel dan Jumlah Phr *Carbon Black* Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Sifat Mekanik Produk Karet Alam

Karet alam merupakan salah satu komoditas terbesar di Indonesia. Besarnya produksi karet mentah dalam negeri belum diimbangi dengan pengembangan teknologi pengolahan yang memiliki daya saing terhadap produk karet luar negeri. Riset ini dilakukan untuk mengamati efek ukuran partikel *carbon black* dan jumlah phr *carbon black* terhadap sifat mekanik berupa kekuatan tarik (*tensile strength*), abrasi (*abrasion*) dan kekerasan (*hardness*) dari produk karet alam dan untuk mengetahui kondisi optimum yang dapat diperoleh dari formulasi kompon yang digunakan. Jumlah *carbon black* diamati pada 30,40,50 phr dengan penggunaan jenis *carbon black* tipe N220, N330, N550 dan N660. Penguatan sifat kuat tarik optimal dengan nilai 273,66 Kg/cm^2 dihasilkan pada penambahan *carbon black* tipe N220 sejumlah 30 phr, sifat abrasi optimal sebesar 104,33% dihasilkan pada penambahan *carbon black* tipe N220 sejumlah 40 phr dan kekerasan optimal sebesar 72,4% dihasilkan pada penambahan *carbon black* tipe N330 sejumlah 50 phr. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menyimpulkan bahwa secara umum partikel yang lebih kecil memberikan efek penguatan yang lebih besar pada kekuatan tarik (*tensile strength*), abrasi (*abrasion*), dan kekerasan (*hardness*). Penambahan jumlah yang lebih besar secara linear akan meningkatkan sifat kekerasan produk karet alam.

Kata Kunci : Bahan pengisi, *carbon black*, karet alam

x + 48 halaman : 22 gambar; 4 tabel; 3 lampiran

Daftar Pustaka : 26 (1944 - 2011)

Universitas Indonesia

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

ABSTRACT

Name : Atur Riga Sasongko

Study Program : Chemistry

Title : Study of Effect Particle Size and Phr Amount of Carbon Black as Filler on Mechanical Properties of Natural Rubber Product

Natural rubber is one of the largest commodities in Indonesia. Domestic production of raw natural rubber haven't equalized with processing technology development to get product that competitive with foreign. This research investigated the effect of particle size and amount of carbon black on tensile strength, abrasion, and hardness and to investigate optimum condition from various sample compound. Amount of carbon black investigated at 30, 40, 50 phr with carbon black type N220, N330, N550 and N660. Optimum reinforcement of tensile strength investigated in adding 30 phr N220 carbon black type with quantity is 273,66 Kg/cm^2, optimum abrasion quantity is 104,33% resulted in adding of 40 phr N220 carbon black type, and optimum hardness quantity is 72,4% resulted in adding of 50 phr N330 carbon black type. Result from this research concluded that the smaller particle size will give greater reinforcing effect on the tensile strength, abrasion, and hardness. Greater amount of carbon black will give greater reinforcing effect on the hardness of the natural rubber product.

Key Word : Active filler, carbon black, natural rubber

xiii + 48 pages : 22 pictures; 4 tables; 3 attachment

Bibliography : 26 (1944-2011)

Universitas Indonesia

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN…….……..…..... iv
KATA PENGANTAR…….……...… v
ABSTRAK…….……..…..... viii
ABSTRACT …….……..…..…. ix
DAFTAR ISI ……..... x
DAFTAR GAMBAR …….……..... xii
DATAR TABEL ….……..…….…. xiv
DAFTAR LAMPIRAN ……..…….. xv

BAB 1 PENDAHULUAN ……..…..…….…. 1
1.1 Latar Belakang ..……..…..……..... 1
1.2 Perumusan Masalah ……..……...…. 2
1.3 Tujuan Penelitian …….……..… 2

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA ……..……...……..... 3
2.1 Karet Alam dan Karet Sintetik ……..……..... 3
2.1.1 Karet Alam ……...……..…... 3
2.1.2 Karet Sintetik ……...…… 5
2.2 Bahan Kimia Tambahan ……..... 6
2.2.1 Bahan Vulkanisasi …… 7
2.2.2 Bahan Pencepat (*accelerator agent*) ……...…… 8
2.2.3 Bahan Pengaktifasi …….……..... 9
2.2.4 Bahan Pelindung ……...…….…… 10
2.2.5 Bahan Pengisi (*filler*) ……..…….... 11
2.2.5.1 *Carbon Black* ……..... 12
2.3 Proses Pengolahan Karet Alam ……...… 18
2.3.1 Proses Mastikasi & Pencampuran …….…….. 18
2.3.2 Proses Vulkanisasi……..…..… 19
2.4 *Bound Rubber* ……..... 24

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN ……...…..... 26
3.1 Bahan ……..... 26
3.2 Peralatan Percobaan ……...…… 26
3.3 Prosedur Percobaan ..……..... 28
3.3.1 Pembuatan Kompn Karet …..…….. 28
3.3.2 Pengujian Sampel …… 30

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN ……..... 33
4.1 Hasil Pengukuran *bound rubber* ……..…… 33
4.2 Hasil Pengukuran Sifat Mekanik…….…… 34
4.2.1 Kekuatan Tarik (*tensile strength*)……..…….…. 35
4.2.2 Abrasi (*abrasion*) …….……... 38

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

4.2.3 Kekerasan (*hardness*) ....……………………....…....…..……... 40
4.2.4 Ketahanan Panas ……………………………………………..… 41

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN ……..…………………..……….…. 45
5.1 Kesimpulan ………………………………………...…………..….. 45
5.2 Saran ………………………………………………...………..… 45

DAFTAR REFERENSI ....……………………..………….………… 46

LAMPIRAN …..……………………………………....………...……….… 49

Universitas Indonesia
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Polimerisasi Karet Alam 3

Gambar 2.2. Trans 1,4 Isoprena..... 3

Gambar 2.3. Struktur Senyawa Akselerator pada Vulkanisasi dengan Sulfur ….. 9

Gambar 2.4. Struktur Kelat Zn-MBTS ……..……..….. 10

Gambar 2.5. Struktur *Carbon Black* ..……..…….... 13

Gambar 2.6. Struktur Lapisan Aromatik *Carbon Black* …….……. 14

Gambar 2.7. Model Struktur Atom (a) Grafit (b) *Carbon Black* …….…… 14

Gambar 2.8. Ilustrasi Distribusi Agregat *Carbon Black* pada Matriks Poliisoprena ……..... 17

Gambar 2.9. Mekanisme Ionik Reaksi Pembentukan Ikatan Silang Tanpa Akselerator …….. 21

Gambar 2.10. Mekanisme Radikal Reaksi Pembentukan Ikatan Silang dengan Akselerator Organik ..……..... 22

Gambar 2.11. Mekanisme Radikal Reaksi Pembentukan Ikatan Silang dengan Akselerator Organik dan Anorganik 23

Gambar 2.12. Ilustrasi Distribusi Agregat *Carbon Black* pada Matriks Poliisoprena ……..…... 25

Gambar 3.1. Bagan Alir Pembuatan Sampel Kompon dan Vulkanisat ……..… 31

Gambar 3.2. Diagram Alir Uji *Bound Rubber* …….…..... 32

Gambar 4.1. Grafik *Trend Bound Rubber* terhadap Jumlah *Carbon Black* ……..…..…. 34

Gambar 4.2. Grafik *Trend* Kekuatan Tarik terhadap Jumlah *Carbon Black* ……..... 36

Gambar 4.3. Model *Reverse* Interaksi Polimer dengan *Carbon Black* sebelum dan setelah Mengalami Gaya Tarik …… 37

Gambar 4.4. Model Interaksi Polimer dengan *Carbon Black* saat Mengalami Gaya Tarik sampai Titik Deformasinya …… 37

Gambar 4.5.Grafik *Trend* Abrasi terhadap Jumlah *Carbon Black* …….. 39

Gambar 4.6. Grafik *Trend* Kekerasan terhadap Jumlah *Carbon Black* ……..…..... 41

Universitas Indonesia
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Gambar 4.7. TGA Vulkanisat Karet TPC + 50 phr *Carbon Black* N220 ……... 43

Gambar 4.8. TGA Vulkanisat Karet TPC + 30 phr *Carbon Black* N220 ……... 44

Universitas Indonesia

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kode Karet Sintetik 6

Tabel 2.2. Klasifikasi karakter ke-3 dan ke-4 *Carbon Black* 16

Tabel 2.3. Klasifikasi dan Karakterisasi dari *Carbon Black* Komersial 16

Tabel 3.1. Formulasi Sampel dengan Variasi *Carbon Black* ...……..... 31

Universitas Indonesia

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. SEM *Carbon Black* ……..... 49

Lampiran 2. SEM Fragmen Karet TPC (*Thin Pale Crepe*) ……..…... 51

Lampiran 3. Data Mentah Pengukuran Sifat Mekanik .....…….....… 53

Lampiran 4. Foto-Foto Peralatan Uji ……... 55

Universitas Indonesia

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

BAB 1

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Produksi karet alam Indonesia menempati peringkat ke dua setelah Thailand (USAID, 2007). Besarnya produksi karet alam Indonesia tidak diimbangi dengan perkembangan riset dan teknologi pengelolaan karet alam yang dapat memenuhi permintaan pasar industri. Hal ini terbukti dengan besarnya nilai impor karet sintetik oleh industri hilir. Jenis industri yang menggunakan produk-produk karet sebagai bahan penunjangnya antara lain : pertambangan, perminyakan, otomotif, dan perhubungan.

Besarnya permintaan produk karet sintetik oleh industri secara umum disebabkan oleh spesifikasi produk yang diinginkan tidak dapat dipenuhi oleh produk karet alam olahan yang ada saat ini. Untuk dapat memenuhi spesifikasi produk karet tersebut, perlu pengembangan riset dan penggunaan teknologi yang lebih maju, mulai dari pembuatan formulasi sampai kepada proses manufakturnya.

Spesifikasi produk karet tertentu dapat terpenuhi jika komponen-komponen maupun faktor-faktor yang membentuk sifat-sifat tersebut dapat diidentifikasi. Oleh karena itu, pembuatan formulasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bahan baku, bahan kimia dan parameter proses (Bhowick, 1994). Faktor-faktor tersebut sangat berguna dalam memberikan informasi sifat-sifat mekanis dari produk karet yang dikembangkan.

Carbon black merupakan salah satu bahan kimia tambahan yang dapat mempengaruhi sifat mekanis dari vulkanisat karet (Michael et.al, 1995), sehingga dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh ukuran dan jumlah phr *carbon black* pada perubahan sifat mekanik karet alam jenis *thin pale crepe* (TPC). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai formulasi yang dapat menghasilkan produk karet berbahan baku TPC dengan hasil yang optimal.

Universitas Indonesia
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

1.2. Perumusan Masalah

Penggunaan *carbon black* sebagai bahan kimia tambahan telah diketahui melalui serangkaian penelitian pendahuluan, dapat meningkatkan sifat mekanis dari karet alam. Namun hubungan formulasi spesifik *carbon black* terhadap sifat mekanis dari produk karet alam belum teridentifikasi secara detail pada penelitian-penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dipelajari dan dikaji hubungan formulasi spesifik antara *carbon black* dan karet alam untuk menghasilkan sifat mekanis berupa kekuatan tarik (*tensile strength*), abrasi (*abrasion*), dan kekerasan (*hardness*) yang optimum sesuai dengan kebutuhan.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa ukuran partikel dan jumlah *carbon black* mempengaruhi sifat mekanik produk karet alam dan menemukan formula terbaik (jenis dan jumlah/phr) *carbon black* yang tepat untuk menghasilkan produk karet teknis berbahan baku karet alam jenis TPC dengan sifat mekanik berupa kekuatan tarik (*tensile strength*), abrasi (*abrasion*), dan kekerasan (*hardness*) yang optimum.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

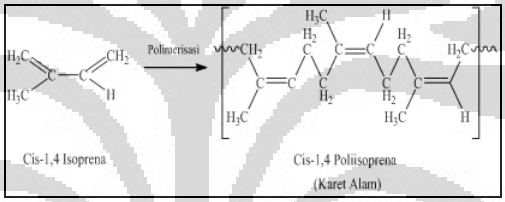
BAB 2

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karet Alam dan Karet Sintetik

2.1.1. Karet Alam

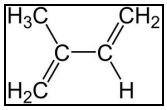
Karet alam atau *cautchouc* adalah poliisoprena yang secara alami dihasilkan oleh lateks tanaman *Hevea brasiliensis*. Lateks diperoleh dengan menggoreskan batang pohon *Hevea brasiliensis* dan menampung lateks yang keluar dari pohon tersebut. Lateks merupakan polimer alami dari isoprena (cis 1,4-poliisoprena) dengan berat molekul 100.000 sampai 1.000.000 (Hofmann, 1994).



[Sumber : A. Mahendra, 2007]

Gambar 2.1. Polimerisasi Karet Alam

Isporena (C_5H_8) atau 2-metil-1,3-butadiena termasuk dalam golongan terpenoid. poliisoprena memiliki 2 bentuk isomer geometri yaitu bentuk cis dan trans. Lateks yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karet adalah cis 1,4- poliisoprena yang dihasilkan oleh tanaman *Hevea brasiliensis*. Sementara bentuk trans 1,4-poliisoprena dihasilkan dari lateks *Gutta percha* (*Palaquium gutta*) namun poliisoprena dengan geometri trans tidak dapat digunakan sebagai bahan baku karet alam karena memiliki sifat yang berbeda dalam segi elastisitasnya.



[Sumber : A. Mahendra, 2007]

Gambar 2.2. Trans 1,4 Isoprena

Universitas Indonesia
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Karet didapat dari hasil pemecahan koloid lateks dengan bantuan asam yang dilanjutkan dengan proses pencucian dan pengeringan. Berdasarkan kualitasnya, karet alam dibagi menjadi dua bentuk, yaitu bentuk lembar tipis (*crepe)* dan bentuk lembar tebal (*sheet*) (Natural rubber, 2011)

A. Bentuk Lembar Tipis (*crepe*)

Thin pale crepe atau *thick pale crepe* merupakan karet alam dengan kualitas paling baik. Untuk mencapai kualitas yang baik, karet alam jenis ini mula-mula dikoagulasikan dengan menggunakan hidrogen sulfit ($NaHSO_3$). Gumpalan tersebut kemudian dicuci dan digulung. Dari hasil proses pengerjaan ini, dihasilkan lembaran dengan ketebalan antara 1,2 mm sampai 1,5 mm dan lebar 24 cm. Lembaran ini kemudian dikeringkan pada ruangan selama 2,5 sampai 4 hari pada suhu $37^{O}C$ atau dibiarkan mengering pada ruangan terbuka selama 5 sampai 10 hari (Natural rubber, 2011).

B. Bentuk Lembar Tebal (*sheet*)

Bentuk *sheet* dibedakan menjadi dua jenis, yaitu

a. ADS (*air dried sheet*)

Jenis karet ini umumnya jarang ditemui karena produksinya yang terbatas. Secara penampilan luar ADS hampir sama seperti RSS namun sedikit lebih bening. Warna yang lebih bening ini disebabkan karena proses pembuatannya berada di ruangan yang bebas asap.

b. RSS (*ribbed smoked sheets*)

Karet RSS dibuat melalui serangkaian proses. Lateks yang mengandung karet sekitar 15% - 16% dilarutkan dan digumpalkan pada tanki khusus dengan menggunakan asam formiat atau asam asetat. Gumpalan akan terbentuk 3-4 jam setelah pemberian asam.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Setelah penggilingan dan pencucian, karet tersebut dibentuk lembaran dengan ketebalan antara 2,5 sampai 3,5 mm, lebar 24 cm, dan panjang 90 atau 135 cm (*Natural Rubber*, 2011). Proses penggilingan terakhir menggunakan gilingan berpola sehingga produk yang dihasilkan berbentuk garis-garis seperti tulang rusuk. Karena karet jenis *sheet* tidak dicuci secara mendetail seperti pada jenis *crepe*, pengotor pada jenis *sheet* lebih besar jumlahnya (*Natural Rubber*, 2011). Untuk mencegah agar tidak cepat rusak akibat mikroba maka karet jenis ini perlu diawetkan dengan cara di asap pada ruang pengasapan. Setelah diasap, lembaran dibungkus dengan pelapis agar terlindungi dari oksidasi oleh udara.

