

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *NATURAL RUBBER-*
***BUTADIENE RUBBER* TERHADAP SIFAT VULKANISAT**
KOMPON KARET UNTUK TAPAK
BAN PESAWAT TERBANG
DI PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL-BPPT
(1 Februari – 31 Maret 2016)



OLEH :

EVI HUTRIA	1512029
INDIRA GUSTIANI WIDYA PUTRI	1512036

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *NATURAL RUBBER-*
***BUTADIENE RUBBER* TERHADAP SIFAT VULKANISAT**
KOMPON KARET UNTUK TAPAK
BAN PESAWAT TERBANG
DI PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL-BPPT
(1 Februari – 31 Maret 2016)

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



OLEH :

EVI HUTRIA	1512029
INDIRA GUSTIANI WIDYA PUTRI	1512036

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya kami dapat menyelesaikan Laporan Penelitian kami yang berjudul “Pengaruh Variasi Komposisi *Natural Rubber-Butadiene Rubber* Terhadap Sifat Vulkanisat Kompon Karet untuk Tapak Ban Pesawat Terbang” dengan tepat waktu. Rasa hormat dan terima kasih kami tunjukkan pada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian yang dilaksanakan di Pusat Teknologi Material-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM-BPPT) maupun dalam proses pembuatan laporan penelitian ini.

Penelitian di program studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta dimaksudkan untuk melatih mahasiswa dalam menerapkan teori dan pengetahuan yang diperoleh selama masa kuliah. Dengan tugas penelitian ini, diharapkan mahasiswa memiliki keterampilan dalam melakukan analisis, sintesis, analogi, generalisasi, mengembangkan hipotesis, mengembangkan konsep, melakukan percobaan dan mengambil keputusan.

Dalam pelaksanaan dan penulisan Laporan Penelitian, kami mendapat dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Mustofa, ST, MT, selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
2. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA, selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
3. Ibu Fitria Ika Aryanti, M.Eng, selaku dosen pembimbing penelitian.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Kimia Polimer beserta staff dan karyawan Politeknik STMI Jakarta.
5. Ibu Indriasari, M.Sc, selaku pembimbing penelitian di Pusat Teknologi Material-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM-BPPT) yang telah memberikan banyak arahan dan masukan kepada kami dalam melaksanakan penelitian dan juga penyelesaian laporan penelitian ini.

6. Orang tua kami yang telah memberikan dukungan secara moril maupun materil.
7. Mba Diah, Mas Dita, Mba Ami, Mba Heni selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan pengalaman berharga kepada kami selama ini.
8. Seluruh karyawan Pusat Teknologi Material-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM-BPPT) khususnya bidang program karet yang telah banyak membantu dalam praktek di lapangan.
9. Sahabat SUGARS serta orang spesial di hati kami yang telah menemani, mendukung, dan menghibur kami dalam suka maupun duka.
10. Kawan-kawan kelas TKISATU 2012 khususnya dan Teknik Kimia Polimer angkatan 2012 pada umumnya, selaku kawan-kawan seperjuangan.

Kami juga menyadari bahwa di dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusunan laporan ini terdapat banyak kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan kami sebagai manusia yang masih dalam tahap belajar. Oleh karena itu kami mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun, sehingga laporan kami selanjutnya dapat menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga laporan ini dapat memberi manfaat bagi pembaca pada umumnya.

Jakarta, Juni 2016

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR SINGKATAN	viii
DAFTAR LAMBANG	x
ABSTRAK	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJUAN PUSTAKA	5
2.1 Karet.....	5
2.2 Jenis-jenis Karet	6
2.2.1 Karet Alam	6
2.2.2 Karet Sintetis	8
2.3 Pemanfaatan Karet.....	9
2.4 Kompon Karet	10
2.4.1 Karet/Polimer.....	10
2.4.2 Bahan <i>Accelerator</i>	12
2.4.3 Bahan Penggiat (<i>Activator</i>)	16
2.4.4 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	16

2.4.5	<i>Antidegradant</i> (Antioksidan/Antiozonan)	17
2.4.6	Bahan Bantu Olah (<i>Processing Aids</i>).....	18
2.4.7	Bahan Pemvulkanisasi (<i>Curative</i>).....	19
2.5	Proses Pembuatan Kompon Karet	20
2.5.1	Pencampuran (<i>mixing</i>).....	20
2.5.2	Vulkanisasi	20
2.6	Vulkanisir Ban.....	22
2.7	Karakter Kompon Karet untuk Ban Pesawat Terbang	23
BAB III	METODE PENELITIAN	26
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2	Alat dan Bahan	26
3.2.1	Alat yang Digunakan.....	26
3.2.2	Bahan yang Digunakan	27
3.3	Variabel.....	27
3.3.1	Variabel Tetap.....	27
3.3.2	Variabel Berubah	27
3.4	Prosedur Penelitian	28
3.4.1	Tahap Pembuatan Kompon Karet	29
3.4.2	Tahap Pembuatan Sampel	31
3.4.3	Karakteristik Vulkanisat Karet	33
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1	Target Spesifikasi Teknis.....	37
4.2	Hasil Karakterisasi Kompon Karet.....	37
4.2.1	Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Waktu Matang (<i>Curing Time</i>) Kompon Karet	38
4.2.2	Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Viskositas Kompon Karet.....	39
4.2.3	Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Vulkanisat yang Dihasilkan.....	41
BAB V	PENUTUP	49
5.1	Kesimpulan.....	49

5.2 Saran 49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II.1 Wilayah Potensial Industri Pengolahan Karet	6
Gambar II.2 Proses Polimerisasi <i>Isoprene</i>	7
Gambar II.3 Pohon Industri Karet	9
Gambar II.4 Rumus Struktur Kimia Karet Alam	10
Gambar II.5 Rumus Struktur Polibutadien.....	11
Gambar II.6 Struktur Kimia <i>Butadiene Rubber</i>	11
Gambar II.7 Mekanisme Vulkanisasi dengan Sulfur.....	22
Gambar II.8 Struktur Ban Pesawat Terbang	24
Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar IV.1 Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Waktu Matang (<i>Curing Time</i>) Kompon Karet	39
Gambar IV.2 Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Viskositas Kompon Karet.....	40
Gambar IV.3 Rumus Bangun NR/ <i>Polyisoprene</i>	40
Gambar IV.4 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Uji <i>Rebound</i> <i>Resilience</i>	41
Gambar IV.5 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap uji <i>Hardness</i>	43
Gambar IV.6 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap uji <i>Abrasion</i> <i>Resistance</i>	45
Gambar IV.7 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Uji <i>Compression</i>	46
Gambar IV.8 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Uji <i>Tensile Strength</i>	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel II.1 Karakteristik dan <i>Mechanical Properties Butadiene Rubber</i>	11
Tabel II.2 Kelompok <i>Accelerator</i> Berdasarkan Fungsi	12
Tabel II.3 Golongan Bahan Pencepat dan Respon terhadap Vulkanisasi	13
Tabel II.4 Struktur Kimia Senyawa <i>Accelerator</i>	13
Tabel II.5 Kode ASTM dan Aplikasi dari <i>Carbon Black</i>	17
Tabel III.1 Variasi Komposisi <i>Natural Rubber-Butadiene Rubber</i>	28
Tabel III.2 Komposisi Formulasi Karet	29
Tabel IV.1 Perbandingan Hasil Keseluruhan Pengujian Kompon Karet Sebelum dan Setelah <i>Aging</i> dengan Standar Teknis Tapak Ban Pesawat	38
Tabel IV.2 <i>Physical and Mechanical Properties Natural Rubber dan Butadiene Rubber</i>	42
Tabel IV.3 <i>Rebound Increasing After Aging</i>	42
Tabel IV.4 <i>Hardness Loss After Aging</i>	44
Tabel IV.5 <i>Abrasion Loss After Aging</i>	46
Tabel IV.6 Hasil Pengujian <i>Tensile Strength</i>	48
Tabel IV.7 <i>Tensile Increasing After Aging</i>	48

DAFTAR SINGKATAN

A

ASTM : *American Society of the International Association for Testing and Materials*

B

BR : *Butadiene Rubber*

C

CBS : *N-Cyclohexyl-2-benzothiazole sulfenamide*

CR : *Chloroprene Rubber*

D

DBP : *Dibutyl-phtalate*

DOTG : *(N, N'-Diorthotolyl Guanidine)*

DPG : *Diphenyl Guanidine*

E

EPDM : *Ethylene-propylene-diene*

EV : *Efisien*

H

Ha : *Hektar*

HMT : *Hexamethylene Tetramine*

I

IIR : *Isobutene Isoprene Rubber*

IR : *Isoprene Rubber*

M

MBS : *Benzothiazyl-2-sulfen morpholide*

MBT : *2- Mercaptobenzothiazole*

MBTS : *2-2'-Dithiobis (benzothiazole)*

MBS : *2-(4-Morpholiniothio)-benzothiazole*

MPa : *Mega Pascal*

MU : *Mooney Unit*

N

NBR : *Nytril Butadiene Rubber*
NR : *Natural Rubber*

P

Phr : *Per hundred rubber* merupakan satuan yang digunakan dalam formulasi kompon
PAN : *Phenyl-alfa-naphthylamine*
PBN : *Phenyl-beta-naphthylamine*

S

SBR : *Styrene Butadiene Rubber*

T

TBBS : *N-tert-butyl-2-benzothiazole sulfenamide*
TETD : *Tetraetiltiuram disulfide*
TMTD : *Tetramethylthiuram disulfide*
TMTM : *Tetramethylthiuram monosulfide*

Z

ZDBC : *Zinc dibutyldithiocarbamate*
ZDBC : *Zinc dibenzylthiocarbamate*
ZDEC : *Zinc diethyldithiocarbamate*
ZDMC : *Zinc dimethyldithiocarbamate*

DAFTAR LAMBANG

A	: Berat sampel di udara (g)
ARI	: <i>Abrasion Resistance Index</i> (%)
B	: Berat sampel dalam air (g)
C	: <i>Compression Set</i> (%)
d	: Densitas udara ($0,0012 \text{ g/cm}^3$, pada tekanan atmosferis)
Ti	: Tebal akhir sampel (mm)
Tn	: Tebal <i>spacer</i> (mm)
To	: Tebal awal sampel (mm)
Δm_t	: Massa karet sampel yang terkikis (mm)
Δm_r	: Massa karet standar yang terkikis (mm)
ρ	: Densitas sampel (g/cm^3)
ρ_0	: Densitas air (g/cm^3)
ρ_r	: Densitas karet standar (g/cm^3)
ρ_t	: Densitas karet sampel (g/cm^3)

ABSTRAK

Karet merupakan salah satu material yang digunakan dalam industri pembuatan ban. Karet dalam pembuatan ban terdiri dari campuran karet alam dan karet sintetis. Karet alam dan karet sintetis memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga keberadaannya saling melengkapi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi komposisi *natural rubber-butadiene rubber* terhadap sifat vulkanisat kompon karet untuk tapak ban pesawat terbang. Kompon karet dibuat dari campuran karet alam (NR) dan karet sintetis (BR) dengan variasi perbandingan NR/BR berturut-turut FR1 75/25; FR2 85/15; dan FR3 95/5 phr. Kompon karet dibuat dengan mesin *open mill* dan kemudian diuji sifat fisiknya sesuai dengan target spesifikasi teknis yang ingin dicapai. Pengujian dilakukan secara triplo baik sebelum dan sesudah *aging*. Hasil pengujian baik sebelum dan sesudah *aging* menunjukkan, pada uji *rebound resilience* dan *hardness* variasi komposisi tidak berpengaruh karena tidak memiliki perbedaan yang signifikan, pada uji *abrasion resistance* kompon karet yang mengandung komposisi BR yang tinggi yaitu FR1 menghasilkan ketahanan abrasi yang semakin baik, pada uji *compression* dan *tensile strength* kompon karet yang mengandung komposisi NR yang tinggi yaitu FR3 menghasilkan *compression set loss* yang paling rendah dan nilai *tensile strength* yang paling tinggi. Nilai *rebound resilience*, *compression*, dan *tensile strength* mengalami peningkatan setelah *aging*. Namun, nilai *hardness* dan *abrasion resistance* mengalami penurunan setelah *aging*.