2.1.2. Karet Sintetik

Karet sintetik mulai digunakan secara luas sebagai ban pada kendaraan bermotor pada akhir abad ke-18. Meningkatnya penggunaan karet sintetik, menyebabkan turunnya permintaan terhadap karet alam. Hal ini karena karet sintetik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan karet alam. Karet alam yang berasal dari lateks memiliki kontaminan dalam polimernya. Selain itu, karet alam juga memiliki keterbatasan sifat yang tidak dapat ditingkatkan meski sudah melalui proses vulkanisasi. Kelebihan karet sintetik lainnya adalah monomer pembentuk poliisoprena dapat dibuat dari berbagai macam monomer seperti 2-metil-1,3-butadiena, 1,3-butadiena, 2-kloro-1,3-butadiena, dan metil propena (Bhowick, 1994). Monomer ini dapat dipadukan dengan berbagai macam komposisi kopolimer untuk mendapatkan sifat fisik, mekanik dan kimia yang diinginkan. Selain itu, karena monomer yang digunakan memiliki kemurnian yang tinggi, hasil polimernya pun memiliki kemurnian yang tinggi. Beberapa tipe karet sintetik dapat dilihat pada tabel 2.1.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Tabel 2.1. Kode Karet Sintetik

Kode	Nama Teknis
ACM	Polyacrylate Rubber
AEM	Ethylene-acrylate Rubber
AU	Polyester Urethane
BIIR	Bromo Isobutylene Isoprene
BR	Polybutadiene
CIIR	Chloro Isobutylene Isoprene
CR	Polychloroprene
CSM	Chlorosulphonated Polyethylene
ECO	Epichlorohydrin
EP	Ethylene Propylene
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer
EU	Polyether Urethane
FFKM	Perfluoro*carbon* Rubber
FKM	Fluoronated Hydro*carbon*
FMQ	Fluoro Silicone
FPM	Fluoro*carbon* Rubber
HNBR	Hydrogenated Nitrile Butadiene
IR	Polyisoprene
IIR	Isobutylene Isoprene Butyl
NBR	Acrylonitrile Butadiene
PU	Polyurethane
SBR	Styrene Butadiene
SEBS	Styrene Ethylene Butylene Styrene Copolymer
SI	Polysiloxane
VMQ	Vinyl Methyl Silicone
XNBR	Acrylonitrile Butadiene Carboxy Monomer
XSBR	Styrene Butadiene Carboxy Monomer
YBPO	Thermoplastic Polyether-ester
YSBR	Styrene Butadiene Block Copolymer
YXSBR	Styrene Butadiene Carboxy Block Copolymer

[Sumber : Hofmann et al, 1989]

2.2. Bahan Kimia Tambahan

Proses pembuatan formulasi/kompon karet alam, memiliki beberapa pilihan bahan kimia tambahan untuk meningkatkan kualitas vulkanisat produk karet alam. Bahan kimia tersebut memberikan sifat mekanik yang spesifik terhadap vulkanisat produk karet yang akan dibentuk. Bahan kimia yang biasa

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

ditambahkan dalam proses pembuatan kompon dari karet alam adalah bahan vulkanisasi (sulfur atau non-sulfur), bahan pengaktifasi, bahan pencepat, bahan pengisi dan bahan pelindung.

2.2.1. Bahan Vulkanisasi

Fungsi bahan vulkanisasi pada proses pembuatan vulkanisat produk karet alam adalah sebagai pembuat ikatan silang antar polimer poliisoprena. Meskipun ikatan silang dapat terjadi dengan menggunakan peroksida atau radiasi dengan sinar berenergi tinggi, dalam prakteknya vulkanisasi dengan menggunakan sulfur disertai bahan pencepat lebih banyak digunakan. Penggunaan sulfur sebagai *crosslinking agent* memiliki kelebihan dibandingkan dengan ikat silang menggunakan peroksida. Kelebihan penggunaan sulfur dibanding dengan peroksida adalah hasil samping dari proses vulkanisasi dengan sulfur lebih ramah lingkungan. Jika dibandingkan dengan vulkanisasi radiasi, hasil vulkanisasi radiasi memiliki kelemahan yaitu ikatan silang yang terbentuk hanya dipermukaannya saja. Kelebihan menggunakan sulfur sebagai *crosslinking agent* selain harganya relatif lebih murah, hasil ikat silang yang terbentuk lebih banyak dan merata pada seluruh bagian kompon.

Dibandingkan dengan SBR dan NBR, karet alam membutuhkan konsentrasi sulfur yang lebih tinggi (2-3 phr) dan bahan pencepat yang lebih rendah (0,2 – 1,0 phr). Untuk karet alam penggunaan sulfur berbanding terbalik dengan bahan pencepat. Hal ini berfungsi untuk menjaga agar jumlah ikatan silang yang terbentuk berada dalam jumlah yang optimal dan terkontrol sesuai dengan produk yang diinginkan. Kuantitas ikatan silang yang terjadi pada vulkanisat produk karet alam, memberikan efek peningkatan ketahanan panas, pelarutan oleh pelarut organik dan daya kompresi. Namun disisi lain, kuantitas ikatan silang yang besar akan menurunkan kekuatan tarik dan elastisitas dari produk karet. Kadar sulfur untuk menghasilkan produk karet alam dengan sifat mekanik, sifat dinamis dan ketahanan panas yang optimal yaitu 0,5-1,5 phr yang biasa disebut dengan “semi-efisien” (Semi-EV) (Mark E. James et al,2005).

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

2.2.2. Bahan Pencepat (*Accelerator Agent*)

Proses vulkanisasi dengan belerang berlangsung sangat lambat. Guna mempercepat proses vulkanisasi diperlukan satu atau kombinasi dua atau lebih bahan pencepat. Proses vulkanisasi karet alam dapat bekerja lebih baik bila disertai bahan pencepat anorganik maupun pencepat organik. Bahan pencepat anorganik yang paling umum digunakan adalah oksida logam, sedangkan pencepat organik adalah senyawa yang memiliki gugus amina atau amida. Ditinjau dari fungsinya bahan pencepat organik dapat dikelompokkan sebagai berikut :

Primer : - Thiazol (contoh MBT, MBTS)

- Sulfenamida (contoh CBS, TBBS)

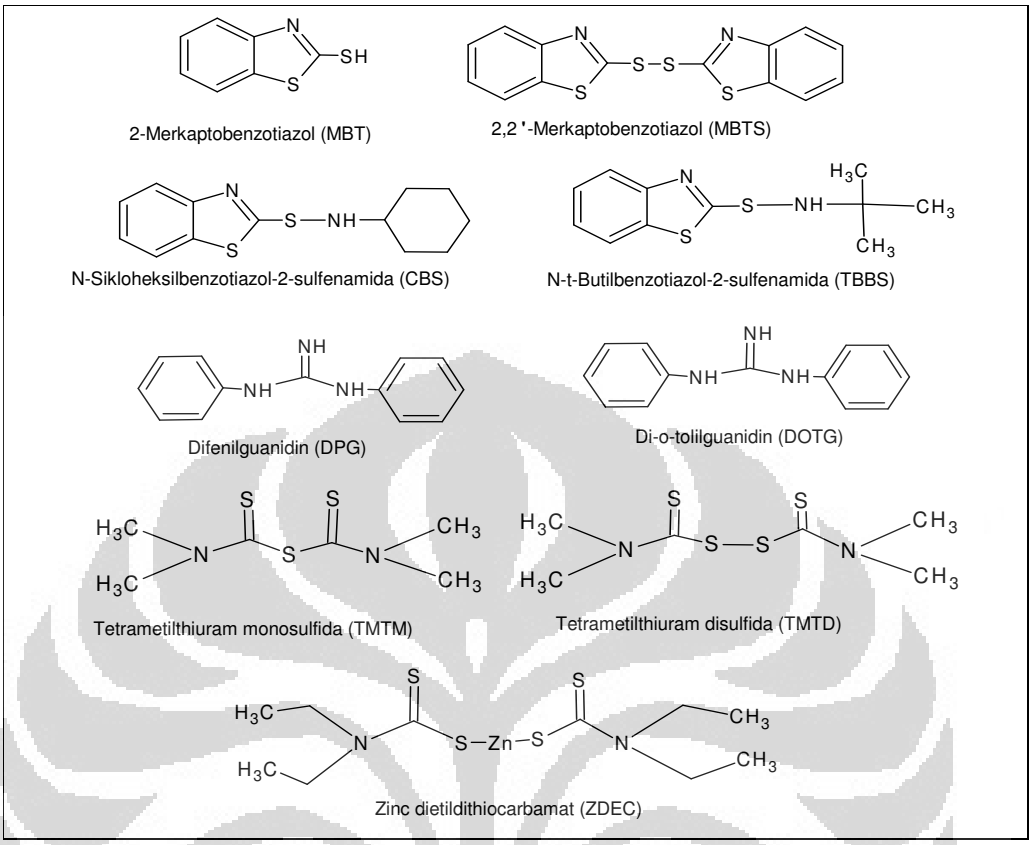
Sekunder : - Guanidin (contoh : DPG, DOTG)

- Dithiocarbamat (contoh : ZDEC, ZBDC)

- Thiuram (contoh : TMTM, TMTD)

- Dithiofosfat (contoh : ZBDP)

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012



Gambar 2.3. Struktur Senyawa Akselerator pada Vulkanisasi dengan Sulfur

Masing-masing dari bahan pencepat pada gambar 2.3 memiliki kelebihan dan kekurangan. Parameter yang menjadi kelebihan bahan yang satu dengan yang lainnya adalah waktu pematangan kompon karet (*curing*) dan kuantitas ikatan silang yang terbentuk.

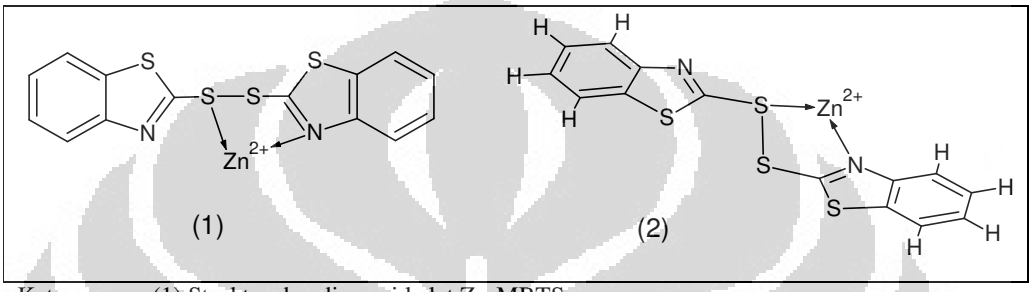
2.2.3. Bahan Pengaktifasi (*Activator Agent*)

Bahan pengaktifasi biasa digunakan bersama dengan bahan pencepat. Hal ini disebabkan percepatan proses vulkanisasi terjadi lebih cepat jika bahan pencepat teraktifasi. Bahan pengaktifasi biasanya berupa asam lemak atau garam dari asam lemak. Salah satu contohnya adalah asam stearat, sabun zink, atau amina stearat. Glikol atau trietanol amina dapat pula digunakan sebagai bahan pengaktifasi.

Penggunaan bahan pencepat dan bahan pengaktifasi secara bersamaan membentuk sistem aktifator yang akan menstimulus proses percepatan

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

pembentukan ikatan silang pada saat vulkanisasi berlangsung. Sistem aktifator pada proses vulkanisasi dengan belerang yang paling sering digunakan adalah kombinasi antara asam stearat dengan zink oksida. Asam stearat dan zink oksida membentuk garam. Selanjutnya garam ini membentuk kompleks bidentat dengan bahan pencepat. Struktur kompleks bidentat/kelat yang terbentuk adalah seperti pada gambar 2.4.



Keterangan : (1) Struktur dua dimensi kelat Zn-MBTS
(2) Struktur tiga dimensi kelat Zn-MBTS

Gambar 2.4. Struktur Kelat Zn-MBTS

Untuk dapat meningkatkan sifat pengaktifasi dari bahan pengaktifasi, karet alam yang digunakan harus memiliki kadar nitrogen yang lebih rendah. Kadar nitrogen yang tinggi dalam kompon karet alam akan mengganggu pembentukan kelat antara ion Zn^{2+} dengan atom nitrogen pada akselerator organik.

2.2.4. Bahan Pelindung

Karet alam memiliki ikatan tak jenuh yang sangat banyak, sehingga karet alam harus diberi tambahan komponen kimia yang dapat memberikan sifat tahan lama terhadap produk yang akan diproduksi. Kekuatan perlindungan dari bahan pelindung bergantung pada sifat kimia yang dimiliki oleh bahan tersebut. Yang paling efektif dalam melindungi karet ialah dari gugus amina aromatik, seperti turunan p-fenil diamin, yang melindungi tidak hanya dari proses oksidasi tetapi juga melindungi dari keretakan secara mekanik dan kerusakan yang disebabkan oleh ozon dan panas saat proses vulkanisasi maupun dari kondisi alamiah.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Anti-oksidan yang paling umum digunakan adalah turunan para fenilen diamina (contoh : Santoplex 13, Norox DPPD UOP 88). Adapun jenis dari anti-oksidan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- Fenil naftilamin (contoh : PAN, PBN)
- Kondensat aldehid - amina (contoh : Agrita resin)
- Kondensat keton - amina (contoh : Fuctol H)
- Turunan difenil amina (contoh : Norox OD)
- Fenil sulfida (contoh : Santo white crystal)
- Turunan fenol (contoh : Montacure, Ignol)

2.2.5. Bahan Pengisi (*Filler*)

Berbeda dengan hampir semua jenis karet sintetik, karet alam tidak memerlukan bahan pengisi untuk mendapatkan sifat elastisitas yang tinggi. Meskipun demikian, penggunaan bahan pengisi tetap penting, terutama untuk mendapatkan sifat mekanik tertentu dari produk karet alam.

Bahan pengisi diklasifikasikan menjadi dua, yaitu *carbon black* dan bahan pengisi non-*black* atau biasa disebut pengisi berwarna. Dari semua bahan pengisi, masing-masing bahan pengisi baik yang *black* atau non-*black*, memiliki derajat keaktifan tersendiri. Berdasarkan keaktifannya bahan pengisi dibagi atas dua golongan, yaitu golongan bahan pengisi aktif (bahan pengisi penguat) dan golongan bahan pengisi tidak aktif.

Bahan pengisi aktif akan menambah/meningkatkan sifat-sifat mekanik seperti : kekerasan, tegangan putus, ketahanan sobek, abrasi, sifat thermal, sifat dielektrik, dan elektromagnetik pada barang karetnya. Perubahan sifat-sifat akibat penambahan bahan pengisi ditentukan oleh ukuran, keadaan permukaan, bentuk butir, dan jumlah phr *carbon black*.

Penambahan bahan pengisi tidak aktif hanya akan menambah kekerasan dan kekakuan pada barang karetnya, sedangkan kekuatan dan sifat lainnya akan berkurang. Harga bahan pengisi tidak aktif lebih murah dibanding dengan bahan

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

pengisi aktif, sehingga bahan pengisi tidak aktif digunakan dalam kuantitas yang lebih kecil terutama untuk menekan harga produk karet.

Golongan bahan pengisi tidak aktif adalah kaolin, berbagai jenis tanah liat, kalsium karbonat, magnesium karbonat, barium sulfat dan barit. Sedangkan golongan bahan pengisi aktif adalah karbon hitam (*carbon black*), silika, aluminium silikat, dan magnesium silikat. Pada pembuatan kompon karet sering digunakan campuran antara bahan pengisi aktif dan bahan pengisi tidak aktif dengan memperhatikan harga, kemudahan pengolahan dan sifat produk karet yang diinginkan.

2.2.5.1. *Carbon Black*

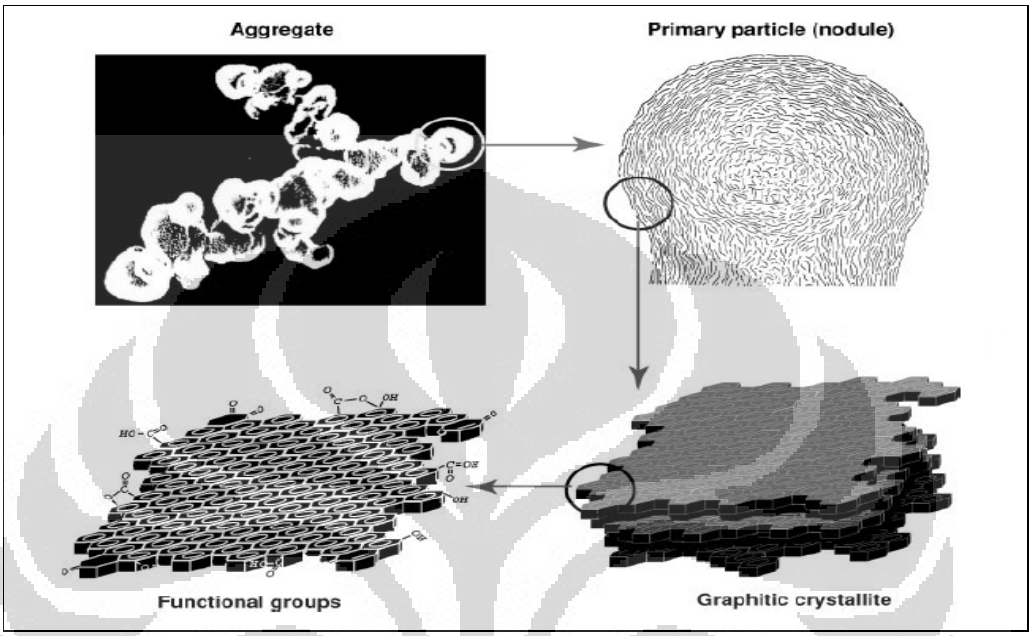
Carbon black secara umum digunakan dalam industri karet sebagai bahan pengisi yang dapat memberikan warna hitam dan meningkatkan sifat mekanik dari produk karet alam. Konsumsi *carbon black* pada industri ban karet mencapai 70%, sementara 20% digunakan untuk produk karet non-ban dan sisanya sebesar 10% digunakan untuk industri karet khusus.

Carbon black diproduksi melalui beberapa cara yang meliputi *oil furnace*, *impigment*, *lampblack*, dekomposisi termal gas alam, dan dekomposisi asetilen. Masing-masing metode menghasilkan *carbon black* dengan kualitas berbeda. Dari beberapa metode tersebut, *oil furnace* merupakan metode yang menghasilkan *carbon black* dengan prosentase terbanyak dan dengan waktu produksi relatif lebih cepat dibandingkan metode lainnya. *Carbon black* yang diperoleh melalui metode *oil furnace* memiliki 97 % unsur karbon, 0,2%-1,5% oksigen dan hidrogen (G. Kuhner et al, 1993).

Carbon black yang diperoleh melalui metode *oil furnace* memiliki bentuk berupa agregat yang terdiri dari bentuk lapisan-lapisan yang bertumpuk secara kokoh. Agregat tersebut tersusun dari lapisan yang menyatu. Lapisan ini secara umum dikenal dengan sebutan partikel atau bongkol (*nodule*). Bongkol ini tersusun dari banyak lapisan yang menyerupai struktur grafit yang bertumpuk.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Struktur lapisan yang menyerupai grafit ini terdiri dari cincin poliaromatik yang bertumpuk secara acak. Penjelasan struktur *carbon black* dapat dilihat pada gambar 2.5.