Kata kunci: kompon karet, tapak ban pesawat terbang, uji sifat fisik kompon karet, variasi *natural rubber-butadiene rubber*, *aging*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki total lahan karet seluas 3,62 juta ha dengan produksi karet alam mencapai 3,11 juta ton, hasil produksi tersebut hanya dikonsumsi sebesar 431 ribu ton dan selebihnya diekspor (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2011–2015). Indonesia merupakan produsen karet alam terbesar kedua di dunia setelah Thailand, namun potensi pengembangan karet di Indonesia masih belum dimanfaatkan secara maksimal padahal karet merupakan bahan atau material yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan manusia, sebagai bahan yang sangat mudah didapat, praktis, ringan dan tentu saja modern. Hampir disegala sektor atau bidang kehidupan selalu kita temui barang-barang yang terbuat dari bahan karet, misalnya sarung tangan, sepatu, gasket (*seal*), ban mobil hingga ban pesawat. Salah satu jenis karet yang digunakan dalam pembuatan bahan tersebut yaitu karet alam.

Karet alam merupakan suatu komoditi non migas, penghasil devisa negara di Indonesia. Karet alam ini memiliki sifat fleksibilitas tinggi dan mampu berkristalisasi pada suhu rendah, apabila diregang. Pada dasarnya karet alam tidak memiliki *tensile*, *modulus* dan kekerasan yang merupakan sifat mekanik terpenting yang dibutuhkan industri. Oleh karena itu perlu untuk menambahkan bahan-bahan pada karet alam yang dapat meningkatkan karakteristik agar karet alam ini dapat digunakan untuk produksi. Produk-produk yang dihasilkan dari *latex* karet alam antara lain seperti sarung tangan, benang karet, balon kateter, pembalut luka elastis, kompon, tiup stetoskop dan lain-lain (Termal, 2005).

Kompon karet adalah campuran antara karet alam dengan bahan-bahan kimia yang ditentukan komposisinya dan pencampurannya dilakukan dengan cara penggilingan pada suhu $70^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$. Komposisi kompon karet berbeda-beda tergantung pada barang jadi karet yang akan dibuat. Sebelum bahan baku karet alam dicampur dengan bahan pembantu, terlebih dahulu bahan baku karet tersebut dilunakkan (*mastikasi*) atau diplastisasi dengan cara digiling (Blow, 2001).

Maka dari itu untuk meningkatkan kualitas karet di Indonesia, perlu adanya pengembangan produksi karet agar kualitas karet meningkat dan tidak kalah oleh negara lain. Salah satu pengembangan dari karet dibidang transportasi udara, yaitu pengembangan ban pesawat terbang yang merupakan komponen sangat penting dalam proses *loading* dan *take off*. Seiring dengan pertumbuhan industri kedirgantaraan yang tinggi, maskapai dalam negeri telah melakukan investasi yang besar untuk menambah pesawatnya. Untuk menjamin keamanan dan kenyamanan, maskapai penerbangan membutuhkan penggantian ban pesawat dalam periode tertentu, sehingga menimbulkan potensi kebutuhan ban pesawat dalam jumlah cukup besar. Pada tahun ini, potensi kebutuhan ban pesawat domestik mencapai 41.451 unit/tahun. Kebutuhan ini terus meningkat seiring dengan meningkatnya frekuensi penerbangan pesawat. Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan ban pesawat, maskapai juga diizinkan menggunakan ban *retread* (vulkanisir) sesuai standar Internasional sehingga tetap memiliki kekuatan dan kualitas yang setara dengan ban baru. Selama ini, pasokan ban pesawat baik ban baru maupun ban *retread* hampir sepenuhnya dari luar negeri. (PTM-BPPT, 2016)

Beberapa kajian mengatakan sifat karet alam memiliki nilai *tensile strength*, *hardness*, *compression set* dan *rebound* yang lebih tinggi dari karet sintetis, sedangkan karet sintetis *butadiene* memiliki nilai ketahanan kikis (*abrasion*) yang lebih tinggi daripada karet alam. Karet tersebut kemudian dicampur dengan *additive* lainnya sehingga menjadi kompon karet dengan sifat mekanik yang lebih tinggi nilainya dan cocok untuk ban pesawat terbang yang harus tahan terhadap kecepatan dan beban yang tinggi dalam penggunaannya. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan formula kompon karet untuk tapak ban pesawat yang optimum dengan memvariasikan komposisi karet yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan, maka rumusan permasalahan dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi *natural rubber-butadiene rubber* terhadap sifat vulkanisat kompon karet untuk optimasi tapak ban pesawat terbang?
2. Bagaimana pengaruh sifat vulkanisat pada kompon karet baik sebelum dan setelah *aging* (pengusangan)?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan baku berupa *Natural Rubber* (NR) dan *Butadiene Rubber* (BR), *Peptizer*, ZnO, *Stearic Acid*, *Silica*, *Carbon Black* (N220), TMQ, 6PPD, *Wax*, *Coumarone Resin*, *Processing Oil*, *Sulphur*, CBS diperoleh dari Pusat Teknologi Material BPPT.
2. Variasi *Natural Rubber* (NR) dan *Butadiene Rubber* (BR) yaitu 75:25 phr, 85:15 phr, 95:5 phr.
3. Pengujian karakterisasi pemrosesan kompon karet meliputi pengujian *rheometer* dan *mooney viscometer*.
4. Pengujian sifat mekanik vulkanisat kompon karet meliputi pengujian *tensile strength*, *hardness*, *compression set*, *abrasion resistance* dan *rebound resilience* baik sebelum maupun sesudah *aging* (pengusangan).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi *natural rubber-butadiene rubber* terhadap sifat vulkanisat kompon karet untuk tapak ban pesawat terbang.
2. Mengetahui pengaruh sifat vulkanisat kompon karet sebelum dan sesudah *aging* (pengusangan).

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan formulasi kompon karet untuk tapak ban pesawat.
2. Meningkatkan nilai tambah produk hilir karet Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karet

Karet merupakan polimer hidrokarbon yang terbentuk dari emulsi pada getah pohon karet atau dikenal sebagai lateks (Syamsu Y, 2003). Diperoleh dari getah beberapa jenis tumbuhan pohon karet tetapi dapat juga diproduksi secara sintesis. Sumber utama dari lateks yang digunakan untuk menghasilkan karet adalah pohon karet *Hevea brasiliensis* (*Euphorbiaceae*). Untuk mendapatkan karet alam, dilakukan penyadapan terhadap batang pohon tanaman karet hingga dihasilkan getah kekuning-kuningan yang disebut dengan lateks (AF Simanullang, 2016).

Pengertian lain, karet adalah material bersifat unik yang dapat bersifat elastis dan viskos. Bagian dari karet dapat digunakan sebagai isolator guncangan, getaran dan benturan. Meskipun arti dari karet sudah meluas, arti karet biasanya ditujukan untuk material kompon dan yang tervulkanisasi. Dalam keadaan mentah, arti karet ditujukan untuk elastomer. Material elastomer dan karet memiliki berbagai macam variasi sifat spesifikasi penting dari material elastomer dan karet diantaranya mekanik, termal, listrik, optik, pengolahan, dan sifat fisik (Victor Tulus PS, 2014).

Dari hasil kelompok kerja industri pengolahan karet di berbagai daerah di Indonesia telah dipetakan dan diinventarisasi di beberapa wilayah potensi perkebunan karet serta industri pengolahan karet hilir. Sementara itu, di berbagai daerah telah diberi bantuan peralatan industri komponen yang diharapkan akan dapat mendorong tumbuhnya industri sejenis dan industri hilir barang-barang karet. Sejumlah lokasi di Indonesia memiliki keadaan lahan yang cocok untuk penanaman karet, sebagian besar berada di wilayah Sumatera dan Kalimantan. Luas area perkebunan karet tahun 2005 tercatat mencapai lebih dari 3,2 juta ha yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Diantaranya 85 % merupakan perkebunan karet milik rakyat, dan hanya 7 % perkebunan besar negara serta 8 % perkebunan besar milik swasta. Produksi karet secara nasional pada tahun 2005

mencapai 2,2 juta ton. Jumlah ini masih akan bisa ditingkatkan lagi dengan melakukan peremajaan dan memberdayakan lahan-lahan pertanian milik petani serta lahan kosong/tidak produktif yang sesuai untuk perkebunan karet (Gambaran Sekilas Industri Karet, dept. Perindustrian, 2007)



Gambar II.1 Wilayah Potensial Industri Pengolahan Karet (Sumber: Gambaran Sekilas Industri Karet, dept. Perindustrian, 2007)

Ada dua jenis karet, yaitu karet alam dan karet sintetis. Setiap jenis karet ini memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga keberadaannya saling melengkapi. Kelemahan karet alam bisa diperbaiki oleh karet sintetis dan sebaliknya, sehingga kedua jenis karet tersebut tetap dibutuhkan. Walaupun karet alam sekarang ini jumlah produksi dan konsumsinya jauh di bawah karet sintetis, tetapi sesungguhnya karet alam belum dapat digantikan oleh karet sintetis. Bagaimanapun keunggulan yang dimiliki karet alam sulit ditandingi oleh karet sintetis (WP Singarimbun, 2011).

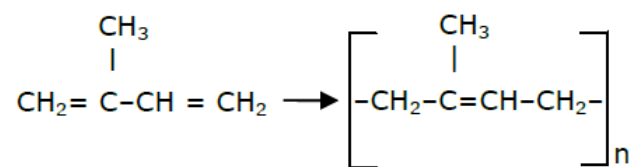
2.2 Jenis-jenis karet

2.2.1 Karet Alam

Karet alam adalah polimer *isoprene* (C_5H_8) yang mempunyai bobot molekul yang besar. Susunannya adalah $-CH-C(CH_3)=CH-CH_2-$. Karet *Hevea* yang diperoleh dari pohon *Hevea Brasiliensis* adalah bentuk alamiah dari 1,4-

polyisoprene. Karet jenis ini memiliki ikatan ganda lebih dari 98 % dalam konfigurasi *cis*nya yang penting bagi kelenturan atau elastisitas *polyisoprene*. Lebih dari 90 % *cis*-1,4 *polyisoprene* digunakan dalam industri karet *Hevea* (Tarachiwin et al., 2005).

Proses polimerisasi susunan *isoprene* akan menghasilkan polimer dengan struktur ikatan kimia yang berbeda. Proses polimerisasi *isoprene* diperlihatkan pada Gambar II.2 (Pocut Nurul A, 2007)



Gambar II.2 Proses Polimerisasi *Isoprene* (Sumber: Pocut Nurul, A. 2007)

Karet alam, jika dipanaskan menjadi lunak dan lekat, dan kemudian dapat mengalir. Karet alam larut sedikit demi sedikit dalam benzena. Akan tetapi, jika karet alam divulkanisasi, yakni dipanasi bersama sedikit belerang (kira-kira 2 %), ia menjadi bersambung-silangan dan terjadi perubahan yang luar biasa pada sifatnya. Karet atau elastomer merupakan polimer yang memperlihatkan daya pegas atau kemampuan meregang kembali ke keadaan semula dengan cepat (SS Arbi, 2010). Adapun keunggulan yang dimiliki karet alam adalah:

1. Memiliki daya elastis atau daya lenting yang sempurna,
2. Memiliki plastisitas yang baik sehingga pengolahannya mudah,
3. Mempunyai daya aus yang tinggi,
4. Tidak mudah panas, dan
5. Memiliki daya tahan yang tinggi terhadap keretakan

Ada beberapa jenis karet alam yang dikenal luas yaitu:

1. Bahan olah karet (lateks kebun, *sheet* angin, *slab* tipis, dan *lump* segar)
2. Karet konvensional (*ribbed smoked sheet*, *white crepes* dan *pale crepe*, *estate brown crepe*, *compo crepe thin brown crepe remills*, *thick blacket ambers*, *flat bark crepe*, *pure smoked blanket crepe*, dan *off crepe*)

3. Lateks pekat
4. Karet bongkah (*block rubber*)
5. Karet spesifikasi teknis (*crumb rubber*)
6. Karet siap olah (*tyre rubber*)
7. Karet reklim (*rechlaimed rubber*)

(WP Singarimbun, 2011)

2.2.2 Karet Sintetis

Karet sintetis adalah karet yang berasal dari hasil samping pengolahan minyak bumi yang kemudian melalui reaksi polimerisasi menjadi suatu material baru yang sifat-sifatnya mendekati sifat-sifat karet alam (Zuhra, 2006). Pengembangan karet sintetis secara besar-besaran dilakukan sejak zaman perang dunia II. Negara-negara industri maju merupakan pelopor berkembangnya jenis-jenis karet sintetis sekitar 15 miliar kilogram karet diproduksi setiap tahunnya, dan dari jumlah itu dua per tiga adalah produk sintetis. Karet sintetis, biasanya memiliki sifat tersendiri dari tiap jenisnya. Ada jenis yang tahan terhadap panas atau suhu tinggi, minyak, pengaruh udara dan bahkan ada yang kedap gas. Adapun keunggulan yang dimiliki karet sintetis adalah:

1. Tahan terhadap berbagai zat kimia
2. Harga cenderung bisa dipertahankan supaya tetap stabil

Berdasarkan tujuan pemanfaatannya, ada 2 macam karet yang dikenal, yaitu:

- Karet sintetis yang digunakan secara umum

Karet sintetis ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Bahkan, banyak fungsi karet alam yang dapat digantikannya. Jenis-jenis karet sintetis untuk kegunaan umum diantaranya sebagai berikut:

- a. SBR
- b. BR
- c. IR

- Karet sintetis yang digunakan untuk keperluan khusus

Karet sintetis ini digunakan untuk keperluan khusus karena memiliki sifat khusus yang tidak dipunyai karet sintetis untuk kegunaan umum. Sifat yang

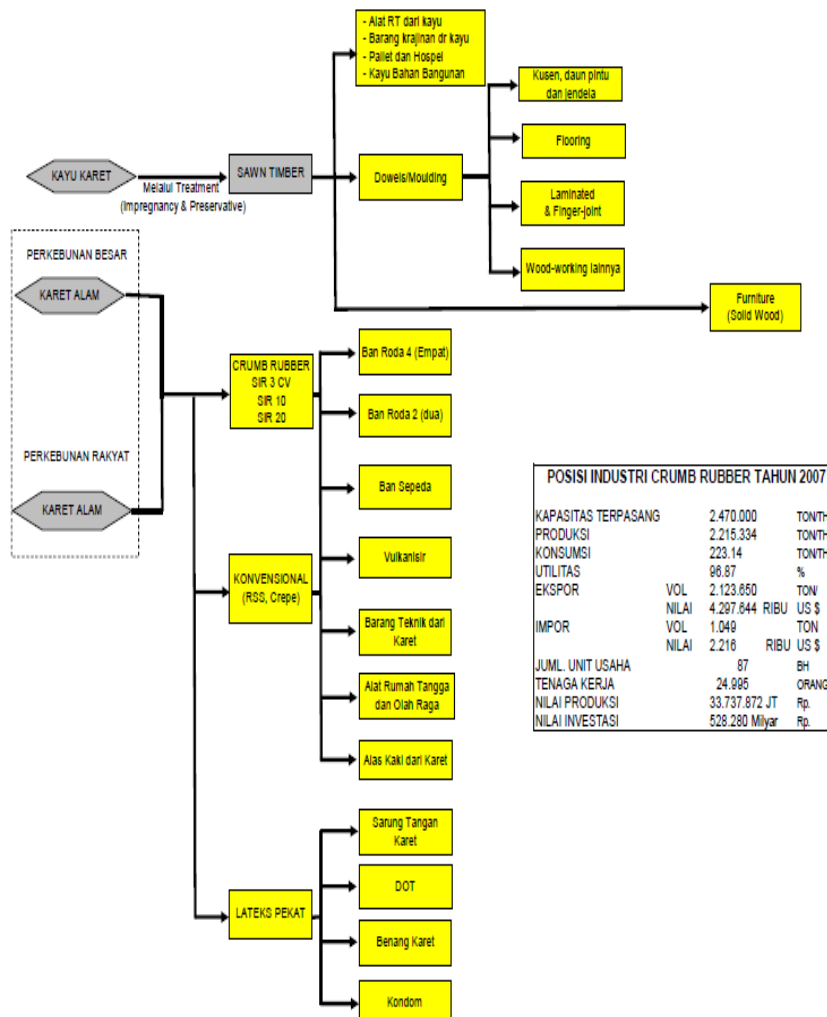
sekaligus menjadi kelebihan ini adalah tahan terhadap minyak, oksidasi, panas atau suhu tinggi serta kedap terhadap gas. Beberapa jenis karet sintetis untuk kegunaan khusus yang banyak dibutuhkan diantaranya sebagai berikut:

- a. IIR
- b. NBR
- c. CR

(WP Singarimbun, 2011)

2.3 Pemanfaatan Karet

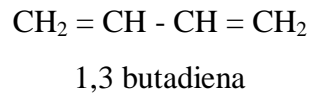
Pemanfaatan karet dapat dilihat pada pohon industri sebagai berikut:



Gambar II.3 Pohon Industri Karet (Sumber: Gambaran Sekilas Industri Karet, dept. Perindustrian, 2007)

2.4.1.2 Karet Sintetis (BR/ Polibutadien)

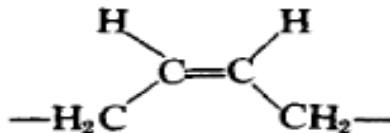
Polibutadien adalah homopolimer dari 1,3 butadiena, monomernya mengandung empat atom karbon, dan enam atom hidrogen (C₄H₆). Keempat atom karbon dalam rantai lurus memiliki dua ikatan ganda yaitu:



Gambar II.5 Rumus Struktur Polibutadien

BR dibuat dengan cara polimerisasi emulsi dan larutan, polimerisasi larutan menghasilkan karet BR, untuk keperluan pembuatan ban yang lebih tahan terhadap abrasi, lebih lentur dan resilien dibanding karet alam. Polimerisasi emulsi menghasilkan polimer campuran yang acak (*cis* dan *trans* polibutadien). Kegunaan utamanya adalah sebagai bahan untuk pembuat ban, karena dapat meningkatkan ketahanan abrasi. Digunakan secara mencampur dengan karet SBR maupun karet alam, kelebihan utamanya mengurangi terjadinya pemanasan dalam (*hysteresis*) pada produk ban.

(WM Matondang, 2010)



Gambar II.6 Struktur Kimia BR (Sumber: WM Matondang, 2010)

Tabel II.1 Karakteristik dan *Mechanical Properties Natural Rubber and Butadiene Rubber*

<i>Polymer</i>	<i>Polyisoprene (C₅H₈)_n</i>	<i>Polybutadiene (C₄H₆)_n</i>
<i>Tensile Strength range</i>	500-3500 Psi (3,5–25 MPa)	500-2000 Psi (3,5–15 MPa)
<i>Elongation range</i>	300–900 %	450–650 %
<i>Abrasion Resistance</i>	<i>Good to Excellent</i>	<i>Fair to Excellent</i>
<i>Compression Set</i>	<i>Excellent</i>	<i>Good to Excellent</i>
<i>Rebound Resilience</i>	<i>Excellent</i>	<i>Fair to Excellent</i>
<i>Hardness range</i>	30-95 shore A	45-80 shore A
<i>Maximum for Continuous Use</i>	180°F (80°C)	200°F (93°C)

<i>Polymer</i>	<i>Polyisoprene (C₅H₈)_n</i>	<i>Polybutadiene (C₄H₆)_n</i>
<i>Minimum for Continuous Use</i>	-60°F (-50°C)	-90°F (-32°C)

Sumber: Robinson *Rubber Product*, 2005

2.4.2 Bahan Accelerator

Accelerator (umumnya berupa senyawa organik) adalah bahan yang digunakan untuk mempercepat reaksi vulkanisasi kompon oleh belerang dan memungkinkan vulkanisasi berlangsung dalam waktu yang lebih singkat atau pada suhu yang lebih rendah. Bahan pencepat yang digunakan dapat berupa satu atau kombinasi dari dua atau lebih bahan pencepat (Alfa, 2003). Penggunaan bahan pencepat pada umumnya berkisar 0,3–2phr (Ridha arizal, 2015).

Accelerator dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok berdasarkan golongan senyawa, respon terhadap vulkanisasi dan fungsinya. Ditinjau dari fungsinya, *accelerator* dikelompokkan ke dalam *accelerator* primer yang berfungsi memberikan pravulkanisasi yang lambat dan *accelerator* sekunder yang berfungsi memberikan pravulkanisasi cepat. Pengelompokkan *accelerator* berdasarkan fungsinya tersaji dalam Tabel II.2. Penggolongan *accelerator* berdasarkan golongan senyawa dan respon terhadap vulkanisasi tersaji dalam Tabel II.3.

Tabel II.2 Kelompok Accelerator Berdasarkan Fungsi

Kelompok Pencepat	Golongan Pencepat
Pencepat primer	Thiazol
	Sulfenamida
Pencepat sekunder	Guanin
	Thiuram
	Dithiokarbonat
	Dithiosulfat

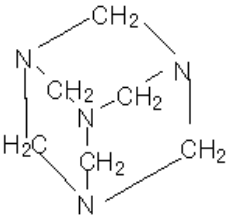
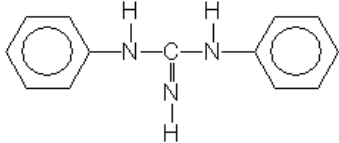
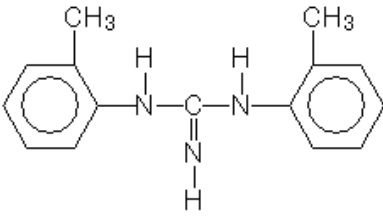
Sumber: Alfa, 2003

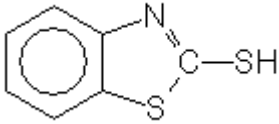
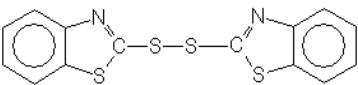
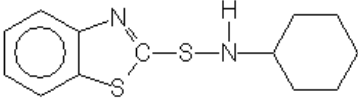
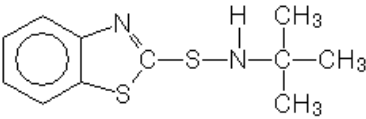
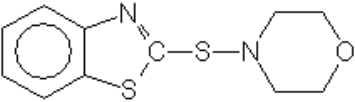
Tabel II.3 Golongan Bahan Pengecepat dan Respon Terhadap Vulkanisasi

Golongan Pengecepat	Respon	Contoh
Aldehida-amin	Lambat	HMT
Guanin	Sedang	DPG, DOTG
Thiazol	Semi cepat	MBT, MBTS
Sulfenamida	Cepat ditunda	CBS, TBBS, MBS
Thiuram	Sangat cepat	TMTM, TMTD
Dithiokarbonat	Sangat cepat	ZDEC, ZDMC, ZDBC

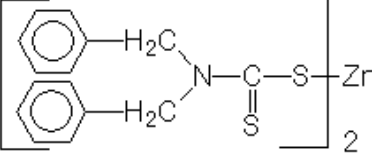
Sumber: Alfa, 2003

Tabel II.4 Struktur Kimia Senyawa Accelerator

<i>Accelerator</i>	<i>Chemical Structure</i>	<i>Remarks</i>
HMT <i>(Hexamethylene Tetramine)</i>		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Group: Amines.</i> • <i>Speed: Scorchy & Slow cure rate.</i> • <i>Use: As a secondary accelerator</i>
DPG <i>(Diphenyl Guanidine)</i>		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Group: Aldehyde-Amines.</i> • <i>Speed: Scorchy & Slow cure rate.</i> • <i>Use: As a Primary accelerator.</i>
DOTG <i>(N,N'-Diorthotolyl Guanidine)</i>		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Group: Guanidines.</i> • <i>Speed: Scorchy & Slow cure rate.</i> • <i>Use: As a Primary accelerator.</i>
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Group: Thiazoles.</i> • <i>Speed: Scorchy Ultra</i>

Accelerator	Chemical Structure	Remarks
MBT (2-Mercaptobenzothiazole)		<i>fast.</i> <ul style="list-style-type: none"> • Use: As a Primary accelerator
MBTS (2-2'-Dithiobis (benzothiazole))		<ul style="list-style-type: none"> • Group: Thiazoles. • Speed: Less scorchy than MBT. Ultra fast. • Use: As a Primary accelerator
CBS (N-Cyclohexyl-2-benzothiazole sulfonamide)		<ul style="list-style-type: none"> • Group: Sulfenamides • Speed: Delayed Action. Ultra fast. • Use: As a Primary accelerator
TBBS (N-tert-butyl-2-benzothiazole sulfonamide)		<ul style="list-style-type: none"> • Group: Sulfenamides • Speed: Delayed Action. Ultra fast. • Use: As a Primary accelerator
MBS (Benzothiazyl-2-sulfen morpholide)		<ul style="list-style-type: none"> • Group: Sulfenamides • Speed: Delayed Action. Ultra fast. • Use: As a Primary accelerator

Accelerator	Chemical Structure	Remarks
TMTM (Tetramethylthiuram Monosulfide)		<ul style="list-style-type: none"> • Group: Thiurams • Speed: Ultra fast. • Use: As a Primary / Secondary accelerator. Not a sulfur donor
TMTD (Tetramethylthiuram Disulfide)		<ul style="list-style-type: none"> • Group: Thiurams • Speed: Ultra fast. • Use: As a Primary / Secondary accelerator, Sulfur donor
ZDMC (Zinc dimethyldithiocarbam)		<ul style="list-style-type: none"> • Group: Dithiocarbamates • Speed: Ultra fast. • Use: As a Primary / Secondary accelerator.
ZDEC (Zinc diethyldithiocarbamate)		<ul style="list-style-type: none"> • Group: Dithiocarbamates • Speed: Ultra fast. • Use: As a Primary / Secondary accelerator
ZDBC (Zinc dibenzoyldithiocarbamate)		<ul style="list-style-type: none"> • Group: Dithiocarbamates • Speed: Ultra fast. • Use: As a Primary / Secondary accelerator

<i>Accelerator</i>	<i>Chemical Structure</i>	<i>Remarks</i>
ZDBC (Zinc <i>dibutyldithiocarbamate</i>)		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Group: Dithiocarbamates</i> • <i>Speed: Ultra fast.</i> • <i>Use: As a Primary/ Secondary accelerator, Non-nitrosamine.</i>

Sumber: Arvind Mafatlal Group, 2014

2.4.3 Bahan Penggiat (*Activator*)

Bahan penggiat adalah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam sistem vulkanisasi, untuk menggiatkan proses vulkanisasi. Dalam sistem vulkanisasi dengan bahan pencepat, bahan ini berfungsi sebagai pengaktif kerja bahan pencepat karena pada umumnya bahan pencepat organik tidak dapat berfungsi secara efisien tanpa adanya bahan pengaktif. Bahan pengaktif terbagi menjadi dua golongan, yaitu anorganik berupa oksida logam (ZnO, PbO, dan Mg) dan organik berupa asam lemak rantai panjang (stearat dan oleat). Bahan penggiat yang paling umum digunakan adalah seng oksida (ZnO) dan asam stearat (Alfa, 2003). Penggunaan bahan penggiat pada umumnya berkisar 3–5 phr (Ridha arizal, 2015).