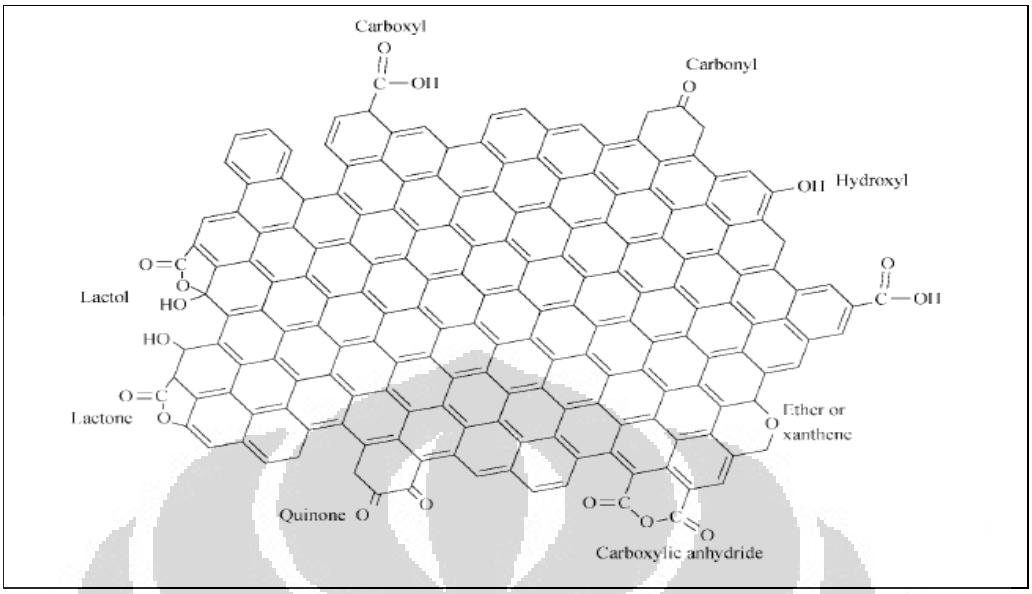


[Sumber : Wang Meng Jiao et al, 2001]

Gambar 2.5. Struktur *Carbon Black*

Pada gambar 2.5, terlihat bahwa struktur poliaromatik *carbon black* memiliki beberapa gugus fungsi. Gugus fungsi inilah yang memainkan peran dalam penguatan produk karet. Penggambaran struktur lapisan poliaromatik ini diperoleh dari hasil karakterisasi *mass spectroschopy* dan C-NMR oleh Wang Meng Jiao dalam *introduction of carbon black* secara dua dimensi digambarkan seperti pada gambar 2.6.

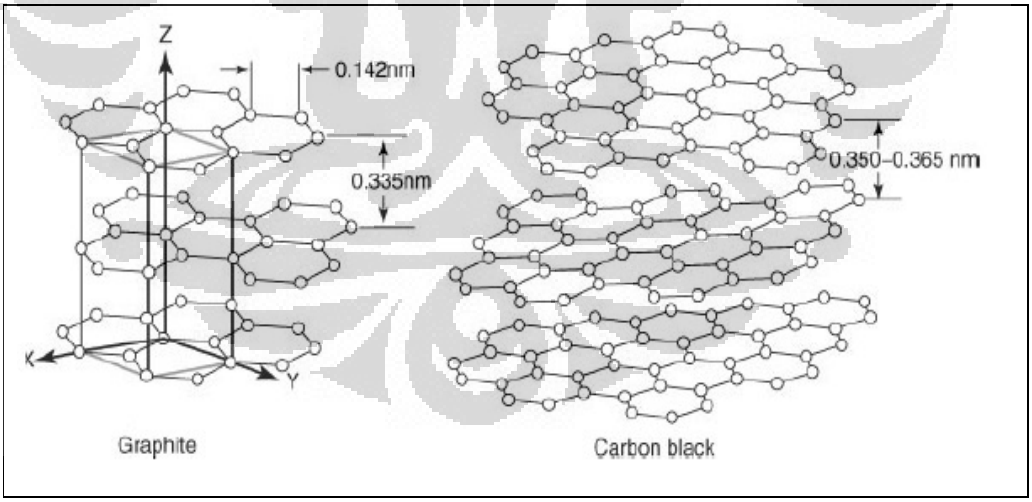
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012



[Sumber : Wang Meng Jiao et al, 2001]

Gambar 2.6. Struktur Lapisan Aromatik *Carbon Black*

Carbon black dapat dibedakan dari grafit, melalui formasi struktur geometri dan agregat khas yang hanya dimiliki oleh *carbon black*. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.7.



[Sumber : Wang Meng Jiao et al, 2001]

Gambar 2.7. Model Struktur Atom (a) Grafit (b) *Carbon Black*

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) diperoleh data *carbon black* memiliki struktur menyerupai grafit namun ada beberapa perbedaan nyata yang membedakan antara struktur atom grafit dengan *carbon black*. Struktur atom grafit memiliki dimensi tiga sementara struktur atom *carbon black* berdimensi dua. Dari data XRD yang diperoleh, *carbon black* memiliki lapisan cincin poliaromatik yang bertumpuk secara paralel menyerupai tumpukan lapisan cincin aromatik pada grafit, namun arah dan keteraturannya berbeda. Hal ini dapat diketahui dari perbedaan jarak antar lapisan pada grafit dan *carbon black*. Jarak antar lapisan cincin poliaromatik pada grafit sekitar 0,335 nm sementara pada *carbon black* berada pada kisaran 0,350-0,365 nm. Dari data ini diketahui bahwa, tumpukan lapisan pada *carbon black* memiliki interaksi antar cincin poliaromatik lebih lemah dibandingkan yang dimiliki oleh grafit. Akibatnya, struktur cincin paoliaromatik dari *carbon black* lebih mudah mengalami pemisahan dan lebih mudah terdistribusi pada proses pencampuran dengan polimer isoprena.

Carbon black memiliki sistem klasifikasi yang memberikan informasi mengenai kualitas suatu tipe *carbon black*. Sistem pengklasifikasian tersebut menggunakan empat karakter. Karakter pertama pada sistem penamaan tersebut merupakan huruf yang mengindikasikan kecepatan pengaruh *carbon black* terhadap penguatan karet alam saat proses *curing* atau vulkanisasi. Huruf "N" (Normal) mengindikasikan tipe *carbon black* dengan kecepatan normal pada penguatan karet saat proses *curing* atau vulkanisasi. Sedangkan Huruf "S" (*Slow*) digunakan untuk *carbon black* yang telah mengalami modifikasi untuk mengurangi kecepatan penguatan karet saat proses *curing* atau vulkanisasi. Karakter yang kedua merupakan kode angka untuk menunjukkan luas permukaan rata-rata dari *carbon black* yang diukur dengan menghitung luas permukaan nitrogen. Karakter ketiga dan keempat pada sistem penamaan menunjukkan luas permukaan. Rentang luas permukaan *carbon black* dibagi menjadi sepuluh tingkatan kelompok seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.2.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Tabel 2.2. Klasifikasi karakter ke-3 dan ke-4 *Carbon Black*

Group No.	Avg. Surface Area m^2/g
0	> 150
1	120 - 150
2	100 - 120
3	70 - 79
4	50 -69
5	40 -49
6	33 - 39
7	21 - 32
8	11 - 20
9	0 - 10

[Sumber : Wang Meng Jiao et al, 2001]

Tabel 2.3. Klasifikasi dan Karakterisasi dari *Carbon Black* Komersial

ASTM Designation	Type Code	Type	Typical NSA m2/g	Typical avg. particle, nm
N110	SAF	Super Abrasion Furnace	130	11 – 19
N220	ISAF	Intermediate Superabrasion Furnace	115	20 – 25
N330	HAF	High Abrasion Furnace	79	26 – 30
N550	FEF	Fast Extrusion Furnace	41	40 – 48
N660	GPF	General Purpose Furnace	35	49 – 60
N762	SRF	Semi-Reinforcing Furnace	28	61 – 100
N990	MT	Medium Thermal	9	200 - 500

[Sumber : Wang Meng Jiao et al, 2001]

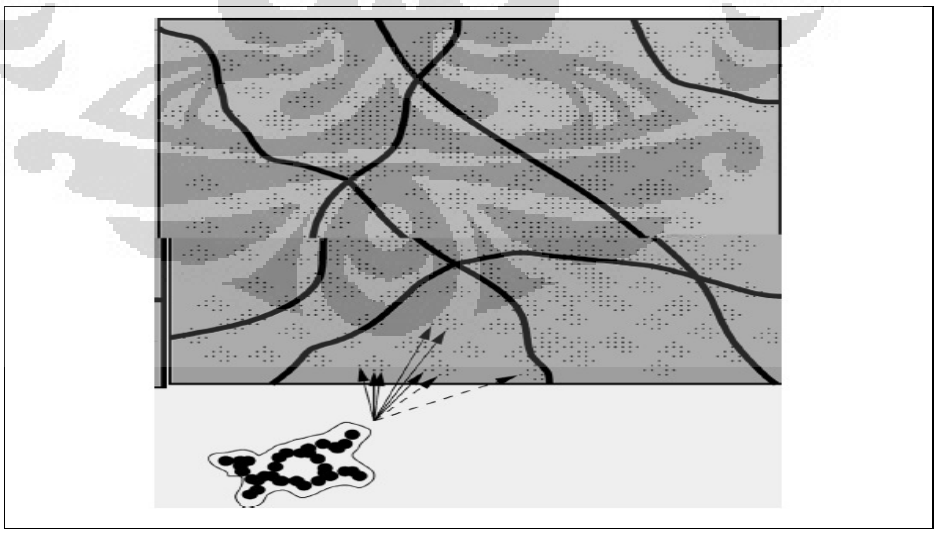
Keterangan : NSA (*Nitrogen Surface Area*) adalah pengukuran luas permukaan dengan menggunakan adsorpsi gas Nitrogen

Fungsi *carbon black* sebagai *filler* aktif dipengaruhi oleh dua parameter, yaitu aktifitas permukaan, dan distribusi ukuran agregat. Kedua parameter ini memegang peranan penting dalam mempengaruhi sifat mekanik dari produk karet yang terbentuk. Penelitian yang dilakukan oleh Soney C. George dan Sabu

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Thomas menyebutkan bahwa waktu vulkanisasi kompon untuk mendapatkan karet dengan sifat mekanik yang optimum lebih cepat terjadi pada kompon karet yang ditambahkan *filler carbon black* dibandingkan dengan kompon karet tanpa *filler carbon black*. Data ini menyimpulkan bahwa keberadaan *carbon black* akan mempercepat terjadinya pembentukan ikatan silang pada rantai polimer isoprena.

Mekanisme percepatan proses vulkanisasi pada kompon karet dipengaruhi oleh dua parameter diatas, yaitu aktifitas permukaan dan distribusi ukuran agregat. Pengamatan aktifitas permukaan pada proses vulkanisasi karet terpusat pada kemampuan partikel *carbon black* untuk membentuk radikal pada saat proses vulkanisasi berlangsung (J. Le Bras and E. Papirer, 1979). Menurut Le Bras, struktur aromatik dari kristal *carbon black* memiliki kemampuan sebagai donor radikal yang baik, hal ini disebabkan struktur aromatik *carbon black* memiliki ikatan rangkap yang cukup banyak dan terkonjugasi serta gugus fungsi yang berada pada sisi bidang aromatik *carbon black*. Selain dari faktor aktifitas permukaan *carbon black*, distribusi ukuran agregat juga banyak mempengaruhi sifat mekanik dari produk karet alam. Semakin baik ditribusi ukuran partikel semakin besar sifat penguatannya (Mark E. James et al, 2005 hal. 374-375). Distribusi ukuran partikel *carbon black* pada matriks karet alam dapat diilustrasikan seperti pada gambar 2.8.



[Sumber : B. Omnes et al, 2008]

Gambar 2.8. Ilustrasi Distribusi Agregat *Carbon Black* pada Matriks Poliisoprena

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Distribusi ukuran ini sangat dipengaruhi oleh kondisi saat pencampuran dan tipe agregat *carbon black* yang digunakan (Mark E. James et al, 2005). Pengaruh dari distribusi ukuran agregat ini terletak pada jarak antara partikel *carbon black*, polimer dan sulfur. Keberadaan *carbon black* membantu proses kontak antara polimer dengan sulfur. Kontak ini terjadi karena berkurangnya jarak antara sulfur dengan rantai polimer yang disebabkan adanya gaya Van der Waals pada permukaan rantai polimer dan sulfur oleh permukaan *carbon black*. Gaya Van der Waals permukaan ini menarik rantai polimer dan sulfur pada jarak yang memungkinkan untuk terjadinya kontak optimum, sehingga pada saat proses vulkanisasi berlangsung, proses pembentukan ikatan silang oleh adanya radikal menjadi lebih cepat berlangsung.

2.3. Proses Pengolahan Karet Alam

Sebelum dapat digunakan sebagai produk teknis, karet alam harus melewati beberapa proses pengolahan. Proses tersebut meliputi mastikasi karet, pencampuran, dan vulkanisasi.

2.3.1. Proses Mastikasi dan Pencampuran

Karet alam yang diperoleh dari pengolahan industri hulu karet biasanya bersifat kenyal. Sifat ini harus dirubah saat pengolahan karet berlangsung. Proses mastikasi bertujuan untuk memutuskan ikatan-ikatan kimia pada polimer isoprena sehingga karet bersifat plastis dan memungkinkan terjadinya pencampuran oleh bahan kimia tambahan lain.

Proses mastikasi dapat terjadi dengan *peptisizer* maupun tanpa *peptisizer*. Proses mastikasi dengan *peptisizer* berlangsung menggunakan bahan pengoksidasi disertai dengan panas. Bahan pengoksidasi ini kemudian memutus ikatan polimer pada karet mentah. Sementara proses mastikasi tanpa *peptisizer*, karet alam dimasukkan kedalam celah penggilingan. Celah tersebut sebelum digunakan untuk menggiling, harus dipanaskan terlebih dahulu dengan uap hingga tercapai suhu sekitar 40-60 ^{O}C. Karet mentah tersebut kemudian digiling hingga lembaran-

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

lembaran yang terbentuk memiliki tekstur yang lunak. Proses mastikasi ini kemudian dilanjutkan dengan proses pencampuran.

Proses pencampuran pada karet mentah hingga membentuk kompon karet bertujuan untuk membentuk karet setengah jadi, yang dapat diproses kembali untuk menjadi barang siap pakai. Proses ini dilakukan setelah karet mentah menjadi lunak akibat proses mastikasi. Tahapan penambahan bahan kimia pada proses pencampuran karet ini beragam sesuai dengan sifat karet yang diinginkan. Salah satu tahapan prosesnya ialah dengan memasukkan sulfur, bahan pengaktifasi dan bahan pencepat. Setelah memasukkan semua bahan tersebut bercampur homogen, barulah penambahan bahan pelindung dilakukan. Setelah semua bahan tambahan bercampur secara homogen, barulah *filler* dimasukkan. Setiap penambahan bahan kimia memiliki selang waktu tertentu yang digunakan untuk proses pencampuran. Setelah semua bahan menyatu secara homogen, kompon karet ini didinginkan untuk proses selanjutnya. Proses mastikasi dan proses pencampuran ini biasanya memerlukan waktu 20-30 menit.

2.3.2. Proses Vulkanisasi

Untuk mengubah sifat fisik dari karet dilakukan proses vulkanisasi. Vulkanisasi adalah proses pembentukan ikatan silang kimia dari rantai molekul polimer isoprena untuk meningkatkan elastisitas dan menurunkan plastisitas. Suhu adalah faktor yang cukup penting dalam proses vulkanisasi, namun tanpa adanya panas pun karet tetap dapat divulkanisasi.

Sejak Goodyear melakukan percobaan memanaskan karet dengan sejumlah kecil sulfur, proses ini menjadi metode terbaik dan paling praktis untuk merubah sifat fisik dari karet, proses ini disebut vulkanisasi. Vulkanisasi disebut juga "*cure*" yaitu suatu proses pemberian tekanan dan panas pada campuran elastomer dan bahan kimia. Adapun tujuan perlakuan ini adalah untuk menurunkan plastisitas dan meningkatkan elastisitas, kekuatan dan kemantapan karet dengan membentuk ikatan silang pada rantai poliisoprena.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

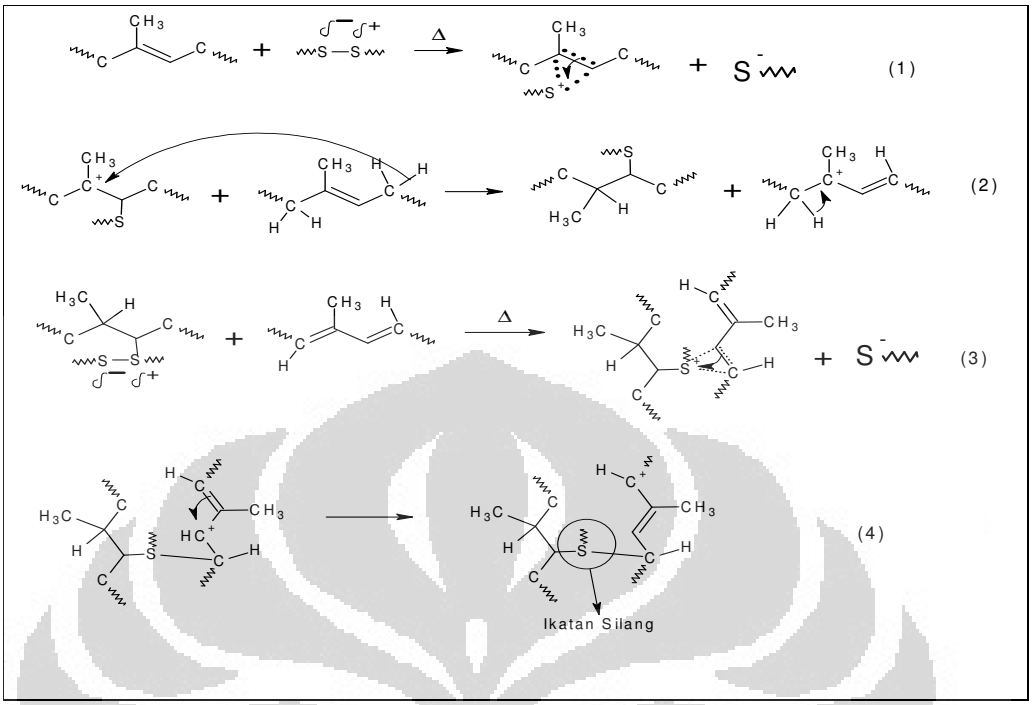
Penguatan sifat mekanik ini tidak hanya terjadi pada karet alam, namun juga pada karet sintetis. Produk vulkanisasi karet sintetik sebagian besar memiliki keunggulan dibandingkan dengan produk vulkanisasi karet alam. Keunggulan karet sintetik terletak pada monomer pembentuk karet sintetik memungkinkan untuk terjadinya penambahan gugus fungsi sehingga polimer yang terbentuk dari monomer-monomer ini memiliki penguatan sifat yang spesifik.

Karet dapat divulkanisasi atau mengalami proses *curing* tanpa adanya panas. Contohnya dengan bantuan sulfur diklorida. Banyak pula bahan yang tidak mengandung sulfur tapi dapat memvulkanisasi karet. Bahan ini terbagi dua yaitu *oxidizing agents* seperti selenium, telurium dan peroksida organik serta sumber radikal bebas seperti senyawa azo dan peroksida organik.

Banyak reaksi kimia yang berhubungan dengan vulkanisasi tetapi hanya melibatkan sedikit atom dari setiap molekul polimer. Definisi dari vulkanisasi dalam kaitannya dengan sifat fisik karet adalah setiap perlakuan yang menurunkan laju alir elastomer, meningkatkan *tensile strength* dan modulus. Meskipun vulkanisasi terjadi dengan adanya panas dan sulfur, proses itu tetap berlangsung secara lambat. Reaksi ini dapat dipercepat dengan penambahan sejumlah kecil bahan organik atau anorganik yang disebut akselerator. Vulkanisasi dengan sulfur tanpa akselerator, berlangsung melalui mekanisme ionik sementara vulkanisasi dengan sulfur dan akselerator berlangsung melalui mekanisme radikal (Mark E. James et al, 2005). Untuk mengoptimalkan kinerjanya, akselerator membutuhkan bahan kimia lain yang dikenal sebagai aktifator. Senyawa yang dapat berfungsi sebagai aktifator adalah asam lemak atau garam asam lemak sperti asam stearat atau zink stearat.

Mekanisme reaksi pembentukan ikatan silang yang terjadi pada saat vulkanisasi dapat diamati melalui gambar 2.9 sampai gambar 2.11.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012



Gambar 2.9. Mekanisme Ionik Reaksi Pembentukan Ikatan Silang Tanpa Akselerator

Keterangan Gambar 2.9 :

(1). Sulfur mengalami pemutusan rantai secara heterolitik (*Heterolytic Cleavage*). Bagian bermuatan positif rantai molekul sulfur kemudian mengalami penyerangan oleh elektron phi pada ikatan rangkap poliisoprena. Penyerangan ini kemudian membentuk karbokation pada rantai polisulfur-poliisoprena.

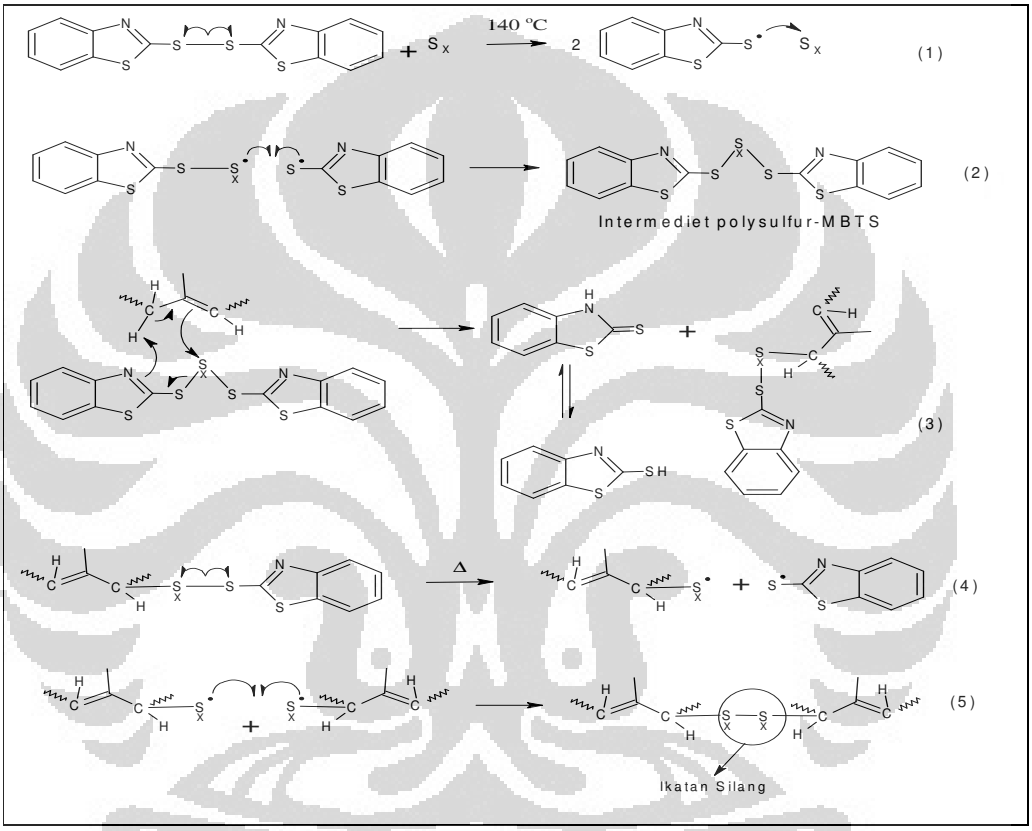
(2). Karbokation pada rantai polisulfur-poliisoprena kemudian mendapatkan donor atom H^- dari rantai poliisoprena yang lain. Setelah mendonorkan H^- kepada rantai polisulfur-poliisoprena, rantai poliisoprena ini membentuk diena.

(3). Rantai polisulfur-poliisoprena yang masih mengandung rantai pendek atom sulfur mengalami pemutusan heterolitik kembali dan membentuk kation sulfur pada rantai polisulfur-poliisoprena. Kation sulfur yang terbentuk kemudian diserang oleh elektron phi pada ikatan rangkap poliisoprena baik yang berbentuk diena seperti pada reaksi no.2 maupun oleh elektron phi pada ikatan rangkap

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

poliisoprena seperti pada reaksi no.1 dan membentuk karbokation pada rantai poliisoprena yang mengadakan penyerangan terhadap kation sulfur.

(4). Pada akhir reaksi, ikatan silang akan terbentuk dan akan terulang melalui mekanisme pada reaksi no.2



Gambar 2.10. Mekanisme Radikal Reaksi Pembentukan Ikatan Silang dengan Akselerator Organik

Keterangan Gambar 2.10 :

(1). Ikatan disulfida pada 2,2'- Dithiobisbenzotiazol (MBTS) mengalami pemutusan ikatan secara homolitik (*Homolytic Cleavage*) membentuk radikal 2-Merkaptobenzotiazol (MBT). Radikal MBT ini kemudian menyerang molekul sulfur dan mengalami propagasi dengan molekul sulfur tersebut.

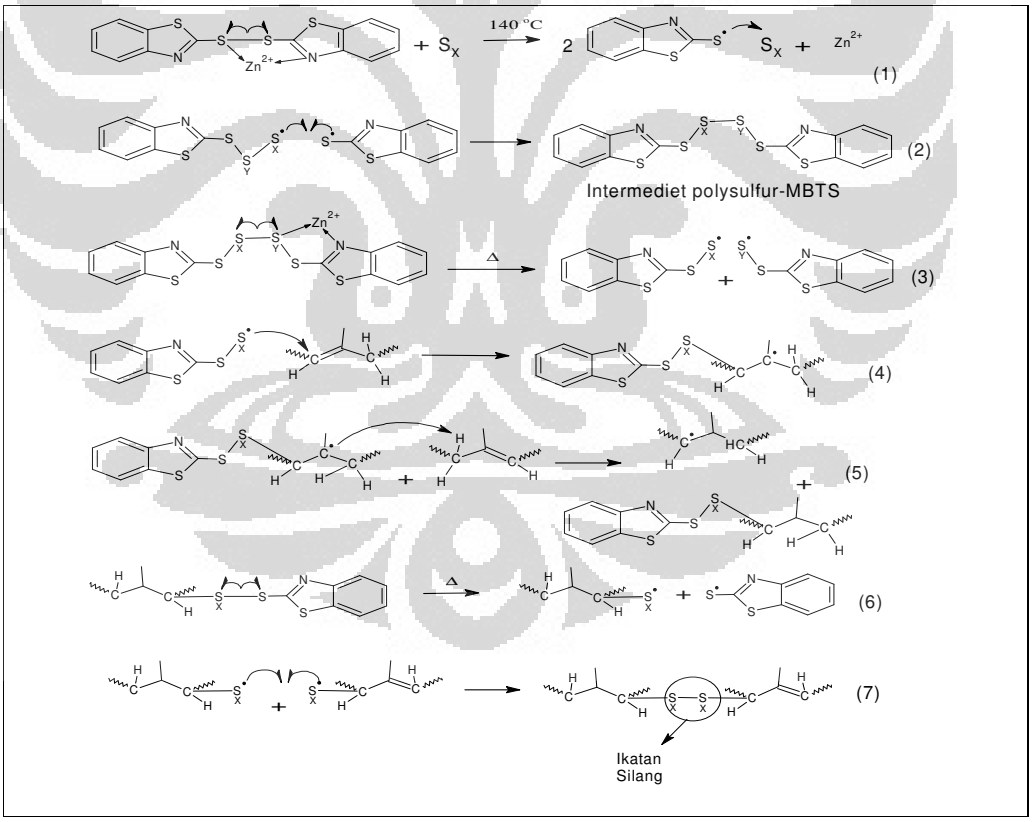
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

(2). Adanya radikal MBT pada reaksi no.1, mengalami terminasi dengan radikal MBT-sulfur membentuk intermediet polisulfur-MBTS.

(3). Intermediet polisulfur-MBTS ini kemudian bereaksi dengan rantai poliisoprena membentuk MBT-poliisoprena dan MBT.

(4). MBT-poliisoprena mengalami pemutusan ikatan secara homolitik pada ikatan sulfida kemudian membentuk radikal MBT dan radikal sulfur-poliisoprena

(5). Radikal sulfur-poliisoprena ini dapat mengalami propagasi dengan menyerang rantai poliisoprena lain atau mengalami terminasi dengan radikal sulfur-poliisoprena. Kedua kemungkinan ini pada akhirnya akan membentuk ikatan silang pada rantai poliisoprena



Gambar 2.11. Mekanisme Radikal Reaksi Pembentukan Ikatan Silang dengan Akselerator Organik dan Anorganik

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Keterangan Gambar 2.11 :

(1). MBTS membentuk kelat dengan ion zink. Kelat ini akan membantu mempercepat terjadinya pemutusan ikatan secara homolitik untuk membentuk radikal MBT. Radikal ini kemudian akan menyerang molekul sulfur dan mempropagasikannya menjadi radikal polisulfur-MBT

(2). Radikal polisulfur-MBT akan mengalami terminasi dengan radikal MBT atau dengan radikal polisulfur-MBT lain untuk membentuk intermediet polisulfur-MBTS

(3). Intermediet ini kemudian akan membentuk kelat dengan ion zink. Kelat ini membantu mempercepat terjadinya pemutusan ikatan secara homolitik untuk membentuk radikal polisulfur-MBT.

(4). Radikal polisulfur-MBT ini kemudian menyerang salah satu atom karbon ikatan rangkap pada poliisoprena. Reaksi propagasi ini kemudian membentuk radikal MBT-polisisoprena.

(5). Propagasi oleh polisulfur-poliisoprena-MBT akan menghasilkan molekul poliisoprena-polisulfur-MBT dan radikal poliisoprena

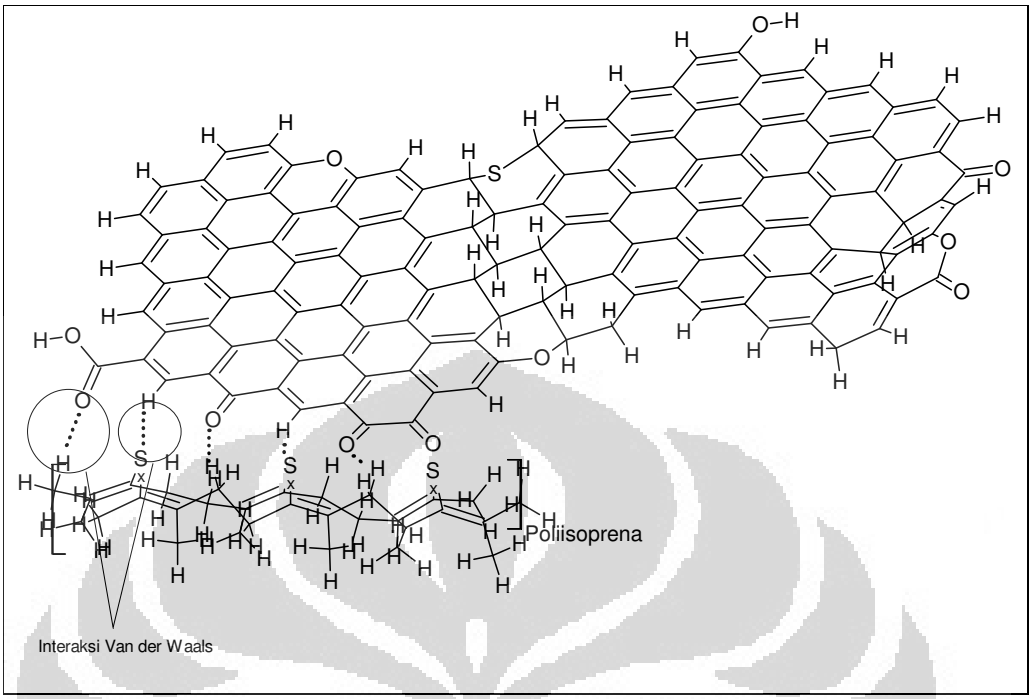
(6). Poliisoprena-polisulfur-MBT mengalami pemutusan ikatan secara homolitik membentuk radikal polisulfur-poliisoprena dan radikal MBT.

(7). Radikal polisulfur-poliisoprena dapat mengalami propagasi dengan rantai poliisoprena atau mengalami terminasi dengan radikal polisulfur-poliisoprena lain untuk membentuk ikatan silang.

2.4 *Bound Rubber*

Untuk pengujian sifat kimia dari karet yang dihasilkan adalah dengan menentukan prosentase *bound rubber* karet tersebut. *Bound rubber* adalah fraksi polimer isoprena yang tidak dapat larut dalam pelarut polimernya karena adanya interaksi dengan *carbon black*. Interaksi antara *carbon black* dan polimer inilah yang disebut *bound rubber* (Dannenberg, 1986).