2.4.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Penambahan bahan pengisi ditambahkan untuk memperkuat struktur fisik, memperbaiki karakteristik pengolahan, dan menambah volume kompon karet (Craig, 1969). Bahan pengisi diklasifikasikan menjadi dua yaitu *carbon black* dan bahan pengisi *non-black* atau biasa disebut bahan pengisi berwarna. Bahan pengisi berdasarkan keaktifannya terdiri dari dua jenis yaitu bahan pengisi aktif dan bahan pengisi tidak aktif (AR Sasongko, 2012). Pada pembuatan kompon karet sering digunakan campuran antara bahan pengisi aktif dan bahan pengisi tidak aktif dengan memperhatikan harga, kemudian pengolahan dan sifat produk karet yang diinginkan.

- *Reinforcing filler* (bahan pengisi aktif): berfungsi meningkatkan kekerasan, ketahanan sobek, ketahanan kikis, dan tegangan putus barang jadi karet. Contoh: *carbon black*, ZnO, magnesium karbonat
- *Inert filler* (bahan pengisi tidak aktif): berfungsi sebagai penambah volume, menambah kekerasan dan kekakuan barang jadi karet. Contoh: CaCO₃, kaolin, BaSO₄.

(Victor Tulus, 2014)

Tabel II.5 Kode ASTM dan Aplikasi dari Carbon Black

Kode ASTM	DBP Adsorption cm ³ /100g	Aplikasi
N-990	36	<i>Inner line, freon hose, nitril hose, washing machine hose</i>
N-787	80	<i>Low voltage wire and cable, wiper blade</i>
N-762	65	<i>Extrusion mouldings</i>
N-660	90	<i>Body mounts, hydraulic hose, tire treads</i>
N-630	78	<i>Passenger carcass, O-rings, body mounts</i>
N-582	180	<i>Mechanical goods, conductive goods</i>
N-550	121	<i>Body mounts, windshield wiper, brake cups, motor mounts, pipe rings</i>
N-472	178	<i>Wire and cables</i>
N-347	124	<i>Passenger tread, truck</i>
N-339	120	<i>Passenger tread, truck</i>
N-330	102	<i>Motor mounts, dock fender, weather strips, passenger tread, bicycle tires</i>
N-326	72	<i>Motor mounts, wire belt coat</i>
N-242	121	<i>Motor mounts, passenger tread</i>
N-220	114	<i>Truck tread, off the road tread</i>
N-110	113	<i>Truck tread, tank tread pad, compression pad</i>

Sumber: Ridha Arizal, 2015

2.4.5 Antidegradant (Antioksidan/Antiozonan)

Antidegradant adalah bahan kimia yang berfungsi sebagai antiozonan dan antioksidan yang melindungi bahan jadi karet dari pengusangan dan peningkatan usia penggunaannya. Karet tanpa antioksidan akan mudah teroksidasi sehingga menjadi lunak kemudian lengket dan akhirnya menjadi keras dan retak-retak

(*aging*) (Victor Tulus, 2014). Menurut Victor Tulus (2014), pemakaian anti oksidan harus memenuhi beberapa syarat, antara lain:

- Mudah terdispersi pada seluruh bagian karet
- *Inert* terhadap hasil-hasil vulkanisasi pada setiap jenis tegangan
- Tidak mempunyai pengaruh terhadap warna hasil vulkanisasi

Antidegradant digunakan dalam kompon untuk melindungi kompon karet terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh oksigen, ozon cahaya matahari, katalis logam dan benturan mekanik. Penggunaan bahan *antidegradant* pada umumnya berkisar 1–2 phr. Bahan *antidegradant* secara garis besar dibagi menjadi:

1. Turunan amina. Antioksidan ini tergolong *staining* (berwarna), biasanya anilin dan difenilamin karena dapat memudahkan warna bukan hitam bila diekspos di dalam cahaya. Contoh: *Phenyl-(alfa,beta)-naphthylamine* seperti PAN dan PBN, keton-amin kondensat seperti *flectol H*, permanax TQ, substitusi *p-phenilenediamines* seperti *santoflex 13*, permanax 6PPD
2. Turunan fenol. Antioksidan ini tergolong *non staining* (tidak berwarna) yang tidak banyak mempengaruhi warna vulkanisat. Contoh: substitusi *phenol* seperti *vulkanox DS*, *ionol*, permanax SP, *montaclere fenil alkana* seperti *vulkanox NKF*, *naugawhite*, *santowhite*
3. *Waxes*, dipakai terutama untuk mencegah proses *aging* yang disebabkan oleh sinar matahari dan ozon.

(Ridha arizal, 2015)

2.4.6 Bahan Bantu Olah (*Processing Aids*)

Bahan bantu olah merupakan bahan kimia karet yang ditambahkan pada kompon untuk meningkatkan efektifitas pengolahan kompon, tanpa atau sedikit mempengaruhi sifat fisik dan karakteristik vulkanisasi barang jadinya (Craig, 1969). Tujuan lainnya untuk meningkatkan performansi/tampilan dari produk karet, dan untuk mempermudah proses *mixing*, *calendaring*, *ekstruder*, dan *molding*. Bahan-bahan ini ditambahkan pada kompon karet sesuai dengan kebutuhan atau tujuan. Berdasarkan sumber bahan baku atau jenis produknya, bahan bantu olah jenis *softener* (pelunak) digolongkan atas pelunak petroleum,

bahan pelunak ester, resin, karet cair, asam lemak dan turunannya, lilin hidrokarbon dan polietilen, serta vulkanisat minyak nabati atau faktis (Alfa, 2003).

Processing aids terdiri dari *antidegradant*, *colors*, *inhibitor* (penghambat), *softener* (pelunak), *deodor* (pewangi), *blowing agent* (bahan peniup atau penghembus), bahan pembantu lain seperti *homogenizer*, *peptizer*, senyawa pendispersi, *release agent*, *coupling agent*, dan *tackifier*.

Bahan *processing aids* lainnya yaitu pelumas (*lubricants*), ada 3 tipe utama *rubber process oil* yang berasal dari minyak bumi yaitu:

- Parafinik, sifatnya yg sangat stabil, digunakan untuk vulkanisat bewarna atau putih, senyawa bersifat non polar sehingga lebih cocok untuk karet yg non polar seperti NR, BR, EPDM.
- Naftenik, sifatnya hidrokarbon siklik, tetapi *flash point* lebih rendah dibanding parafinik.
- Aromatik, sifatnya tidak begitu stabil, warnanya gelap, *low flash point*, dan tidak cocok digunakan untuk *mixing* pada suhu yang tinggi, dan digunakan untuk campuran karet yang bewarna gelap. Senyawa bersifat polar, sehingga lebih cocok untuk karet yang polar.

(Ridha Arizal, 2015)

2.4.7 Bahan Pemvulkanisasi (*Curative*)

Bahan pemvulkanisasi adalah bahan kimia yang dapat bereaksi dengan gugus aktif pada molekul karet membentuk ikatan silang tiga dimensi (Alfa, 2003). Bahan pemvulkanisasi yang pertama dan paling umum digunakan adalah belerang yang khusus digunakan untuk memvulkanisasi karet alam atau karet sintetis jenis SBR, NBR, IR, dan EPDM. Bahan-bahan lain yang dapat digunakan adalah selenium, peroksida, oksida logam, dinitro benzena, dan lain lain.

2.5 Proses Pembuatan Kompon Karet

2.5.1 Pencampuran (*Mixing*)

Pada penyusunan formulasi kompon karet yang paling penting adalah menentukan jenis atau campuran karet mentah. Kemudian baru ditentukan bahan pengisi, sistem vulkanisasi, bahan pencepat, *activator* dan *antidegradant*. Terakhir adalah penentuan *processing aids* yang diperlukan sesuai dengan spesifikasi teknis barang jadi karet yang akan dibuat (Rodgers, 2004).

Secara garis besar, dimulai dengan pencampuran bahan karet di dalam *kneader*. NR, BR dan *peptizer* dimastikasi selama 5 menit, kemudian bahan tambahan lain seperti *filler*, *activator* dan *antidegradant* dimasukkan dan dicampur selama 6 menit, selanjutnya minyak dimasukkan dan dicampur selama 2 menit. Proses pencampuran berlangsung pada suhu 100°C. Kompon kemudian diistirahatkan selama 24 jam, untuk selanjutnya dilakukan penambahan *accelerator* dan sulfur. Kompon yang sudah jadi dibuat lembaran menggunakan *open mill* pada suhu 70°C.

Mastikasi adalah proses awal dalam pembuatan kompon karet yang dilakukan dengan cara *mechanical shearing* di *open mill* atau didalam *internal mixer*. Proses mastikasi dapat dipercepat dengan penambahan *peptizer*. Mastikasi merupakan proses penurunan berat molekul karet yang ditunjukkan dengan penurunan viskositas karet sehingga pencampuran bahan kompon yang sebagian besarnya berupa serbuk padat, dapat bercampur dengan mudah dan merata dengan karet. Karet mengalami penurunan berat molekul akibat rantai-rantai utama dari karet diputus-putus yang berakibat viskositasnya menurun (A Bagus Nur Sudrajat, 2014).

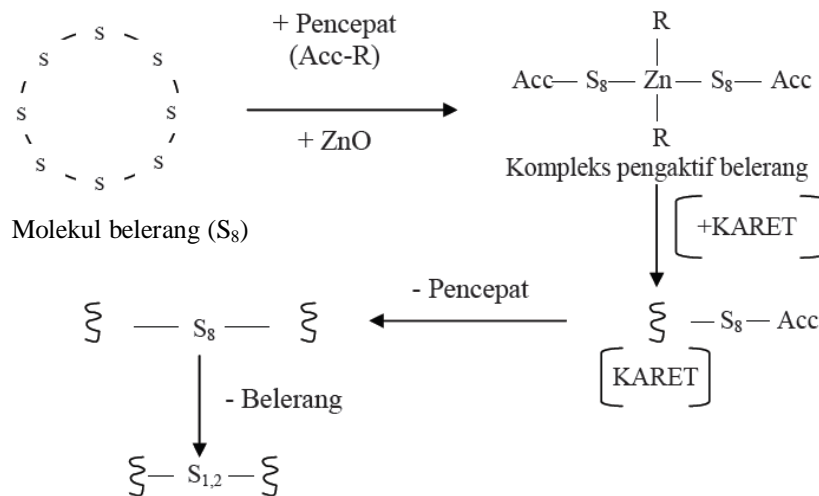
2.5.2 Vulkanisasi

Vulkanisasi adalah suatu proses kimia yang bersifat *irreversible* dengan menggunakan bahan pemvulkanisasi (*vulcanizing agent*), seperti sulfur, bahan yang mengandung sulfur, dan peroksida organik. Proses vulkanisasi karet biasanya melibatkan pemanasan karet pada suhu 100–180°C dengan bahan pemvulkanisasi sehingga membentuk produk yang disebut vulkanisat (Craig,

1969). Melalui vulkanisasi komponen karet, molekul karet yang semula lurus atau berupa struktur dua dimensi, berubah menjadi struktur tiga dimensi karena terbentuk ikatan silang oleh bahan pemvulkanisasi (Craig, 1969). Vulkanisasi belerang merupakan bahan vulkanisasi yang umum dan banyak digunakan.

Laju vulkanisasi dapat ditingkatkan melalui penambahan bahan pencepat dan penggiat. Kombinasi antara bahan pemvulkanisasi, bahan pencepat, dan bahan penggiat disebut sistem vulkanisasi. Sistem vulkanisasi dapat didefinisikan sebagai jumlah aditif yang diperlukan untuk memvulkanisasi elastomer atau karet yang semula bersifat plastis, liat, dan tidak mantap terhadap suhu (*thermoplastis*) berubah menjadi elastis, kuat, dan mantap bentuknya terhadap perubahan suhu (*thermoset*) (Long, 1985). Sistem vulkanisasi yang digunakan akan menentukan jenis ikatan silang yang terbentuk. Sistem vulkanisasi karet dapat dibedakan atas tiga jenis, yaitu sistem konvensional, sistem EV, dan sistem semi EV (Lee dan Whelan, 1997).

Mekanisme vulkanisasi belerang ditunjukkan pada Gambar II.7. Pada awal reaksi terjadi pemutusan lingkaran molekul sulfur (S_8) yang kemudian membentuk kompleks pengaktifan belerang dengan melibatkan bahan pencepat dan ZnO. Bahan pengaktif perantara ini melepaskan rantai belerang oligomer yang reaktif dan menyerang posisi atom C alilik dari molekul karet, dan membentuk ikatan silang. Ikatan silang yang terbentuk merupakan ikatan polisulfida yang mengandung banyak atom belerang dan mempunyai ikatan energi rendah. Selama proses pemanasan pada pemasakan, ikatan polisulfida dapat putus membentuk ikatan silang yang lebih pendek. Sebagai akibatnya monomolekuler belerang yang putus membentuk ikatan silang baru atau ikatan belerang intermolekular sepanjang molekul karet dan terbentuknya ikatan rangkap terkonjugasi (Honggokusumo, 1994).



Gambar II.7 Mekanisme Vulkanisasi dengan Sulfur (Sumber: Honggokusumo, 1994)

Vulkanisasi dapat menurunkan plastisitas, kelekatan, dan kepekatan karet terhadap panas dan dingin serta dapat meningkatkan elastisitas, kekuatan, dan kemanfaatannya. Berbagai perubahan dan peningkatan karet tersebut disebabkan proses vulkanisasi akan merubah struktur kimia karet, yang semula bersifat lunak dan plastis menjadi karet yang bersifat kuat dan elastis (Long, 1985).

2.6 Vulkanisir Ban

Ban vulkanisir adalah ban bekas yang semula sudah aus kemudian digunakan kembali dengan cara memperbaharui bagian telapaknya. Pembaharuan tersebut bisa dilakukan berkali-kali, biasanya 2–3 kali jika ban bekas yang akan divulkanisir masih dinilai baik. seperti tidak retak, kawat/*nylon* penguat termasuk kawat lingkaran induknya (*bead*) masih utuh, tidak berlubang besar dan geometrinya masih simetris.

Proses produksi vulkanisir terdiri dari 2 macam, yaitu:

a. Vulkanisir panas

Pada proses panas (*hot/mold cure process*), setelah dilakukan pamarutan sisa-sisa ban bekas, bagian telapak dari *casing* disemprot dengan lem khusus, kemudian digulung dengan beberapa lapis kompon *camel back*. Selanjutnya dibentuk kembang-kembang atau profil permukaan dengan menggunakan

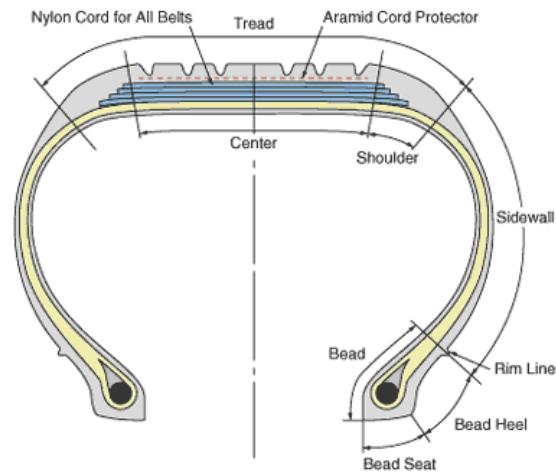
cetakan. Tahap vulkanisasi ini dilaksanakan pada suhu relatif tinggi, 135–150°C, sehingga disebut proses panas.

b. Vulkanisir dingin

Pada proses dingin bagian telapak ban gundul/*casing* hasil pamarutan terlebih dulu dilapisi kompon perekat (*cushion gum*), selanjutnya ke permukaan *cushion gum* ditempelkan potongan-potongan karet matang (vulkanisat) yang sudah berkembang, disusun melingkar memenuhi seluruh permukaan ban. Tahap berikutnya adalah vulkanisasi yang dilakukan didalam *autoclave* pada suhu relatif rendah, sekitar 95–99°C, sehingga prosesnya disebut proses dingin. Bahan utama untuk pembuatan ban vulkanisir adalah kompon karet, yang merupakan paduan karet alam, karet sintetis dan bahan-bahan aditif. (Putrawan et al, 2014)

2.7 Karakter Ban Pesawat Terbang

Ban adalah peranti yang menutupi velg suatu roda. Ban adalah bagian penting dari kendaraan, dan digunakan untuk mengurangi getaran yang disebabkan ketidakrataan permukaan jalan, melindungi roda dari aus dan kerusakan, serta memberikan kestabilan antara kendaraan dan tanah untuk meningkatkan percepatan dan mempermudah pergerakan. Sebagian besar ban yang ada sekarang, terutama yang digunakan untuk kendaraan bermotor, diproduksi dari karet sintetis, walaupun dapat juga digunakan dari bahan lain seperti baja.



Gambar II.8 Struktur Ban Pesawat Terbang (Sumber: Bridgestone Corporation, 2014)

Bagian-bagian dari ban pesawat terbang yaitu *tread*, *breaker and belt*, *casing*, dan *bead*. *Tread* adalah bagian telapak ban yang berfungsi untuk melindungi ban dari benturan, tusukan objek dari luar yang dapat merusak ban. *Tread* dibuat banyak pola yang disebut *pattern* (Putra, Arthadi et al., 2013). Pada penelitian ini bertujuan memvariasikan komposisi karet alam dan sintesis untuk tapak (*tread*) ban pesawat terbang. Oleh karena itu, ada beberapa target spesifikasi teknis yang harus dicapai pada penelitian ini untuk memenuhi standar ban pesawat terbang.

Ban pesawat terbang dirancang secara khusus untuk mampu menahan beban yang berat, memberikan rasa nyaman pada penumpang, dan bertahan ketika pesawat bergerak di landasan dengan kecepatan yang cukup tinggi. Ban pesawat bukan ban yang padat. Di dalamnya ada gas/udara dengan tekanan yang cukup besar, sekitar enam kali lebih besar dari tekanan ban mobil. Tekanan sebesar ini dibutuhkan untuk menahan berat pesawat yang besar. Ban pesawat terbang dirancang untuk pemakaian kasar sebagai akibat dari operasionalnya berulang-ulang mulai dari ketika pesawat tinggal landas sampai mendarat, membawa awak pesawat yang bebannya sangat berat dengan tingkat kecepatan paling tinggi. Kecepatan pesawat sejak tinggal landas sampai mendarat mencapai lebih dari 370

km/h, ditambah lagi berat pesawat ketika tinggal landas lebih dari 560 ton (Putra, Arthadi et al., 2013).

Target spesifikasi teknis dari kompon karet untuk tapak ban pesawat diambil dari beberapa sumber referensi yang ada seperti *patent*, standar pengujian ban pesawat dan literatur. Hal ini dilakukan karena sulitnya mencari informasi mengenai spesifikasi teknis untuk tapak ban pesawat. Spesifikasi teknis kompon karet untuk ban merupakan rahasia dapur dari pabrikan ban.

Target yang harus dicapai pada penelitian ini adalah:

- *Hardness* : 60–65 shore A
- *Tensile Strength* : >20 MPa
- *Elongation at Break* : 500 % max
- *Abrasion resistance* : >100 % ARI
- *Compression set Loss* : 20 % max
- *Rebound Resilience* : 45–70 %
- *Aging Loss (H, TS, Abrasion, Rebound)*
at 70°C, 48 jam : 20% max
(BPPT-PTM, 2016)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Karet, Gedung 224, Pusat Teknologi Material-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM-BPPT), Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang Selatan pada bulan Februari–Maret 2016.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. *Kneader*
2. *Open mill*
3. *Volume Sample Cutter R-VS 3000*
4. *Alat Uji Rheometer*
5. *Volume Sample Cutter VS 3000*
6. Rotor besar
7. *Plastic film*
8. *Alat Uji Mooney Viscometer ASTM D 1646*
9. *Vulcanizing Mold*
10. *Hotpress*
11. *Universal Testing Machine (UTM) ASTM D 412*
12. *Alat Uji Compression Set ASTM D 395*
13. *Alat Uji Abrasion DIN 53516*
14. *Durometer hardness ASTM D 2240*
15. *Alat Uji Rebound Resilience ASTM D 2632*
16. Desikator
17. Timbangan digital
18. *Oven* untuk kompresi
19. *Oven* untuk *Aging* (pengusangan)
20. Neraca Analitik

3.2.2 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. *Natural Rubber (NR)*
2. *Butadiene Rubber (BR)*
3. *Peptizer*
4. *ZnO*
5. *Stearic Acid*
6. *Silika*
7. *Carbon Black (N220)*
8. *TMQ (antiox/oz)*
9. *Permanax 6PPD (antiox/oz)*
10. *Wax*
11. *Coumarone Resin*
12. *Processing Oil*
13. *Sulphur*
14. *CBS (accelerator)*
15. *Aquadest*

3.3 Variabel

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang dibuat tidak berubah selama penelitian berlangsung sehingga tidak menyebabkan terjadinya perubahan variabel terikat. Variabel tetap dalam penelitian ini yaitu:

- <i>Peptizer</i>	: 0,5 phr	- <i>ZnO</i>	: 5,0 phr
- <i>Stearic Acid</i>	: 3,0 phr	- <i>Silika</i>	: 32,5 phr
- <i>TMQ</i>	: 2,0 phr	- <i>Carbon Black (N220)</i>	: 20,0 phr
- <i>6PPD</i>	: 3,0 phr	- <i>Wax</i>	: 2,0 phr
- <i>Coumarone Resin</i>	: 3,0 phr	- <i>Sulphur</i>	: 1,5 phr
- <i>Processing Oil</i>	: 8,0 phr	- <i>CBS</i>	: 1,5 phr

3.3.2 Variabel Berubah

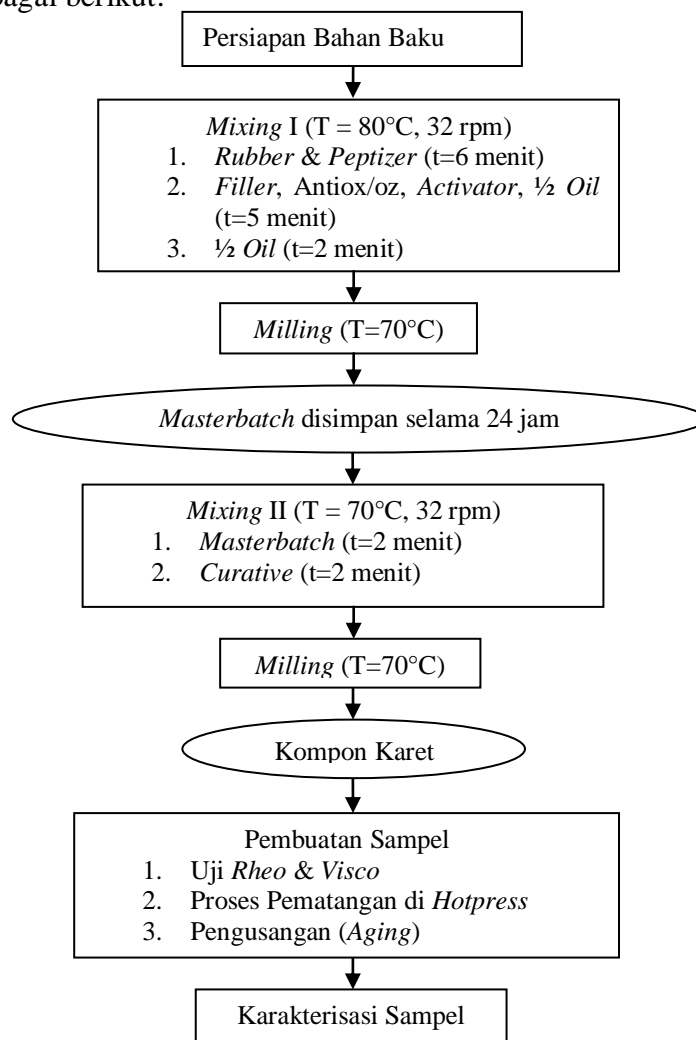
Variabel berubah adalah variabel yang divariasikan pada penelitian agar diperoleh hasil yang diinginkan. Pada penelitian ini variabel berubahnya adalah komposisi *natural rubber-butadiene rubber* pada kompon karet. Berikut adalah tabel variasi komposisi *natural rubber-butadiene rubber*.