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012



Gambar 2.12. Struktur Tiga Dimensi Interaksi Van der Waals antara *Carbon Black* dan Rantai Poliisoprena

Interaksi antara bahan pengisi dengan karet mengarahkan kepada adanya *bound rubber* yang menunjukan adanya gaya Van der Waals seperti digambarkan pada gambar 2.12. Kekuatan *bound rubber* ditentukan luas permukaan dan distribusi ukuran agregat dari *carbon black*. Hal ini disebabkan adanya gaya Van der Waals yang terjadi pada polimer oleh partikel *carbon black*. Semakin luas permukaan *carbon black*, maka semakin banyak pula polimer yang dapat berinteraksi dengan *carbon black* dan mengakibatkan sifat penguatan dari produk karet akan berbanding lurus dengan luas permukaan dari *carbon black* yang digunakan.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

BAB 3

3. METODOLOGI PENELITIAN

2.3.3. Bahan

Bahan yang di perlukan dalam penelitian ini antara lain :

- Karet alam *Thin Pale Crepe* (TPC)
- Toluena
- *Carbon Black*
- Asam Stearat
- ZnO-Red Seal
- CBS (*accelerating agent*)
- Sulfur (vulkanisator)

3.2. Peralatan

- Alat-alat gelas
- Neraca analitik
- Oven
- SEM (*Scanning Electron Microschopy*)
- TGA (*Thermal Gravimetry Analysis*)

o **Instrumen Pembuatan dan Pengukuran Sampel**

Universitas Indonesia
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

- Open two-roll mixing

  Model : HF-2RM
  Seri : 2394
  Tahun : 2008
  Roll Size : 8 x 18 L
  Temperatur Roll : 50 ^{o}C

- Mesin Pres

  Merk : PanStone Hydraulic
  Model : P-V-300-3RT-2
  Seri : M58/2
  Tahun : 2005
  Temperatur : 140 ^{o}C
  Waktu : 25 menit

- Hardness Test (ASTM D-2240)

  Merk : AFFRI
  Model : 3001
  Temperatur : temperatur kamar

- Tensile Strength, Elongation at Break, Tear Strength, Modulus 300% dan 100% (ASTM D-412)

  Merk : U-CAN
  Model : UT-2080
  Crosshead Speed : 5 ~ 600 mm/min for 250 kgf
  : 5 ~ 200 mm/min for 250 kgf
  Accuracy : $\pm$ 1,5 % (Crosshead Speed)
  Temperatur : temperatur kamar

- Abrasi DIN (ASTM D 297)

  Merk : U-Can
  Temperatur : temperatur kamar

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

3.3. Prosedur Percobaan

3.3.1. Pembuatan Kompon Karet

Sampel yang dibuat merupakan sampel-sampel berbahan baku TPC, yang ditambahkan beberapa zat kimia dan variasi *carbon black*, seperti terlihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Formulasi Sampel dengan Variasi *Carbon Black*

No	Nama Bahan	Formula											
		I			II			III			IV		
		N-660			N-550			N-330			N -220		
1	TPC	100			100			100			100		
2	As.Stearat	2			2			2			2		
3	ZnO-Red Seal	5			5			5			5		
4	***Carbon black***	**30**	**40**	**50**	**30**	**40**	**50**	**30**	**40**	**50**	**30**	**40**	**50**
5	CBS	1,4			1,4			1,4			1,4		
6	Sulfur	2,5			2,5			2,5			2,5		
Jumlah		141	151	161	141	151	161	141	151	161	141	151	161

Keterangan : Formula dalam satuan phr (*part perhundred rubber*)

Contoh konversi formula pada *carbon black* 30 phr

100+2+5+30+1,4+2,5= X=140,9 dibulatkan menjadi 141

X=141; jadi faktor/bilangan konversi, sehingga pada saat kita akan membuat sampel seberat 500 g, maka kebutuhan karetnya adalah :

(100/141) x 500 g = 354,609 g (dibulatkan menjadi 355 g),

Untuk *carbon black*, (30/141) x 500 g = 106,35 g

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Sulfur (2,5/141) x 500 g = 8,865 g; CBS (1,4/141) x 500 g = 4,964 g; As. Stearat (2/141) x 500 g = 7,092 g; ZnO 95/141) x 500 g = 17,73 g

Karet mentah sebanyak 355 g dimastikasi dengan cara digiling mengunakan open two-roll mixing, model : HF-2RM, Seri : 2394 pada suhu ±60°C selama 2 menit. Selama proses penggilingan berlangsung, karet yang sudah berbentuk lembaran dan bersifat plastis dilakukan penyobekan dengan pisau *cutter* sebanyak 6 kali penyobekan. Tanpa menghentikan penggilingan, ditambahkan ZnO sebanyak 17,73 g dan asam stearat sebanyak 7,092 g digiling selama 2 menit. Selama proses penggilingan berlangsung kompon karet yang berbentuk lembaran disobek dengan pisau *cutter* sebanyak 6 kali. Setelah 2 menit ditambahkan *carbon black* sebanyak 106,35 g dan digiling selama ±7 menit. Selama proses penggilingan berlangsung kompon karet yang berbentuk lembaran disobek dengan pisau *cutter* sebanyak 11 kali. Selanjutnya dimasukkan sulfur sebanyak 8,865 g dan CBS sebanyak 4,964 g dan digiling selama ± 5 menit. Selama proses penggilingan berlangsung kompon karet yang berbentuk lembaran disobek dengan pisau *cutter* sebanyak 11 kali dan dilakukan penggulungan lembar kompon sebanyak ± 7 kali. Setelah 5 menit, kompon diangkat dan didinginkan. Untuk membuat formulasi karet/kompon 40 phr dan 50 phr, perbedaannya hanya terletak pada berat konversi dari bahan-bahan yang digunakan tanpa perubahan perlakuan saat proses pembuatan kompon berlangsung.

Setelah proses pendinginan selesai, kompon yang dihasilkan berupa lembaran tipis ($\pm$ 2 mm), kemudian dipres dengan menggunakan mesin pres, merk : PanStone Hydraulic, model : P-V-300-3RT-2, seri : M58/2 dengan temperatur 140°C selama 25 menit. Bentuk vulkanisat yang dihasilkan disesuaikan dengan keperluan pengujian, yang mengacu pada standar- standar ASTM. Setiap pengujian menggunakan 5 (lima) buah sampel uji.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

3.3.2. Pengujian Sampel

a. Uji Sifat Mekanis

Hardness,Shore A	ASTM D 2240
Tensile Strength,Kg/cm²	ASTM D 412
Abrasi DIN	ASTM D 297
Uji Ketahanan Panas	ASTM E 1131-08

b. Uji Prosentase *Bound Rubber*

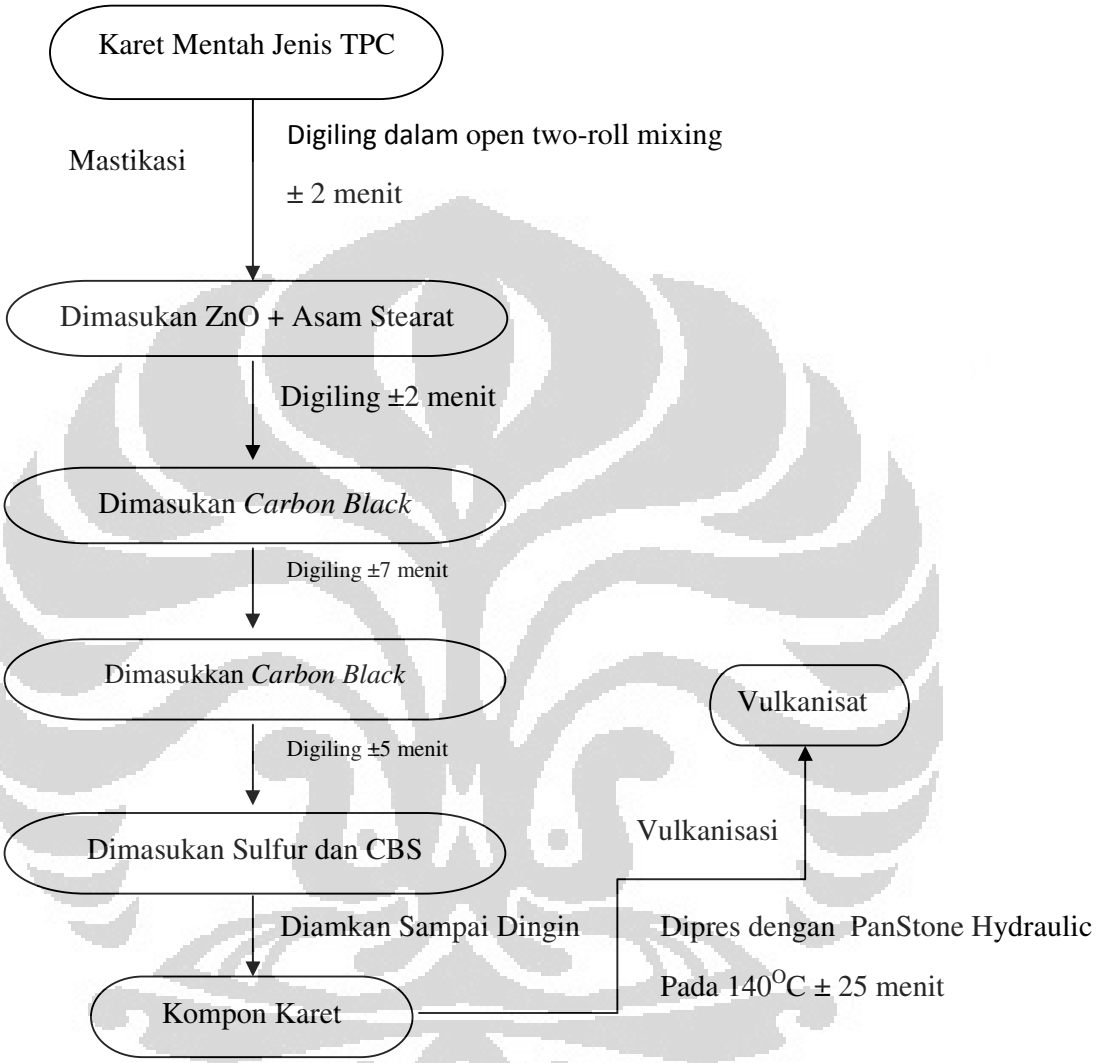
Prosentase *bound rubber* dapat diperoleh dengan merendam 0,5 gram sampel kedalam 150 mL toluen pada suhu ruang selama 72 jam. Selanjunya pelarut difiltrasi dan sisa sampel dikeringkan pada suhu 40°C selama 45 jam dalam keadaan vakum sampai beratnya konstan. Prosentase *bound rubber* dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$BR(\%) = 100 \times \frac{(M_0 - M_b) - [CPD/100\,(M_0 - M_e)]}{(M_0 - M_b)}$$

dimana M_O merupakan berat wadah + sampel awal, M_b adalah berat wadah, *CPD* adalah phr *carbon black* yang digunakan, *Me* adalah berat wadah + sampel akhir.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

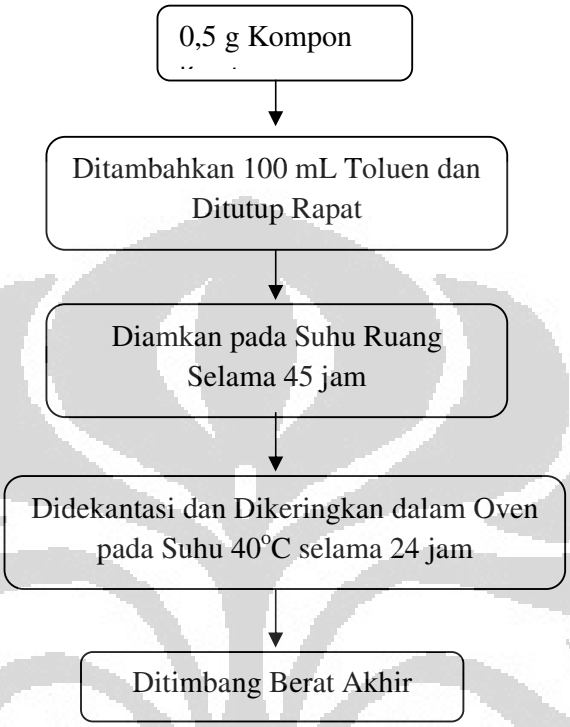
PEMBUATAN SAMPEL KOMPON DAN VULKANISAT



Gambar 3.1. Bagan Alir Pembuatan Sampel Kompon dan Vulkanisat

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

PENGUJIAN *BOUND RUBBER*



Gambar 3.2. Diagram Alir Uji *Bound Rubber*

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

BAB 4

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

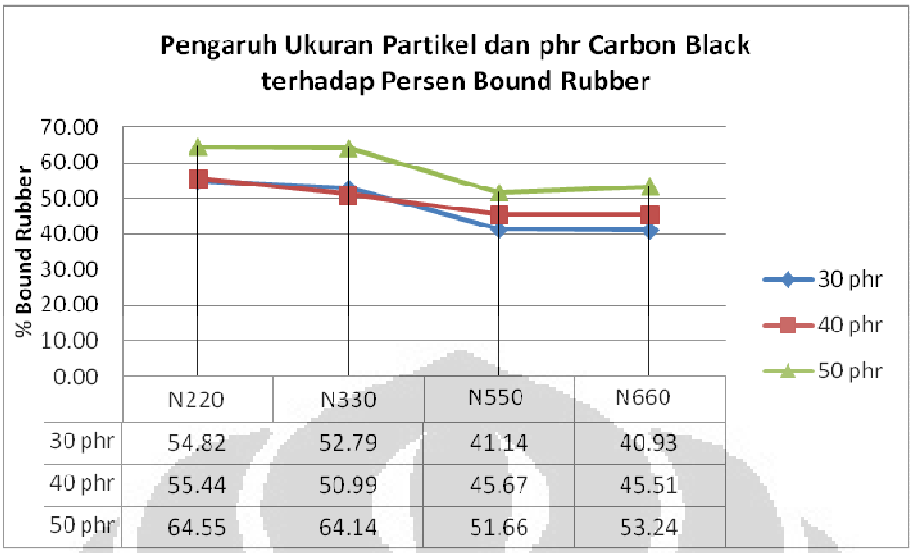
4.1. Hasil Pengukuran *Bound Rubber*

Sifat mekanik yang muncul pada vulkanisat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah karakteristik bahan pengisi yang digunakan. Dalam studi ini, parameter yang digunakan untuk mengukur efek mekanik produk karet alam adalah jumlah phr (*part perhundred rubber*) dan ukuran partikel.

Berdasarkan kepada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Z.H. Li et al, dalam mempelajari efek struktur agregat *carbon black* terhadap sifat mekanik dari vulkanisat karet sintetik Etilena-Propilena-Diena (EPDM), menyimpulkan bahwa efek penguatan terjadi disebabkan oleh aktifitas permukaan (*surface activity*) dari *carbon black* yang digunakan.

Aktifitas ini berhubungan erat dengan kuantitas gugus fungsi pada permukaan *carbon black*. Besarnya kuantitas gugus fungsi yang terlibat dalam proses gaya Van der Waals akan menentukan sifat yang akan terbentuk pada proses vulkanisasi karet sehingga semakin besar aktifitas permukaan suatu jenis *carbon black* akan meningkatkan intensitas gaya Van der Waals terhadap rantai polimer isoprena. Aktifitas permukaan dari *carbon black* dapat diukur melalui penentuan jumlah *bound rubber*. Pengukuran *bound rubber* mengindikasikan banyaknya partikel *carbon black* yang mengadakan interaksi fisik terhadap rantai polimer isoprena. Akibatnya, persen *bound rubber* akan berbanding lurus dengan aktifitas permukaan *carbon black* yang digunakan Dari pengukuran *bound rubber* sampel-sampel uji, diperoleh data grafik seperti yang tertera pada gambar 4.1.

Universitas Indonesia
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012



	N220	N330	N550	N660
30 phr	54.82	52.79	41.14	40.93
40 phr	55.44	50.99	45.67	45.51
50 phr	64.55	64.14	51.66	53.24

Keterangan : N220 = *carbon black* tipe N220 N550 = *carbon black* tipe N550

N330 = *carbon black* tipe N330 N660 = *carbon black* tipe N660

Gambar 4.1. Grafik *Trend Bound rubber* terhadap Jumlah *Carbon Black*

Dari data pada grafik, diketahui bahwa semakin besar ukuran partikel *carbon black* yang digunakan, persen *bound rubber* yang terbentuk akan semakin berkurang. Hal ini disebabkan oleh aktifitas permukaan yang lebih besar pada *carbon black* dengan ukuran partikel yang lebih kecil. Aktifitas permukaan yang besar memungkinkan adanya gaya Van der Waals yang lebih banyak terjadi antara *carbon black* dengan rantai polimer. Dalam jumlah yang besar, gaya Van der Waals ini mampu menghalangi proses pelarutan polimer isoprena dari pelarut alaminya. Sementara itu, jumlah *carbon black* yang lebih besar secara bersamaan dengan ukuran partikel *carbon black* yang lebih kecil, meningkatkan frekuensi terjadinya gaya Van der Waals

4.2 Hasil Pengukuran Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik yang menjadi fokus dari produk karet alam yang dikembangkan meliputi tiga pengujian, yaitu kekuatan tarik (*tensile strength*),

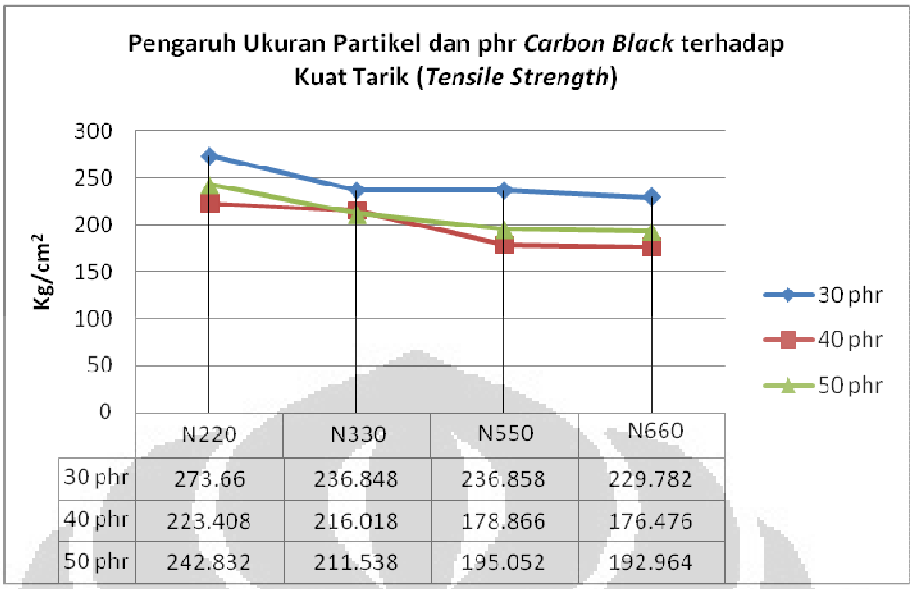
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

abrasi (*abrasion*), dan kekerasan (*hardness*). Ketiga hal ini menjadi fokus pembahasan karena dari ketiga sifat ini, dapat merepresentasikan hampir semua sifat produk karet yang diproduksi. Dalam industri karet, ketiga sifat ini menjadi parameter utama dari karakteristik produk karet yang ingin diproduksi. Sebagai contoh pada produk ban karet, kekuatan tarik menjadi parameter untuk menentukan berapa besarnya gaya yang dapat diterima oleh sifat elastis karet ketika ban bagian dalam mengalami tekanan saat mobil mengalami gerakan kebawah. Abrasi berfungsi untuk menjadi parameter ketahanan suatu produk ban apabila mengalami gesekan dengan permukaan jalan. Sementara parameter kekerasan berfungsi sebagai parameter suatu produk ban yang dalam praktiknya mengalami gaya tekan dan gaya gesek yang cukup besar, sehingga kekerasan produk ban dapat disesuaikan dengan tipe penggunaannya.