Tabel III.1 Variasi Komposisi *Natural Rubber-Butadiene Rubber*

No	Kompon	Komposisi (phr)	
		<i>Natural Rubber (NR)</i>	<i>Butadiene Rubber (BR)</i>
1	FR1	75	25
2	FR2	85	15
3	FR3	95	5

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dapat dijabarkan dalam diagram proses keseluruhan penelitian sebagai berikut:



Gambar III.1 Diagram alir penelitian

3.4.1 Tahap Pembuatan Kompon Karet

3.4.1.1 Persiapan Bahan Baku

Natural Rubber (NR) dan *Butadiene Rubber* (BR) dipotong menggunakan alat potong dan bahan-bahan lain seperti *peptizer*, ZnO, *stearic acid*, silika, *carbon black* (N220), TMQ, 6PPD, *wax*, *coumarone resin*, *processing oil*, *sulphur*, CBS ditimbang sesuai dengan komposisi formulasi pembuatan kompon karet. Gambar bahan dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 1).

3.4.1.2 Pembuatan Kompon Karet

Pada penelitian ini proses pembuatan kompon karet dengan memvariasikan komposisi *natural rubber-butadiene rubber* masing-masing variasi dibuat triplo sehingga kompon karet yang dibuat berjumlah 9 kompon. Gambar kompon dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 2). Berikut adalah tabel komposisi formulasi karet.

Tabel III.2 Komposisi Formulasi Karet

No		Nama Bahan	Formula (phr)		
			FR1	FR2	FR3
1	Polymer:	NR	75	85	95
		BR	25	15	5
2	Peptizer:	<i>Peptizer</i>	0,5		
3	Activator:	ZnO	5,0		
		<i>Stearic acid</i>	3,0		
4	Filler:	Silika	32,5		
		<i>Carbon black</i> (N220)	20,0		
5	Antiox/oz:	TMQ	2,0		
		6PPD	3,0		
		<i>Wax</i>	2,0		
		<i>Coumarone resin</i>	3,0		
6	Oil:	<i>Processing oil</i>	8,0		
7	Curative:	<i>Sulphur</i>	1,5		
8	Accelerator:	CBS	1,5		

Berikut ini merupakan tahapan kerja dari proses pembuatan kompon karet:

- **Mixing I**

1. Memasukkan bahan *natural rubber-butadiene rubber* dengan variasi seperti tabel di atas dan *peptizer* ke dalam *kneader* dengan set suhu 100°C dan kecepatan 60 rpm dimulai *mixing* pada suhu 80°C dan kecepatan 32 rpm selama 5 menit. Alat dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 1).
2. Menambahkan bahan-bahan lain seperti ZnO, *stearic acid*, *silica*, *carbon black* (N220), TMQ, 6PPD, *wax*, *coumarone resin*, dan ½ dari *processing oil* yang sudah ditimbang sesuai dengan komposisi formulasi pembuatan kompon karet ke dalam *kneader* *dimixing* selama 6 menit.
3. Menambahkan sisa ½ dari *processing oil* ke dalam *kneader* *dimixing* selama 2 menit.

- **Milling**

Menggiling hasil *mixing* dari *kneader* dengan menggunakan *open mill* dengan suhu 70°C selama 5 kali penggilingan ± 5 menit sehingga terbentuk kompon karet berupa lembaran yang disebut juga sebagai *masterbatch*. Alat dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 2).

- **Masterbatch**

Masterbatch kemudian didiamkan selama 24 jam.

- **Mixing II**

1. Memotong *masterbatch* hingga menjadi potongan-potongan yang lebih kecil kemudian dimasukkan ke dalam *kneader* dengan set suhu 70°C dan kecepatan 60 rpm dimulai *mixing* pada suhu 70°C dan kecepatan 32 rpm selama 2 menit.
2. Menambahkan *sulphur (curative)* dan CBS (*accelerator*) ke dalam *kneader* *dimixing* selama 2 menit.

- **Milling**

Menggiling hasil *mixing* dari *kneader* dengan menggunakan *open mill* dengan suhu 70°C selama 5 kali penggilingan ± 5 menit sehingga terbentuk kompon karet berupa lembaran yang akan dimatangkan dan dicetak sebagai sampel.

3.4.2 Tahap Pembuatan Sampel

Pada penelitian ini, hasil proses pembuatan kompon karet sebelum dibuat sampel, diuji *rheo* (kematangan) terlebih dahulu untuk menentukan waktu matang karet pada saat pembuatan sampel pada alat *hotpress* dan diuji viskositas untuk menentukan kekentalan pada kompon karet. Sampel dimatangkan pada alat *hotpress* lalu dibuat menjadi 2 jenis sampel yaitu sebelum dan sesudah proses *aging* (pengusangan).

3.4.2.1 Uji Kematangan (*Rheometer Test*)

Rheometer adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian karakteristik vulkanisasi kompon karet. Pada *Moving Die Rheometer*, sampel ditekan di antara dua plat yang dipanaskan dan memberikan gaya osilasi. Karakteristik *curing* diperoleh dari *Moving Die Rheometer 3000 MonTech Rheometer* pada suhu 170°C selama 40 menit. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 4), sampel uji pada lampiran B (Gambar 3a). Berikut merupakan tahapan pengujian waktu matang:

- Meletakkan kompon pada *Volume Sample Cutter R-VS 3000* lalu potong dengan menekan tombol merah di kanan dan kiri alat preparasi sampel secara bersamaan selama kurang lebih 10 detik dan terdengar bunyi klik. Untuk satu kali pengujian membutuhkan satu buah sampel dan dua *plastic film*.
- Sampel sudah terpotong dapat langsung digunakan dengan terlebih dahulu melapisinya menggunakan *plastic film* di kedua sisinya.
- Mempersiapkan program pengujian pada layar komputer dengan memberi nama sampel, mengatur suhu pada 170°C, dan waktu pengujian selama 40 menit.
- Memasukkan sampel ke dalam *Moving Die Rheometer* tepatnya di antara kedua plat ketika alat sudah *standby* (warna garis hijau pada layar komputer).
- Menekan tombol start warna hijau pada *Moving Die Rheometer* lalu tunggu selama 40 menit.
- Setelah selesai, lihat hasil pengujian pada layar komputer.

3.4.2.2 Uji Viskositas (*Viscosity Test*)

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan viskositas dan perilaku kompon karet pada saat diproses. Ruang lingkup pengujian untuk kompon karet yang masih mentah dilakukan pada suhu 170°C menggunakan *MonTech Mooney Viscometer* dengan *preheat* 1 menit, *set time* 4 menit, dan waktu relaksasi 1 menit. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 5), sampel uji pada lampiran B (Gambar 3b). Berikut merupakan tahapan pengujian kekentalan berdasarkan ASTM D 1646:

- Meletakkan kompon pada *Volume Sample Cutter* VS 3000 lalu potong dengan menekan tombol merah di kanan dan kiri alat preparasi sampel secara bersamaan selama kurang lebih 10 detik dan terdengar bunyi klik. Untuk satu kali pengujian membutuhkan dua buah sampel, dua *plastic film* dan satu buah rotor.
- Meletakkan satu buah sampel pada bagian bawah rotor kemudian lapisinya dengan menggunakan satu buah *plastic film*, dan letakkan satu buah sampel lainnya pada bagian atas rotor, lapisinya dengan *plastic film* lainnya.
- Mempersiapkan program pengujian pada layar komputer untuk memberi nama sampel, mengatur suhu menjadi 100°C, dan waktu *preheat* selama 1 menit dan waktu pengujian selama 4 menit.
- Memasukkan rotor yang sudah dilapisi sampel ke dalam *Mooney Viscometer* tepatnya di antara kedua plat ketika alat sudah *standby* (warna garis hijau pada layar komputer).
- Menekan tombol start warna hijau pada *Mooney Viscometer* lalu tunggu selama 6 menit.
- Setelah selesai, lihat hasil pengujian pada layar komputer.

3.4.2.3 *Hotpress*

Setelah dilakukan pengujian terhadap waktu matang, kompon karet yang akan dibuat sampel dimatangkan atau divulkanisasi terlebih dahulu pada alat ini. Suhu, waktu dan tekanan sangat penting terhadap pematangan karet. Alat dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 3). Berikut merupakan tahapan pematangan kompon karet pada *hotpress*:

- Kompon karet terlebih dahulu dipotong kecil-kecil hingga pas dengan ukuran *vulcanizing mold* kemudian dimasukkan ke *vulcanizing mold* hingga tidak ada lagi ruang kosong pada cetakan. Cetakan disesuaikan dengan karakterisasi yang akan dilakukan.
- Atur suhu, waktu, dan tekanan pada alat *hotpress* disesuaikan dengan pengujian waktu matang hasil pengujian *rheometer* sebelumnya kemudian tekan *prepare program*.
- Ketika sudah siap, masukan *mold* yang sudah berisi kompon karet ke dalam alat *hotpress* yang sudah di *prepare program* lalu tekan *run program*.
- Tunggu hingga alat berbunyi dan sampel siap untuk dikarakterisasi setelah dilepaskan dari *mold* terlebih dahulu.

3.4.2.4 Tahap Pengusangan (*Aging*)

Pada penelitian ini, sampel setelah dimatangkan akan dikarakterisasi sifat vulkanisatnya sebelum dan sesudah proses pengusangan (*aging*). Pengujian ini bertujuan mengetahui keusangan dari vulkanisat yang disebabkan oleh panas. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 11), sampel uji pada lampiran B (Gambar 4). Berikut ini merupakan tahapan proses pengusangan (*aging*):

- Memasukkan semua sampel yang akan dikarakterisasi ke dalam *oven aging* yang sudah diatur suhunya menjadi 70°C.
- Menekan tombol *heater* dan *hanger*.
- Proses ini berlangsung selama 48 jam, setelah itu angkat dan didiamkan 30–60 menit dan sampel siap untuk dikarakterisasi

3.4.3 Karakterisasi Vulkanisat Karet

3.4.3.1 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik dilakukan untuk mengukur tegangan maksimal atau dinyatakan sebagai tegangan putus (*tensile test*) pada saat dimana terjadi pemutusan dari vulkanisat karet, perpanjangan pada saat putus (*elongation*) dan tegangan yang terjadi pada saat dicapai perpanjangan tertentu (*tensile stress*). Pengujian tarik ini menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) berdasarkan ASTM D 412. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran C (Gambar

6), sampel uji pada lampiran B (Gambar 5a). Berikut ini merupakan prosedur kerja alat UTM berdasarkan ASTM D 412:

- Mengukur sampel yang akan diuji dari mulai ketebalannya (*thickness*), lebar sampel (*width*), panjang total sampel, dan *grip* (jarak antara jepit bawah dan atas ditandai dengan bolpoin) dengan menggunakan *caliper* (jangka sorong).
- Memasang sampel di tempat sampel dengan cara posisikan sampel agar tepat di tengah atau seimbang.
- Memasang penjepit sampel pada bagian atas dan bawah sampel sesuai dengan *grip*.
- Mengatur pembatas atas dan bawah untuk menghindari terjadinya penempelan antara tempat sampel dengan bagian atas alat.
- Membuka *software* UTM pada perangkat lunak komputer, kemudian masukkan data yang sudah diukur.
- Menekan tombol *START* pada alat dan tunggu hingga sampel putus.

3.4.3.2 Pengujian Ketahanan Pengikisan (*Abrasion Test*)

Uji ketahanan pengikisan (*abrasion resistance test*) bertujuan untuk mengetahui ketahanan aus (*wear*) vulkanisat karet dengan menghitung kehilangan volume dari vulkanisat karet yang mengalami pengikisan pada satu kondisi tertentu. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 7), sampel uji pada lampiran B (Gambar 5b). Berikut ini merupakan prosedur kerja pengujian *Abrasion Resistance Test* DIN 53516:

- Sebelum diuji ketahanan pengikisan, sampel ditimbang terlebih dahulu sebagai berat awal dan ditimbang di dalam air untuk dapat diketahui densitasnya.
- Setelah ditimbang, sisipkan sampel pada tempat penjepit sampel dan kencangkan sekrupnya hingga pas.
- Menekan tombol reset dan run pada alat kemudian tunggu mesin hingga berhenti berputar.
- Menimbang sampel pada neraca kemudian catat.

3.4.3.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengukur kekerasan vulkanisat karet. Prinsip pengujiannya adalah dengan mengukur kekerasan dari sampel dengan cara mengukur ke dalam penetrasi suatu jarum (*indentor*) yang masuk ke dalam permukaan sampel yang disebabkan oleh suatu benda yang diberikan pada jarum tersebut. Pengujian kekerasan menggunakan alat *durometer hardness* ASTM D 2240 tipe shore A. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 9), sampel uji pada lampiran B (Gambar 5c). Berikut ini merupakan prosedur kerja pengujian kekerasan berdasarkan ASTM D 2240:

- Sebelum pengujian kekerasan dilakukan, sampel terlebih dulu dikondisikan di dalam desikator selama 24 jam pada suhu 23°C.
- Memasang *durometer* pada *operating stand*.
- Meletakkan sampel pada *universal specimen stage*.
- Satu kali pengujian sampel diambil 5 titik dengan masing-masing jarak titik 6 mm.
- Data diambil pada saat 1 detik setelah *indentor* mengenai sampel.

3.4.3.4 Pengujian Pantul (*Rebound Resilience Test*)

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan vulkanisat karet untuk menyerap guncangan atau kekuatan. Ketahanan bahan didefinisikan sebagai kemampuan untuk menahan guncangan dan mengurangi efeknya. Berdasarkan ASTM D 2632, sampel yang diuji cukup 3 sampel per *batch*. Lakukan pengujian pada 1 sampel sebanyak 6 kali, dan catat hasil uji/data ke 4,5, dan 6, untuk data ke 1,2, dan 3 sebagai stabilisasi sampel. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 8), sampel uji pada lampiran B (Gambar 5c). Berikut ini merupakan prosedur kerja alat pengujian pantul:

- Memastikan *encoder* di layar sebesar ± 00501 dan $+090,2^\circ$ dengan cara menguji sampel pembandingan.
- Memasukkan sampel ke tempat sampel kemudian kencangkan setiap mur agar sampel tidak lepas.
- Menekan tombol yang ada pada belakang alat kemudian tunggu hingga data muncul di layar.

3.4.3.5 Pengujian Pemampatan (*Compression Set Test*)

Pengujian pemampatan ini dilakukan untuk mengukur perubahan bentuk karena kompresi, yang disebabkan karena pemanasan dari vulkanisat karet yang dikenakan pampatan tetap. Pengujian pemampatan ini menggunakan alat pemampat (*compression device*) dan membutuhkan tiga buah sampel. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran C (Gambar 10), sampel uji pada lampiran B (Gambar 5c). Berikut ini merupakan prosedur kerja pengujian pemampatan:

- Mengukur sampel yang akan diuji mulai dari ketebalan samping kanan, tengah, samping kiri dengan menggunakan *caliper* (jangka sorong).
- Memasukkan sampel ke dalam alat pemampat.
- Memasukkan *spacer* 0,95 mm dan pelat pemampatnya lalu kencangkan bautnya.
- Memasukkan alat pemampat yang sudah diisi sampel ke dalam *oven* selama 24 jam dengan suhu 40°C.
- Setelah 24 jam sampel dikeluarkan dari alat pemampat dan didiamkan selama 30 menit.
- Mengukur sampel dan catat sebagai hasil uji.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan kompon karet dengan bahan-bahan seperti tabel formulasi di bawah ini. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan komposisi karet alam dan karet *butadiene* dengan tujuan optimasi formula kompon karet untuk tapak ban pesawat terbang. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan hasil yang optimum serta memenuhi target spesifikasi teknis yang diinginkan.

4.1 Target Spesifikasi Teknis

Target yang harus dicapai oleh penelitian ini adalah:

- *Hardness* : 60–65 Shore A
- *Tensile Strength* : >20 MPa
- *Elongation at Break* : 500 % max
- *Abrasion resistance* : >100 % ARI
- *Compression set Loss* : 20 % max
- *Rebound Resilience* : 45–70 %
- *Aging Loss (H, TS, Abrasion, Rebound)*
at 70°C, 48 jam : 20 % max

4.2 Hasil Karakterisasi

Karakterisasi kompon karet dibagi menjadi dua, yang pertama adalah karakterisasi pemrosesan kompon karet meliputi pengujian *rheometer* dan *mooney viscometer*. Sedangkan yang kedua adalah karakterisasi karet vulkanisat meliputi *rebound resilience*, *hardness*, *abrasion resistance*, *compression set* dan *tensile strength*. Pengujian vulkanisat karet dilakukan sebelum dan sesudah *aging* berupa gambar bentuk diagram dan grafik dimana hasil sebelum *aging* terletak di sisi kiri dan hasil setelah *aging* terletak di sisi kanan.

Tujuan dilakukannya *aging* adalah untuk mengetahui penuaan dan mengetahui berapa lama material tersebut akan bertahan dalam suhu tertentu dengan formulasi

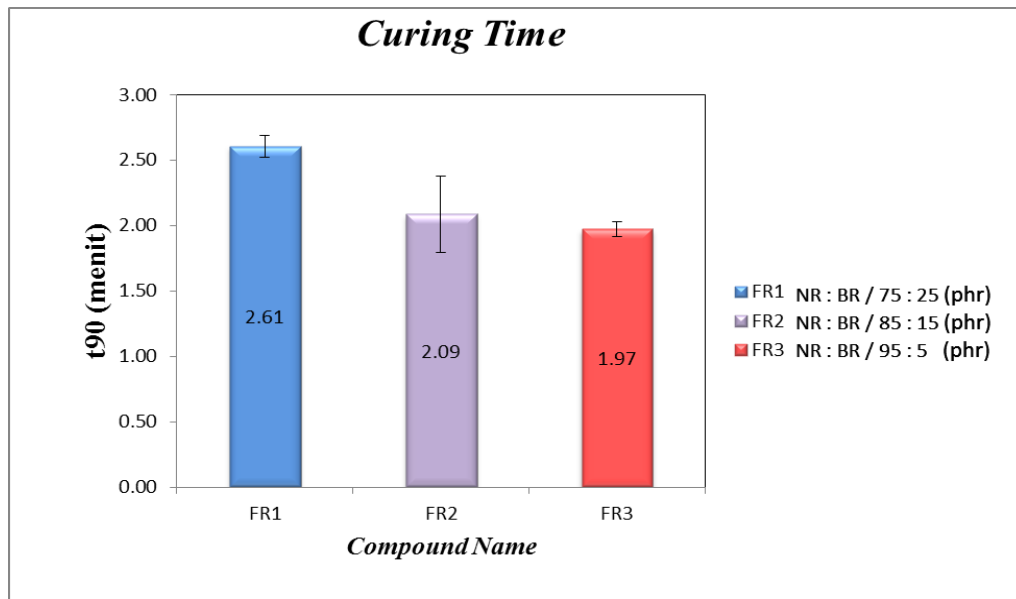
yang telah ditentukan. Ketahanan pada material kompon karet, yang nantinya dapat diketahui dan diukur ketahanan material tersebut terhadap degradasi oleh oksidasi pada suhu yang cukup tinggi bisa sampai 300°C atau dalam jangka waktu yang telah ditentukan sehingga dapat diketahui perbedaan antara sebelum dan sesudah pengujiannya. Namun, pada penelitian ini *aging* hanya dilakukan pada suhu 70°C dan waktu selama 48 jam.

Tabel IV.1 Perbandingan Hasil Keseluruhan Pengujian Kompon Karet Sebelum dan Setelah *Aging* dengan Standar Teknis Tapak Ban Pesawat

Karakterisasi Karet Vulkanisat	Standar Teknis Tapak Ban Pesawat	Sebelum <i>Aging</i>			Setelah <i>Aging</i>		
		FR1	FR2	FR3	FR1	FR2	FR3
<i>Rebound Resilience</i> (%)	45–70	49,96	47,91	49,34	51,65	49,39	50,86
<i>Hardness</i> (shore A)	60–65	54,90	58,07	55,60	39,77	44,32	39,93
<i>Abrasion Resistance</i> (% ARI)	>100	143	117	130	132	114	104
<i>Compression</i> (%)	20	17,1	21,49	12,58	5,1	9,03	10,21
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	>20	18,94	19,24	19,29	21,37	23,37	25,35

4.2.1 Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Waktu Matang (*Curing Time*) Kompon Karet

Hasil uji *rheometer* kompon karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat terbang pada berbagai variasi komposisi NR-BR disajikan dalam gambar IV.1.

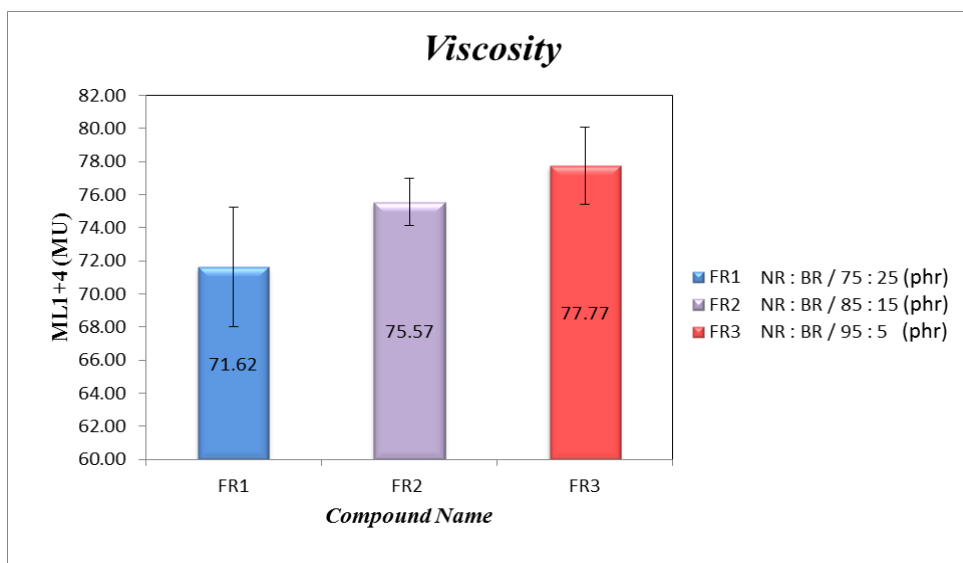


Gambar IV.1 Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Waktu Matang (Curing Time) Kompon Karet

Berdasarkan gambar IV.1, nilai *curing time* yang dihasilkan oleh sampel FR1 sebesar 2,61 menit= 2 menit 37 detik, FR2 sebesar 2,09 menit= 2 menit 6 detik, dan FR3 sebesar 1,97 menit= 2 menit. Nilai *curing time* pada uji *rheometer* di penelitian ini tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi perbandingan karet alam (NR) dengan karet *butadiene* (BR) yang digunakan dalam penelitian ini tidak mempengaruhi waktu matang kompon karet secara signifikan. Hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada lampiran A (Tabel 1).

4.2.2 Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Viskositas Kompon Karet

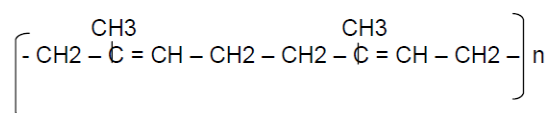
Hasil uji *mooney viscosity* kompon karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat terbang pada berbagai variasi komposisi NR-BR disajikan dalam gambar IV.2.



Gambar IV.2 Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Viskositas Kompon Karet

Dari gambar IV.2, pengujian viskositas FR1 menghasilkan nilai sebesar 71,62 MU, FR2 sebesar 75,57 MU, dan FR3 sebesar 77,77 MU. Nilai sampel tertinggi yaitu FR3. FR3 mengandung komposisi NR yang paling tinggi yaitu 95 phr. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran A (Tabel 2).

Hal ini dikarenakan NR terdiri dari *polyisoprene* dimana "n" adalah derajat polimerisasi yaitu bilangan yang menunjukkan jumlah monomer dalam rantai polimer. Nilai "n" dalam karet alam berkisar antara 3000–15000. Viskositas karet berkorelasi dengan nilai "n". Semakin besar nilai n akan semakin panjang rantai molekul karet menyebabkan viskositas *mooney* semakin tinggi (Ompusunggu, M. 1987). Nilai *mooney viscosity* NR berkisar antara 60–100 MU.