4.2.1 Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mahendra A, diperoleh data bahwa kekuatan tarik yang besar diperoleh dengan pencampuran *carbon black* dengan ukuran partikel yang paling kecil. Namun parameter jumlah yang berkorelasi dengan kekuatan tarik belum diketahui. Dalam penelitian ini, data mengenai parameter tersebut telah didapatkan. Dari data pengukuran yang dilakukan, kekuatan tarik yang besar dipengaruhi oleh aktifitas permukaan yang dalam hal ini berkaitan dengan ukuran partikel *carbon black* yang digunakan. Semakin kecil ukuran partikel semakin besar kekuatan tarik dari produk karet alam. Sementara untuk jumlah *carbon black*, hasil paling optimal diperoleh pada penambahan 30 phr *carbon black*. Hal ini dapat dibuktikan dengan data grafik pada gambar 4.2.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

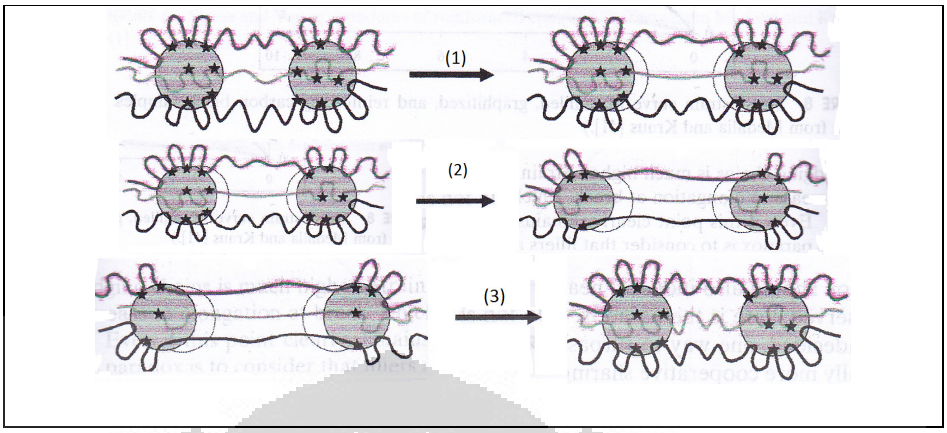


	N220	N330	N550	N660
30 phr	273.66	236.848	236.858	229.782
40 phr	223.408	216.018	178.866	176.476
50 phr	242.832	211.538	195.052	192.964

Gambar 4.2. Grafik *Trend* Kekuatan Tarik terhadap Jumlah *Carbon Black*

Efek penguatan berupa kekuatan tarik dari produk karet, telah dipelajari pada beberapa dekade terakhir dan melahirkan beberapa pemodelan mengenai interaksi yang terjadi antara *carbon black* dan rantai poliisoprena. Dari beberapa pemodelan, pendapat yang paling banyak diterima oleh para ahli dibidang polimer adalah model *molecular slippage*. Pemodelan ini diajukan oleh Dannenberg yang mengambil kesimpulan pemodelan *molecular slippage* dari hasil penelitiannya. *Carbon black* memiliki energi permukaan yang tinggi yang berasal dari struktur poliaromatik tak jenuh dan gugus fungsi yang dimilikinya. Struktur ini membuat partikel *carbon black* dapat mengadsorpsi dengan kuat rantai polimer. Tanpa *carbon black*, vulkanisat karet memiliki kekuatan tarik yang hanya berasal dari ikatan silang oleh atom sulfur. Namun dengan adanya bahan pengisi berupa *carbon black*, kekuatan tarik ini menjadi lebih besar karena ditopang oleh interaksi antara rantai polimer dengan *carbon black*. Model yang diajukan oleh Dannenberg berkaitan dengan model *molecular slippage* adalah sebagai berikut :

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

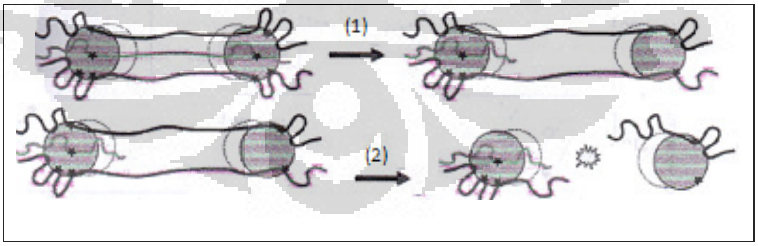


ambar 4.3. Model *Reverse* Interaksi Polimer dengan *Carbon Black* sebelum dan setelah Mengalami Gaya Tarik

(1). Pada keadaan normal, rantai polimer teradsorpsi pada permukaan *carbon black*.

(2). Ketika gaya tarik yang dialami oleh karet meningkat, gaya tersebut menginduksi polimer untuk mengadakan perpanjangan.

(3). Pada saat gaya tarik yang dialami oleh karet sangat rendah, struktur ini akan kembali pada keadaan awal tanpa menyebabkan adanya perubahan interaksi Van der Waals antara *carbon black* dan rantai polimer.



Gambar 4.4. Model Interaksi Polimer dengan *Carbon Black* saat Mengalami Gaya Tarik sampai Titik Deformasinya

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

(1). Pada keadaan dengan gaya tarik yang sangat besar sampai pada titik deformasinya, sebagian rantai polimer mengalami desorpsi pada permukaan *carbon black*. Pada kondisi ini, sebagian rantai polimer tidak dapat berada pada kondisi semula.

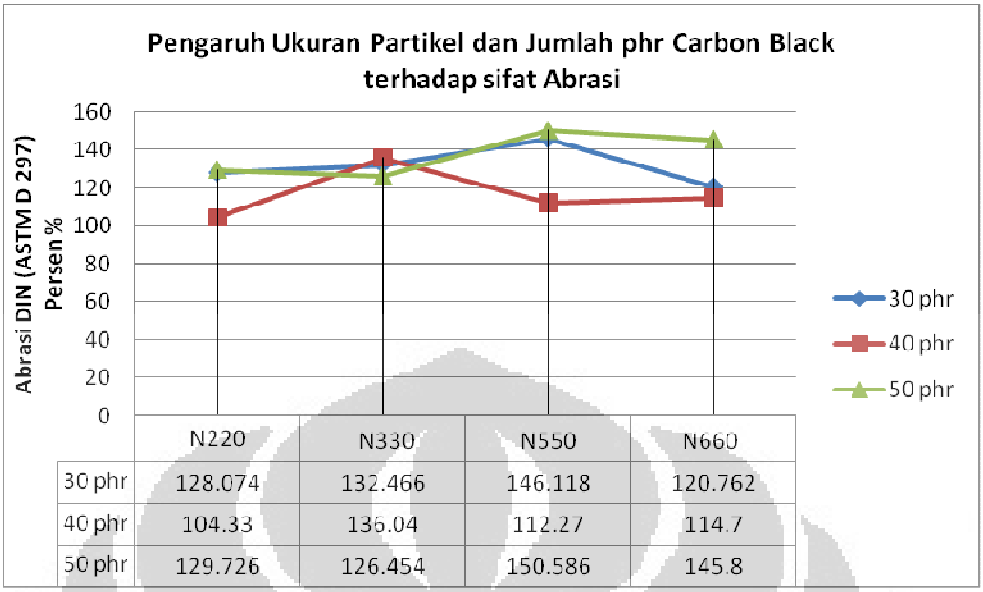
(2). Saat gaya tarik telah melampaui kekuatan interaksi antara *carbon black* dan rantai polimer, interaksi ini akan terputus dan tidak dapat kembali kepada keadaan awal

Ukuran partikel *carbon black* mempengaruhi intensitas rantai polimer yang teradsorpsi. Hal ini meningkatkan terjadinya interaksi Van der Waals antara *carbon black* dengan rantai polimer. Semakin banyak adsorpsi yang terjadi maka semakin besar energi deformasinya. Pada data diperoleh pula bahwa meningkatnya jumlah *carbon black* tidak signifikan meningkatkan kekuatan tarik dari vulkanisat karet. Hal ini secara pemodelan Dannenberg mungkin terjadi sebab apabila jarak interaksi antar partikel *carbon black* dan rantai polimer semakin dekat, maka perpanjangan rantai polimer akan semakin terbatas dan interaksi Van der Waals yang tersimpan semakin berkurang jumlahnya. Hal ini secara simultan menyebabkan elsatisitas dari vulkanisat karet berkurang dan mengakibatkan vulkanisat karet lebih mudah mengalami pemutusan rantai polimernya.

4.2.2 Abrasi (*Abrasion*)

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa *trend* sifat abrasi berdasarkan ukuran partikel dan jumlah *carbon black* yang ditambahkan, cenderung menurun pada penggunaan tipe *carbon black* dengan ukuran yang lebih besar. *Trend* ini sedikit berbeda pada penggunaan *carbon black* sebanyak 40 phr, dimana *trend* yang terjadi adalah menurun pada tipe N330 kemudian meningkat kembali pada tipe N550 dan N660.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012



	N220	N330	N550	N660
30 phr	128.074	132.466	146.118	120.762
40 phr	104.33	136.04	112.27	114.7
50 phr	129.726	126.454	150.586	145.8

Gambar 4.5. Grafik *Trend* Abrasi terhadap Jumlah *Carbon Black*

Sifat abrasi pada prinsipnya memiliki kesamaan dalam hal pemodelan dengan model *molecular slippage* pada sifat kekuatan tarik, hanya saja yang menjadi fokus perhatian adalah frekuensi adsorpsi rantai polimer oleh permukaan *carbon black*. Sifat abrasi merupakan kemampuan molekul polimer karet mempertahankan formasi rantai polimernya terhadap gaya gesek, sehingga semakin baik sifat abrasinya semakin sedikit vulkanisat karet yang dapat terkikis.

Kemampuan rantai polimer dalam mengatasi gaya gesek ini sangat dipengaruhi oleh interaksi yang terjadi baik antara rantai polimer dengan rantai polimer maupun antara rantai polimer dengan permukaan *carbon black*. Vulkanisat karet yang telah mengalami proses vulkanisasi memiliki kelebihan sifat abrasi dibandingkan kompon karet yang belum mengalami proses vulkanisasi. Hal ini disebabkan adanya ikatan silang yang terbentuk setelah proses vulkanisasi terjadi. Selain ikatan silang, abrasi vulkanisat karet alam juga dipengaruhi oleh adanya interaksi antara rantai polimer dengan permukaan *carbon black* melalui interaksi Van der Waals.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

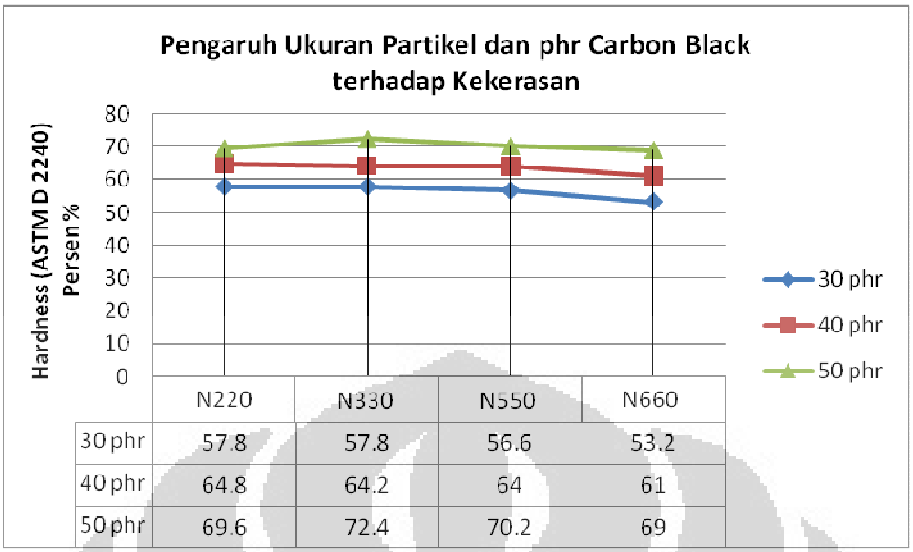
Ukuran partikel yang lebih kecil pada *carbon black* memiliki keunggulan dalam hal kuantitas luas permukaan. Luas permukaan yang lebih besar meningkatkan intensitas interaksi Van der Waals rantai polimer oleh *carbon black*. Akibatnya semakin kecil ukuran partikel *carbon black* yang digunakan sebagai bahan pengisi, maka akan semakin kuat sifat abrasi vulkanisat karetnya. Selain luas permukaan, sifat abrasi juga sangat dipengaruhi oleh distribusi ukuran agregat. Distribusi ukuran agregat mempengaruhi sifat abrasi dari segi kapasitas *carbon black* yang dapat berinteraksi dengan rantai polimer dalam satuan volume matrik polimer. Dari data yang diperoleh, ukuran partikel bukanlah satu-satunya faktor penentu baik atau buruknya sifat abrasi dari vulkanisat (Han J.J et al, 2007). Data pada gambar 4.5 memperlihatkan *carbon black* tipe N220 yang memiliki ukuran partikel terkecil tidak selalu memiliki penguatan sifat abrasi paling besar. Hal ini membuktikan adanya faktor lain yang mempengaruhi sifat abrasi dari vulkanisat karet.

Jumlah *carbon black* yang ditambahkan tidak memberikan kecenderungan yang signifikan. Penambahan phr *carbon black* dalam jumlah yang lebih besar tidak selalu memberikan sifat abrasi yang paling baik. Asumsi yang melatarbelakangi peristiwa ini adalah adanya ketidakmerataan distribusi ukuran agregat pada vulkanisat karet. Ketidakmerataan ini memungkinkan terdapat suatu daerah dengan intensitas agregat berukuran besar yang cukup tinggi sehingga interaksi antara rantai polimer dengan *carbon black* menjadi tidak optimum didaerah tersebut.

4.2.3 Kekerasan (*Hardness*)

Berdasarkan pada hasil pengukuran yang ditampilkan pada gambar 4.6, *trend* yang terjadi pada sifat kekerasan vulkanisat karet alam adalah berbanding lurus dengan jumlah *carbon black* yang ditambahkan. Kecenderungan kekerasan juga meningkat seiring dengan menurunnya ukuran partikel *carbon black* namun sifat keras yang didapatkan tidak berbeda secara signifikan.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012



	N220	N330	N550	N660
30 phr	57.8	57.8	56.6	53.2
40 phr	64.8	64.2	64	61
50 phr	69.6	72.4	70.2	69

Gambar 4.6. Grafik *Trend* Kekerasan terhadap Jumlah *Carbon Black*

Sifat keras pada vulkanisat *carbon black* merupakan lawan dari sifat elastisitasnya. Dari prinsip ini dapat diambil kesimpulan bahwa untuk mendapatkan kekerasan yang optimal, diperlukan tipe *carbon black* dengan ukuran yang relatif lebih kecil dan jumlah yang lebih besar. Dalam penelitian ini, jumlah optimum yang dapat memberikan sifat kekerasan paling tinggi hanya pada penambahan 50 phr *carbon black*, sementara belum diketahui apakah sifat keras ini akan bertambah jika penambahan phr *carbon black* dalam jumlah yang lebih besar dilakukan. Dari data yang diperoleh, kekerasan dari vulkanisat karet alam sangat terpengaruh oleh jumlah *carbon black* yang ditambahkan tetapi tidak signifikan pada ukuran partikel *carbon black* yang digunakan, sehingga jika ingin menekan biaya produksi dari produk karet alam yang memiliki sifat keras yang baik dapat digunakan tipe *carbon black* berukuran lebih besar tetapi dengan jumlah yang lebih banyak.

4.2.4. Ketahanan Panas

Ketahanan terhadap panas suatu produk karet sangat bergantung pada banyaknya ikatan silang yang terbentuk (Mark E. James et al, 2005). Tingginya

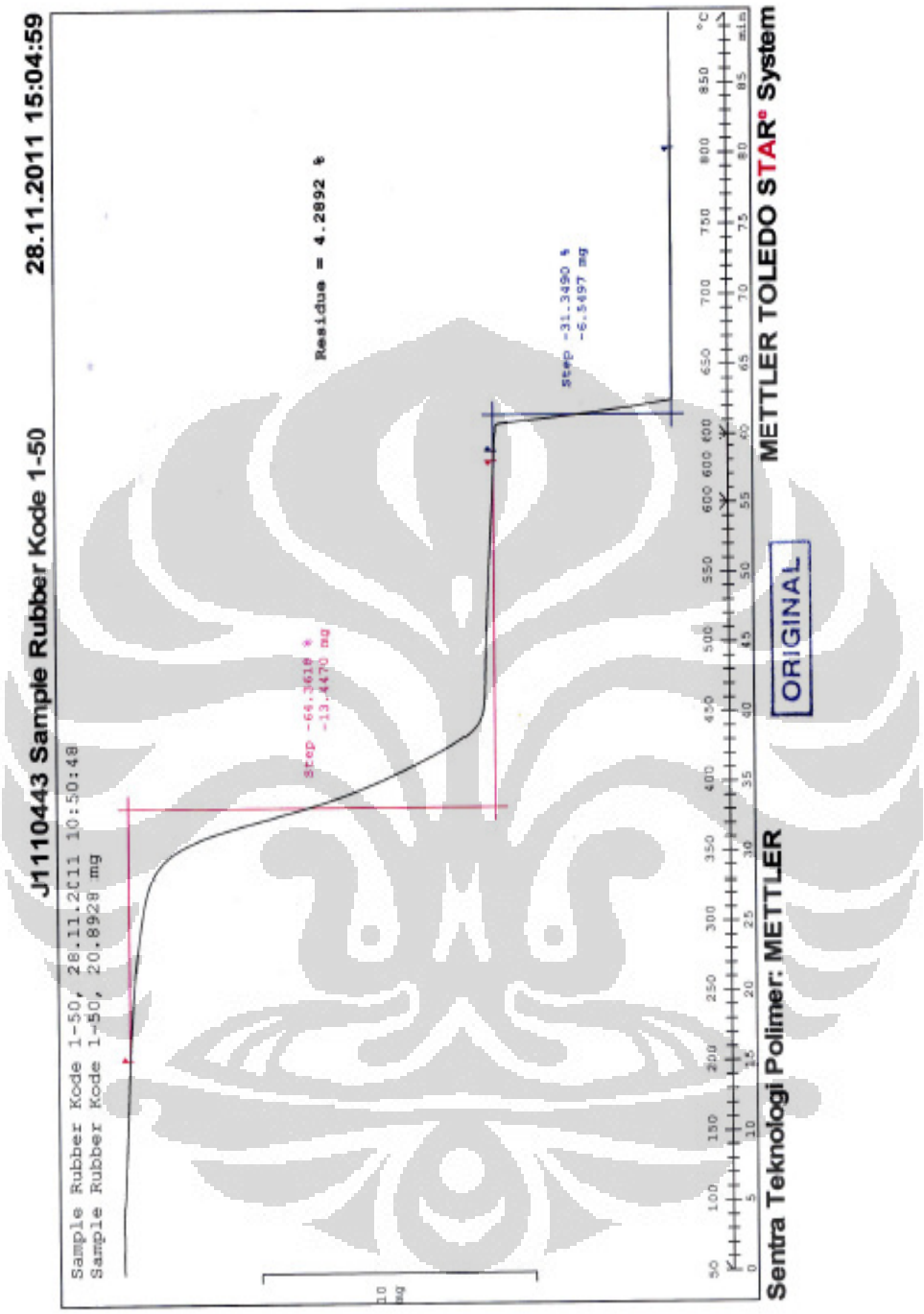
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

energi yang dibutuhkan untuk mencapai titik gelas dari suatu elastomer mengindikasikan bahwa elastomer tersebut memiliki ketahanan panas baik. Dalam penelitian ini, faktor yang menjadi fokus pengamatan adalah pengaruh ketahanan panas terhadap jumlah *carbon black* yang digunakan.

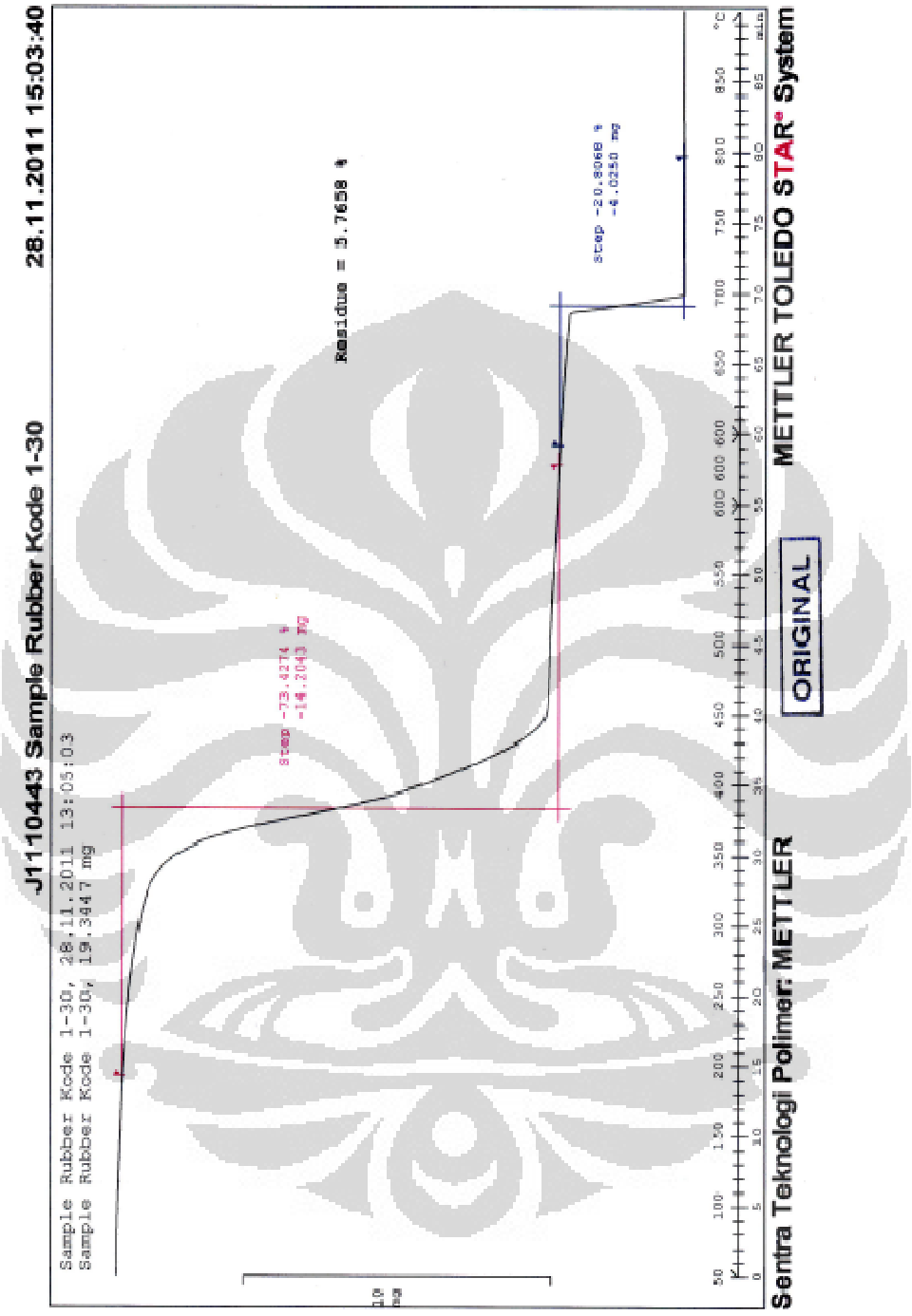
Dari data TGA pada gambar 4.7 dan 4.8, diperoleh data bahwa pada titik dekomposisi vulkanisat karet, persen polimer terdekomposisi pada vulkanisat dengan penambahan N220 sebanyak 30 phr lebih banyak dibandingkan vulkanisat karet dengan penambahan N220 sebanyak 50 phr. Pada titik dekomposisi polimer isoprena, vulkanisat N220–50 phr mengalami dekomposisi polimer sebanyak 64,36% sedangkan vulkanisat N220–30 phr mengalami dekomposisi polimer sebanyak 73,43%. Residu yang dihasilkan pada akhir proses dekomposisi termal vulkanisat N220-50 phr lebih sedikit yaitu 4,29% sementara residu vulkanisat N220-30 phr sebesar 5,76%.

Data ini menyimpulkan dua hal penting. Pertama, jumlah *carbon black* yang digunakan akan berbanding lurus dengan sifat ketahanan panasnya. Semakin besar jumlah *carbon black* yang ditambahkan semakin besar pula sifat ketahanan panasnya. Kedua, penggunaan *carbon black* dalam jumlah yang lebih besar akan meminimalisir prosentase penggunaan bahan tambahan lain seperti zink oksida. Hal ini terbukti dengan residu yang dihasilkan pada akhir proses dekomposisi termal, vulkanisat karet N220-30 phr menghasilkan residu yang jumlahnya lebih besar dari residu yang dihasilkan oleh vulkanisat N220-50 phr

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012



Gambar 4.7. TGA Vulkanisat Karet TPC + 50 phr *Carbon Black* N220



Gambar 4.8. TGA Vulkanisat Karet TPC + 30 phr *Carbon Black* N220

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

BAB 5

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini pengamatan terhadap efek ukuran partikel dan jumlah memberikan informasi bahwa untuk mendapatkan produk karet alam dengan sifat kuat tarik optimal dapat digunakan *carbon black* tipe N220 sejumlah 30 phr. Untuk mendapatkan produk karet dengan sifat abrasi yang optimal dapat digunakan *carbon black* tipe N220 sejumlah 40 phr sementara untuk mendapatkan kekerasan yang optimal dapat digunakan *carbon black* tipe N330 sejumlah 50 phr. Untuk menghasilkan produk dengan sifat kuat tarik dan abrasi yang baik dengan biaya produksi yang cukup rendah, dapat digunakan *carbon black* tipe N220 sejumlah 30-40 phr dan untuk menghasilkan produk karet alam yang memiliki kekerasan optimal dengan biaya produksi yang cukup rendah, dapat digunakan *carbon black* tipe N660 sejumlah 50 phr.

5.2 Saran

Perlu dilakukan riset lanjutan untuk mengetahui faktor-faktor lain selain ukuran partikel dan jumlah *carbon black* yang mempengaruhi sifat mekanik abrasi vulkanisat karet alam

Universitas Indonesia
Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

DAFTAR REFERENSI

A. Mahendra. (2007). Pengaruh Bahan Pengisi Terhadap Abrasi Produk Karet. BPPT ISSN 1410-3680.

Bhowick. (1994). *Science and Technology Rubber*. New York: Maxcel Dekker.

B. Omnes, S. Thuillier, P. Pilvin, Y. Grohens, S. Gillet. (2008). *Effective Properties of Carbon black Filled Natural Rubber* : *Experiment and Modeling*. Elsevier : *Journal of Composite*, Part A. 39: 1141-1149.

D.Rivin, J. Aron, and A. I. Medalia. (1968). *Rubber Chem. Technol* . New York: Elsevier Academic press. 41: 330.

E.M. Dannenberg. (1986). *Rubber Chem. Technol*: *Bound rubber and carbon black reinforcement*. New York: Elsevier Academic press.

G. Kühner and M. Voll, in J.B. Donnet, R. C. Bansal, and M. J. Wang. (1993). *Carbon black, Science and Technology*. New York: Marcel Dekker.

Hong Chang Kook, Kim Hyunsung. (2007). *Effect of particle size and structure of carbon black on the abrasion of filled elastomer compounds.* New York: Springer Science & Businees Media. 42: 8391-8399.

Han, J.J, Zhang X.L, Guo W.H, Wu C.F. (2007). *Effect of modified carbon black on filler elastomer interaction and dynamic mechanical properties of SBR vulcanizates*. Journal of Plastic, Rubber, and Composite. Shanghai: Maney Publishing. vol. 36, 4: 149-154.

Hofmann, Werner. (1989). *Rubber Technology Handbook*. New York: Oxford Univ. Press.

J. Le Bras and E. Papirer. (1979). *Rubber Chem. Technol*. New York: Elsevier Academic press. 52: 43.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Li. H. Zi, Zhang. J, Chen S. J. (2008). *Effect of carbon black with various structure on vulcanization and reinforcement of filled ethylene-propylene-diene rubber.* Nanjing University of Technology: eXPRESS Polymer Letters. Vol. 2, 10: 695–704.

Li Qiuying, Ma Yulu, Wu Chiefei and Qian Shengying. (2008). *Effect of Carbon black Nature on Vulcanization and Mechanical Properties of Rubber.* Taylor and Francis: *Journal of Macromolecular Science*, Part B. 47: 837-846.

Mark E. James, Burak Erman, Frederick R. Eirich. (2005). *The Science and Technology of Rubber 3rd Edition*. Elsevier Academic Press.

Medelia, A.I. (1973). *Rubber Chem. Technol*: *Elastic Modulus of Vulcanizates as Related to Carbon black Structure.*. 47: 411.

Meng Qu, Fei Deng, Salmon M. Kalkhoran, Andrew Gouldstone, *et al*. (2011). *Nanoscale visualization and multiscale mechanical implication of bound rubber interphase in rubber-carbon black nanocomposite.* The Royal Society of Chemistry. 1066-1077.

Michael and Ash Irene. (1995). *Plastic and Rubber Additives*. USA: Gofer.

Qian Shengying, Jiang Feng Huang, Weihong Gou, and Chifei Wu. (2007). *Investigation of Carbon black Network in Natural Rubber with Different Bound Rubber Contents.* Taylor and Francis: *Journal of Macromolecular Science*, Part B. 46: 453 – 466.

R. C. Bansal and J.-B. Donnet, 1993). *Carbon black, Science and Technology*. In J.-B. Donnet, R. C. Bansal, and M.-J. Wang (Ed.). New York : Marcel Dekker. Chapt. 2.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

R. Rajasekar, Kaushik Pal, S K Pal, Zheng Peng, Ying Chen and C K Das. (2008). *Effect of Epoxidized Natural Rubber-Nanoclay Composites in Carbon black Filled Natural Rubber Vulcanizates*. *The Icfai Journal of Science & Technology*, Vol. 4, 1: 17-29.

Saowaroj Chuayjuljit, Aopeau Imvittaya, Nuchanat Na-Ranong, and Pranut Potiyaraj. *Effect of Particle Size and Amount of Carbon black and Calcium Carbonate on Curing Characteristic and Dynamic Mechanical Properties of Natural Rubber.* (2002). *Journal of Metals, Material and Minerals*.Vol. 12, 1: 51-57.

Smallwood, H.M. (1944). *Limiting law of the reinforcement of rubber*. Elsevier : *Journal of Apply Physic*. 15: 758.

Soney C. George and Sabu Thomas. (2000). *Carbon black filled SBR composite :The Effect of Rubber-Filler Interaction on Transport.* Marcell Dekker: *Journal of Macromolecular Science*. 39: 175-195.

Steven, MP. (2001). *Kimia Polimer*. Sopyan I, penerjemah. Jakarta : Erlangga. Terjemahan dari Polymer Chemistry : An Introduction

The Rubber-Stichting Information Center for Natural Rubber . (Rabu 7 september 2011 pukul 14.00 WIB). www.rubber-stichting.ind.tno.nl.

United State Agency for International Development (USAID). (2007). *A Value Chain Assestment of the Rubber Industry in Indonesia.* USA.

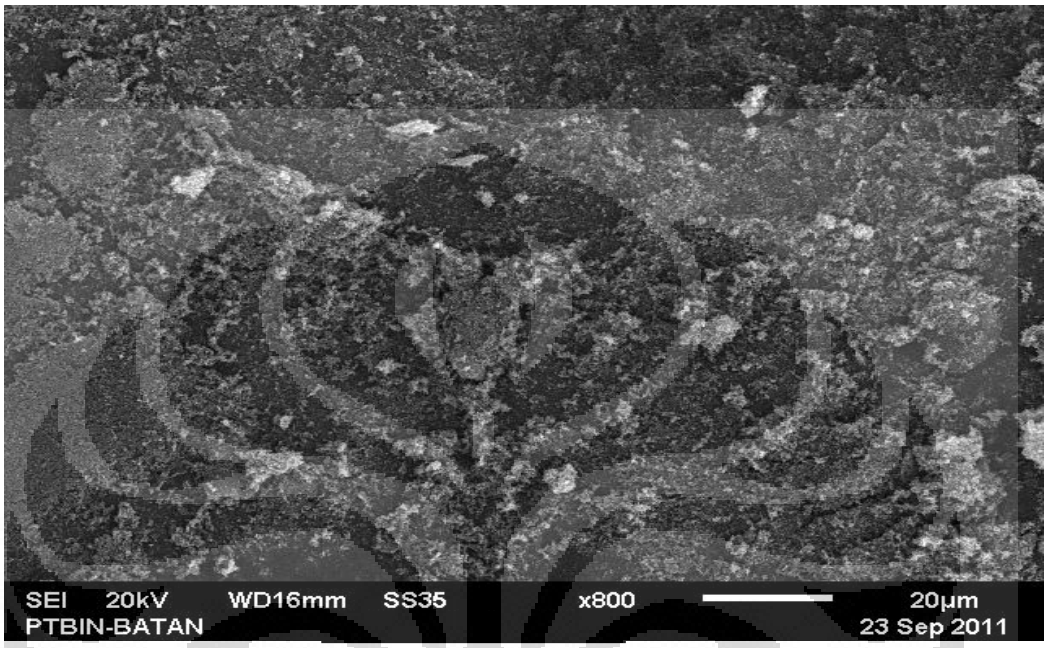
Wang Meng Jiao, Gray A. Charles, Reznek Steve R., Khaled Mahmud, and Yakov Kutsovsky. (2001) . *Introduction of Carbon black.*. New York: John Wiley and Sons. Vol. 9, 52-91.

Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

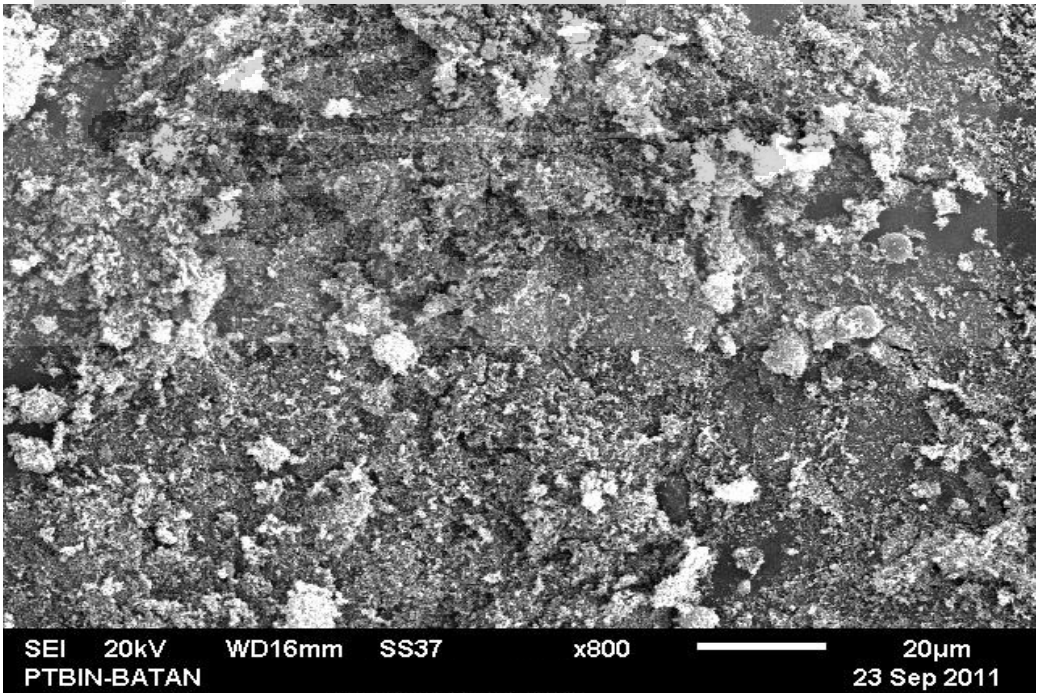
LAMPIRAN

Lampiran 1. SEM *Carbon Black*

Tipe N220

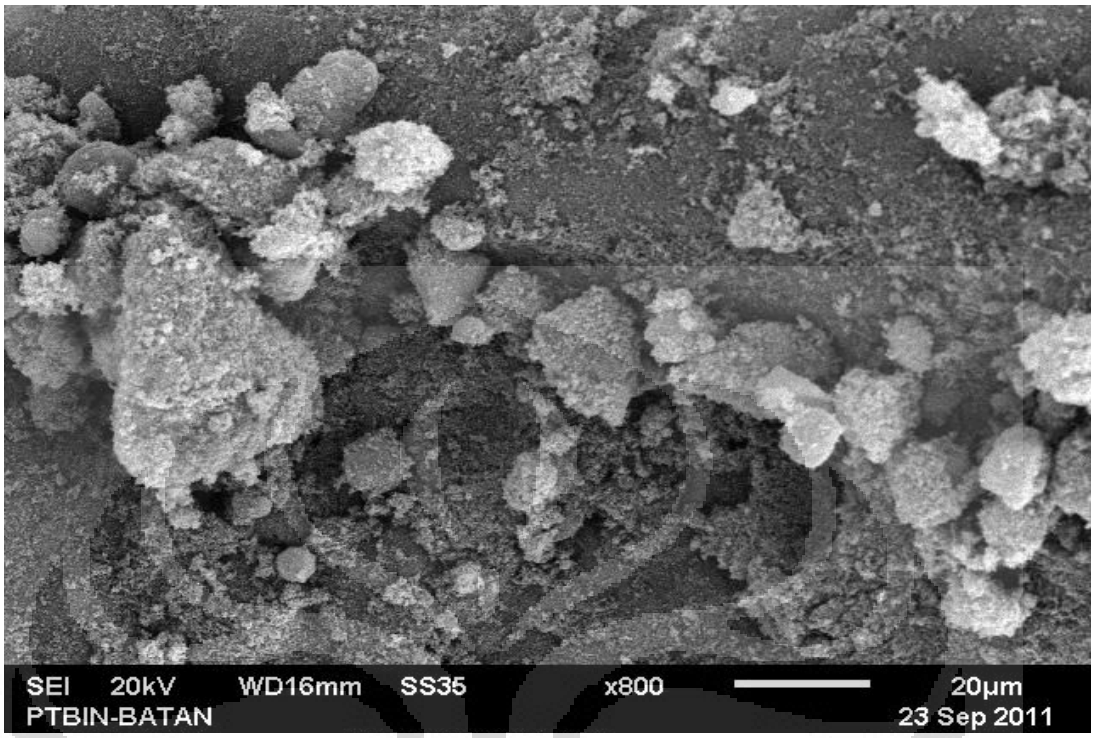


Tipe N330

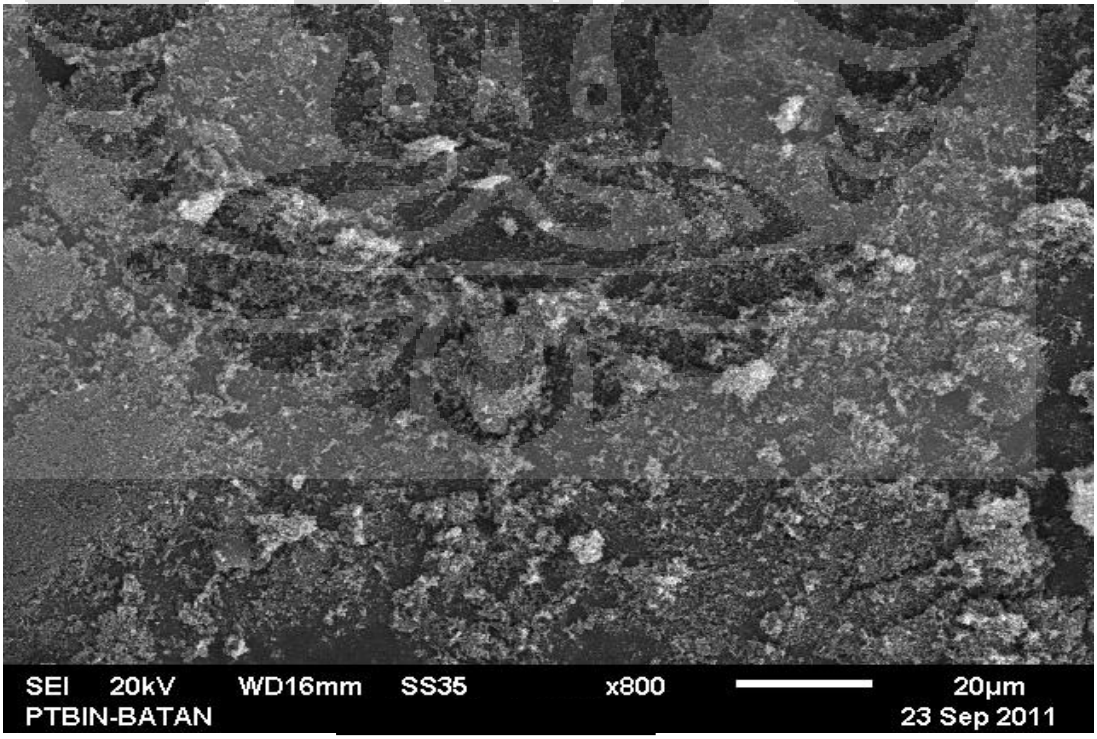


Studi pengaruh..., Atur Riga Sasongko, FMIPA UI, 2012

Tipe N550

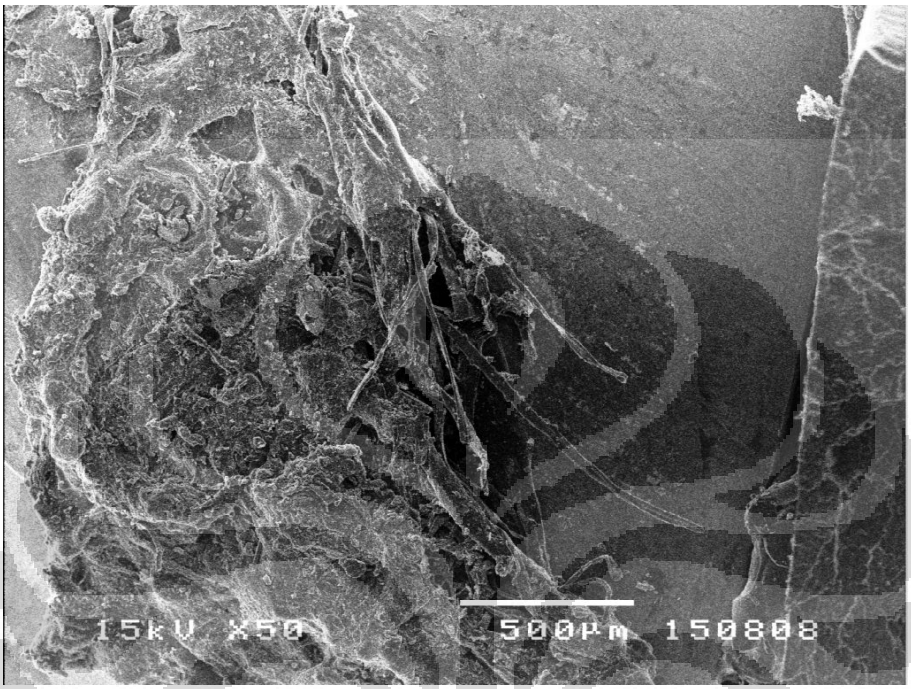


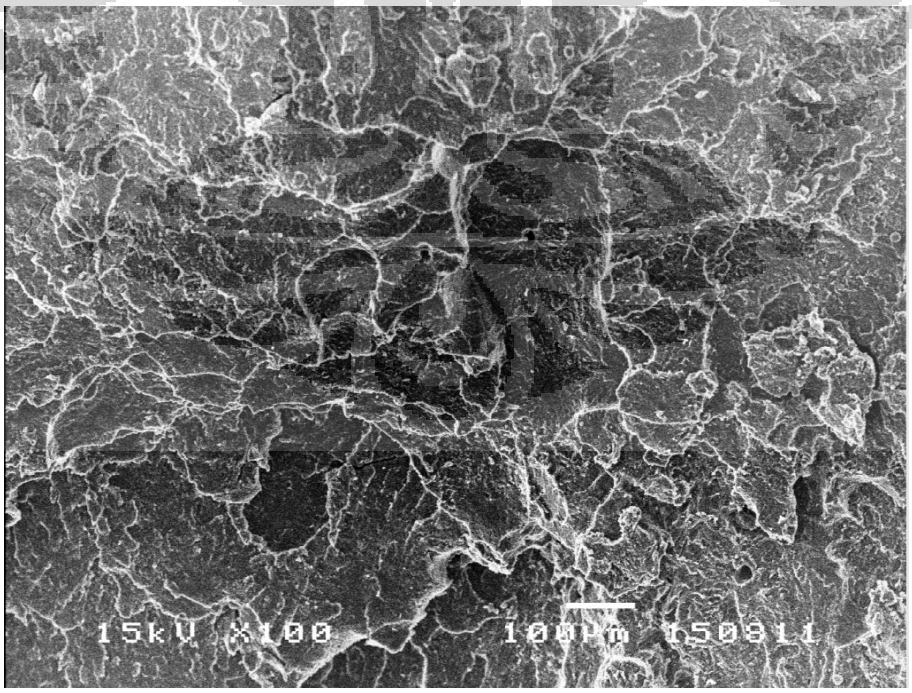
Tipe N660

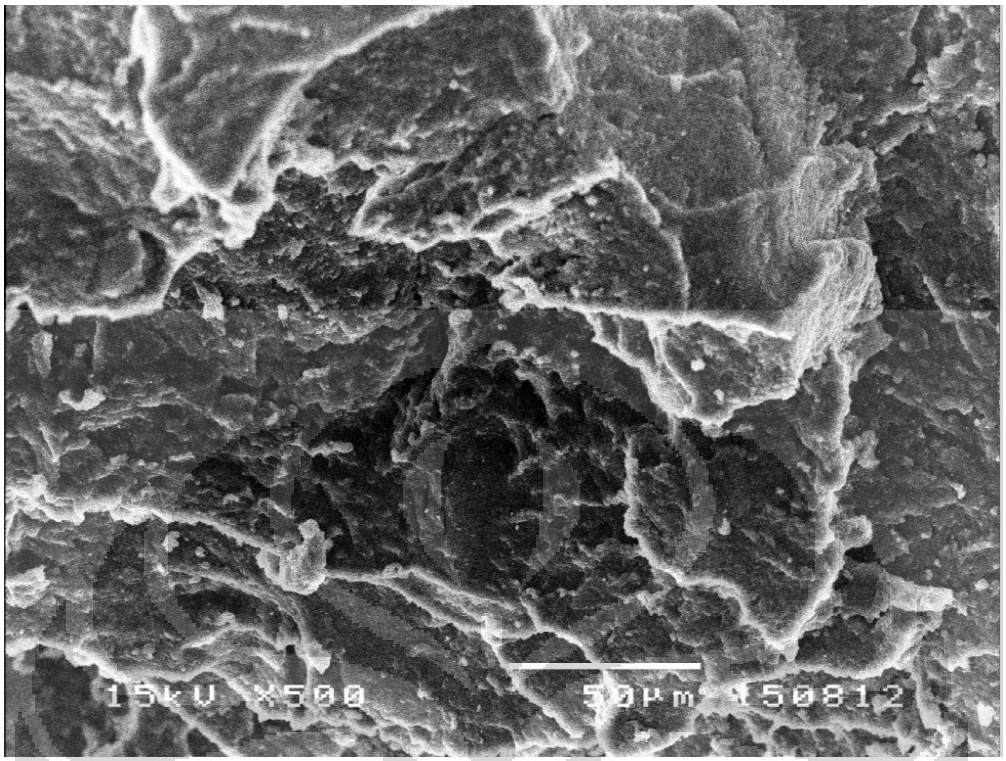


Lampiran 2. SEM Fragmen Karet TPC (*Thin Pale Crepe*)

Kompon TPC + *Carbon Black* Tipe N220






15kV X500
50µm 150812

Lampiran 3. Data Mentah Pengukuran Sifat Mekanik

No	Jenis Pengujian	30 phr					40 phr					50 phr			
		N220	N330	N550	N660		N220	N330	N550	N660		N220	N330	N550	N660
	Tensile Strength														
1	(Kg/cm2)	260,77	259,09	230,91	190		152,35	230,00	173,33	187,5		247,69	184,12	199,17	195
2		280,77	221,82	255,83	201,82		237,69	239,17	170	204,17		246,16	210	185	190
3		251,54	218,33	254,55	258		250,00	232,73	170	183,08		232,31	235	189,23	192,32
4		303,08	225	233	260,91		230,00	194,55	200	156,92		235	210	204,17	181,67
5		272,14	260	210	238,18		247,00	183,64	181	150,71		253	218,57	197,69	205,83
	Rata-Rata	**273,66**	**236,848**	**236,858**	**229,782**		**223,408**	**216,018**	**178,866**	**176,476**		**242,832**	**211,538**	**195,052**	**192,964**
	Median	**272,14**	**225**	**233**	**238,18**		**237,69**	**230**	**173,33**	**183,08**		**246,16**	**210**	**197,69**	**192,32**

	Abrasi DIN (%)	N220	N330	N550	N660		N220	N330	N550	N660		N220	N330	N550	N660
1		127,17	144,51	133,38	125,62		104,33	147,05	114,92	134,01		131,54	128,32	151,88	138,03
2		127,06	115,19	174,14	116,44		108,52	130,89	113,96	113,65		137,51	128,52	153,6	148,64
3		128,55	136,25	131,59	114,07		94,36	152,73	107,83	240,11		117,94	126,35	154,38	147,37
4		132,17	127,2	144,97	120,2		101,18	127,13	112,27	105,06		132,66	126,96	143,16	147,34
5		125,42	139,18	146,51	127,48		109,04	136,04	102,67	114,7		128,98	122,12	149,91	147,62
	Rata-Rata	**128,074**	**132,466**	**146,118**	**120,762**		**103,486**	**138,768**	**110,33**	**141,506**		**129,726**	**126,454**	**150,586**	**145,8**
	Median	**127,17**	**136,25**	**144,97**	**120,2**		**104,33**	**136,04**	**112,27**	**114,7**		**131,54**	**126,96**	**151,88**	**147,37**

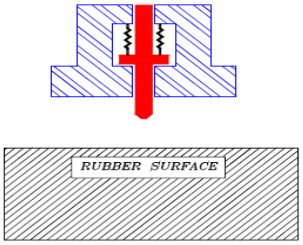
	Shore A / Hardness (%)	N220	N330	N550	N660		N220	N330	N550	N660		N220	N330	N550	N660
1		57	57	56	53		65,00	64,00	64	61		70	72	70	70
2		57	58	56	52		64,00	64,00	64	61		72	74	71	68
3		58	58	57	53		64,00	65,00	64	61		72	72	70	70
4		59	58	57	54		66,00	64,00	64	61		66	73	69	68
5		58	58	57	54		65,00	64,00	64	61		68	71	71	69
	Rata-Rata	**57,8**	**57,8**	**56,6**	**53,2**		**64,8**	**64,2**	**64**	**61**		**69,6**	**72,4**	**70,2**	**69**
	Median	**58**	**58**	**57**	**53**		**65**	**64**	**64**	**61**		**70**	**72**	**70**	**69**

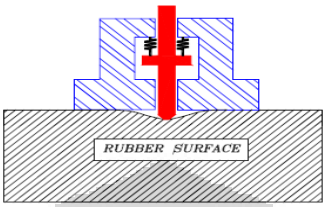
(lanjutan)

	Bound Rubber (%)	N220	N330	N550	N660		N220	N330	N550	N660		N220	N330	N550	N660
1		83.52054	83.36911	88.33598	87.82635		77.99843	79.1556	81.11001	80.57753		68.46246	68.33134	73.76659	72.36557
2		72.64925	74.92614	78.29792	79.35626		72.05955	75.06228	77.94733	78.76748		66.98506	67.52403	74.57481	74.39024
	Rata-Rata	**78.0849**	**79.14763**	**83.31695**	**83.5913**		**75.02899**	**77.10894**	**79.52867**	**79.6725**		**67.72376**	**67.92769**	**74.1707**	**73.37791**

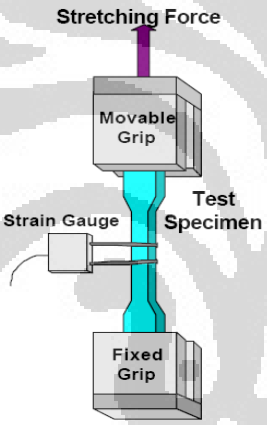
Lampiran 4. Foto-Foto Peralatan Uji

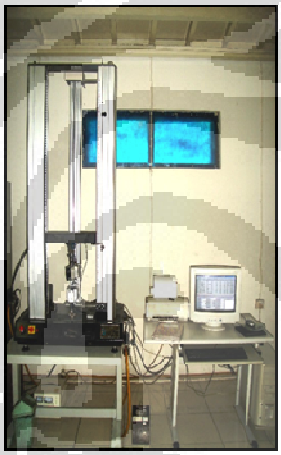
a. Uji Kekerasan



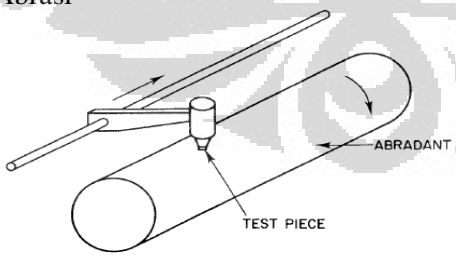


b. Uji Tarik





c. Uji Abrasi



Lampiran 5. Peralatan Pembuat Sampel

a. Open Mill

b. Mesin Press