Gambar IV.3 Rumus bangun NR/*Polyisoprene* (Ompusunggu, M. 1987)

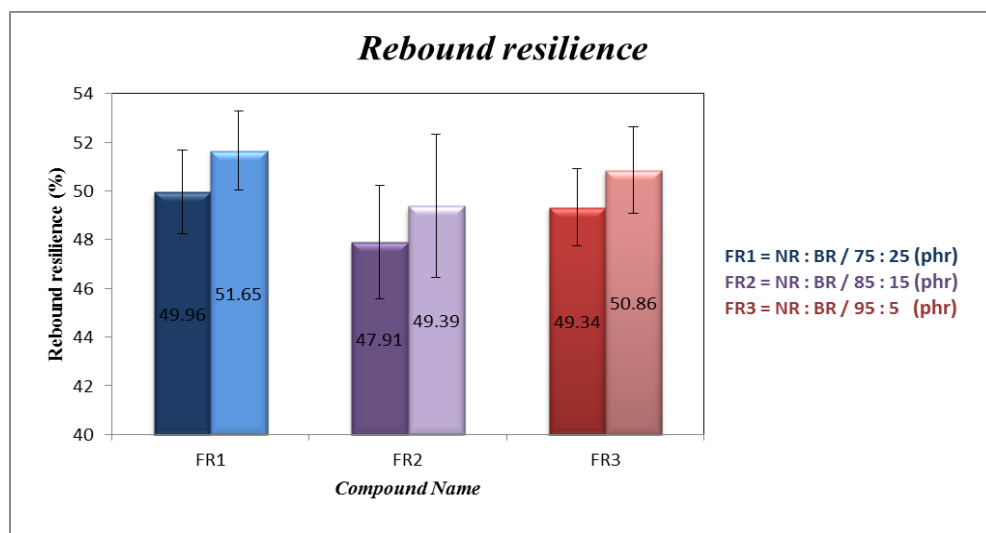
Sedangkan, karet *butadiene* memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan karet NR, hal ini karena BR merupakan karet sintetis dimana berat

molekulnya dapat dikontrol pada saat proses pembuatannya. Nilai *mooney viscosity* BR berkisar antara 30–45 MU.

4.2.3 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Vulkanisat yang Dihasilkan

4.2.3.1 *Rebound Resilience*

Resilience adalah kecepatan dari karet untuk kembali ke kondisi awal jika karet tersebut ditekan atau ditarik. Perbandingan antara energi yang dikembalikan dengan energi yang diberikan pada saat karet dipukul (ditekan) dengan pendulum disebut *rebound resilience*. Hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada lampiran A (Tabel 7). Hasil uji *rebound resilience* vulkanisat karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat terbang pada berbagai variasi komposisi NR-BR disajikan dalam gambar IV.4.



Gambar IV.4 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Uji *Rebound Resilience*

Berdasarkan gambar IV.4, variasi kompon NR dan BR sampai dengan penambahan BR hingga 25 phr pada penelitian ini tidak mempengaruhi nilai *rebound resilience* yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan kedua karet yang digunakan pada penelitian ini yaitu NR dan BR memiliki nilai *rebound resilience* yang bagus.

Tabel IV.2 Physical and Mechanical Properties Natural Rubber dan Butadiene Rubber

<i>Polymer</i>	<i>Polyisoprene (C₅H₈)_n</i>	<i>Polybutadiene (C₄H₆)_n</i>
<i>Tensile Strength range</i>	500–3500 Psi (3,5-25 MPa)	500–2000 Psi (3,5-15 MPa)
<i>Elongation range</i>	300–900 %	450–650 %
<i>Abrasion Resistance</i>	<i>Good to Excellent</i>	<i>Fair to Excellent</i>
<i>Compression Set</i>	<i>Excellent</i>	<i>Good to Excellent</i>
<i>Rebound Resilience</i>	<i>Excellent</i>	<i>Fair to Excellent</i>
<i>Hardness range</i>	30–95 shore A	45–80 shore A
<i>Maximum for Continuous Use</i>	180°F (80°C)	200°F (93°C)
<i>Minimum for Continuous Use</i>	-60°F (-50°C)	-90°F (-32°C)

Sumber: Robinson *Rubber Products*, 2005

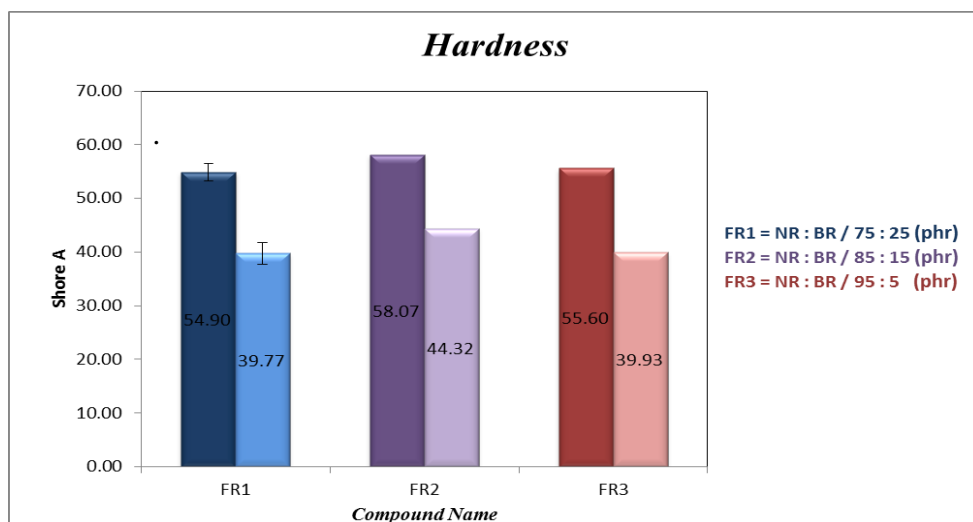
Nilai *rebound resilience* mengalami peningkatan setelah *aging*. Hal ini kemungkinan disebabkan terbentuknya ikatan silang (*crosslink*) lebih lanjut pada saat *aging* suhu 70°C selama 48 jam sehingga meningkatkan sifat elastisitas karet. Kompon karet untuk vulkanisir tapak pesawat ban hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat *rebound resilience* vulkanisat karet baik sebelum dan setelah *aging* masih memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis, yang mensyaratkan nilai *rebound resilience* berkisar antara 45–70 %. Nilai *rebound resilience* vulkanisat karet untuk vulkanisir tapak pesawat ban sebelum *aging* adalah 47,91 %–49,96 % dan setelah *aging* adalah 49,39 %–51,65 %. Dan untuk *aging loss* juga masih memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis, yang mensyaratkan *aging loss* pada suhu 70°C dan waktu 48 jam sebesar 20 % max, karena yang terjadi yaitu peningkatan nilai *rebound resilience* setelah *aging* bukan penurunan, seperti yang terlihat pada Tabel IV.3.

Tabel IV.3 Rebound Increasing After Aging

No.	Nama Kompon	<i>Rebound Increasing After Aging (%)</i>
1	FR1	3,38
2	FR2	3,09
3	FR3	3,08

4.2.3.2 Hardness

Kekerasan vulkanisat karet merupakan besarnya pergerakan jarum skala penunjuk ukuran, akibat besarnya tekanan balik dari vulkanisat karet terhadap jarum penekan yang melalui suatu mekanisme alat yang dihubungkan dengan pegas yang akan menggerakkan jarum penunjuk ukuran kekerasan, (Rahmaniar dan Popy M, 2010). Hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada lampiran A (Tabel 6). Hasil uji *hardness* kompon karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat terbang pada berbagai variasi komposisi NR-BR disajikan dalam gambar IV.5.



Gambar IV.5 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Uji *Hardness*

Dari hasil analisa statistik *error bar* pada gambar IV.5, variasi komposisi NR dan BR pada penelitian ini tidak mempengaruhi nilai *hardness* secara signifikan baik sebelum dan sesudah *aging*. Namun, nilai *hardness* mengalami penurunan setelah *aging*. Penambahan *coupling agent* pada kompon karet cenderung dapat meningkatkan kekerasan dari karet. Hal ini karena NR merupakan material non polar sedangkan *filler* merupakan material polar, sehingga gaya adhesi dan interfase antara polimer dengan bahan pengisi sangat lemah, oleh karena itu diperlukan zat penggabung (*coupling agent*) yang berfungsi sebagai jembatan penyambung perbedaan sifat antara karet alam dengan bahan pengisi tersebut. Fungsi dasar dari *coupling agent* adalah untuk meningkatkan gaya adhesi dan menurunkan energi permukaan antara *filler* dengan karet alam (Nakason, 2006). Kompon karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat

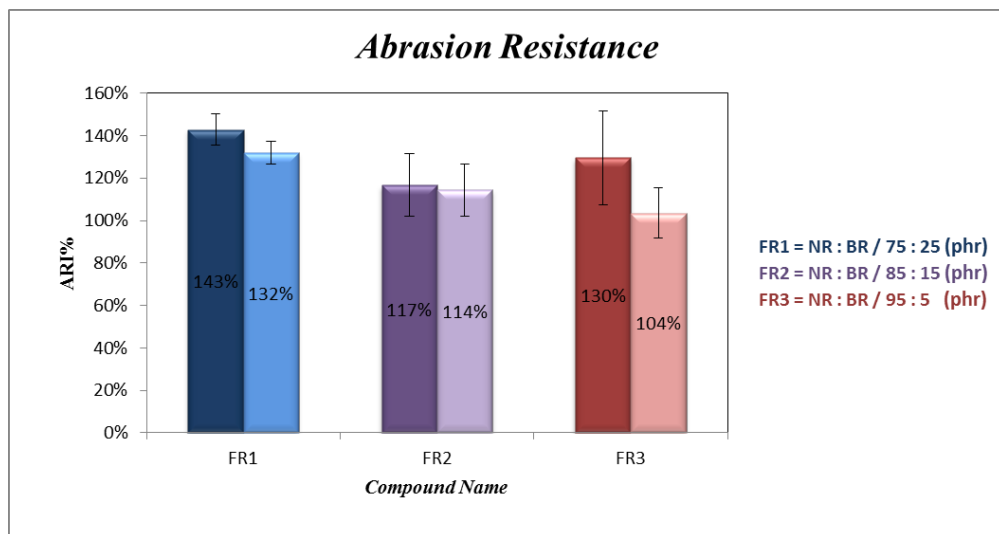
hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi yang diteliti baik sebelum dan setelah *aging* belum memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis, yang mensyaratkan *hardness* 60–65 shore A. Nilai *hardness* kompon karet untuk vulkanisir tapak pesawat ban sebelum *aging* adalah 54,90–58,07 shore A dan setelah *aging* adalah 39,77–44,32 shore A. Dan untuk *aging loss* belum memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis, yang mensyaratkan *aging loss* pada suhu 70°C dan waktu 48 jam sebesar 20 % max yang dapat dilihat pada Tabel IV.4. Hal ini merupakan suatu indikasi bahwa sifat kekerasan vulkanisat karet pada berbagai variasi komposisi karet NR dan BR dalam penelitian ini tidak tahan terhadap *aging* pada suhu 70°C dan waktu 48 jam.

Tabel IV.4 *Hardness Loss After Aging*

No.	Nama Kompon	<i>Hardness Loss After Aging</i> (%)
1	FR1	27,56
2	FR2	23,68
3	FR3	28,18

4.2.3.3 *Abrasion Resistance*

Nilai ketahanan abrasi merupakan sifat penting yang harus dimiliki oleh produk karet terutama ban pesawat terbang, jika ketahanan abrasi rendah maka produk yang dihasilkan akan mudah aus. Hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada lampiran A (Tabel 5). Hasil uji *abrasion resistance* kompon karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat terbang pada berbagai variasi komposisi NR-BR disajikan dalam gambar IV.6.



Gambar IV.6 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Uji Abrasion Resistance

Berdasarkan gambar IV.6, penambahan BR hingga 25 phr menghasilkan nilai ketahanan abrasi tertinggi yaitu rata-rata 143 % (sebelum *aging*) dan 132 % (sesudah *aging*). Nilai *abrasion resistance* mengalami penurunan setelah *aging*. Vulkanisat karet yang telah mengalami proses vulkanisasi memiliki ketahanan abrasi yang lebih baik dibandingkan kompon karet yang belum mengalami proses vulkanisasi. Hal ini disebabkan adanya ikatan silang yang terbentuk setelah proses vulkanisasi terjadi.

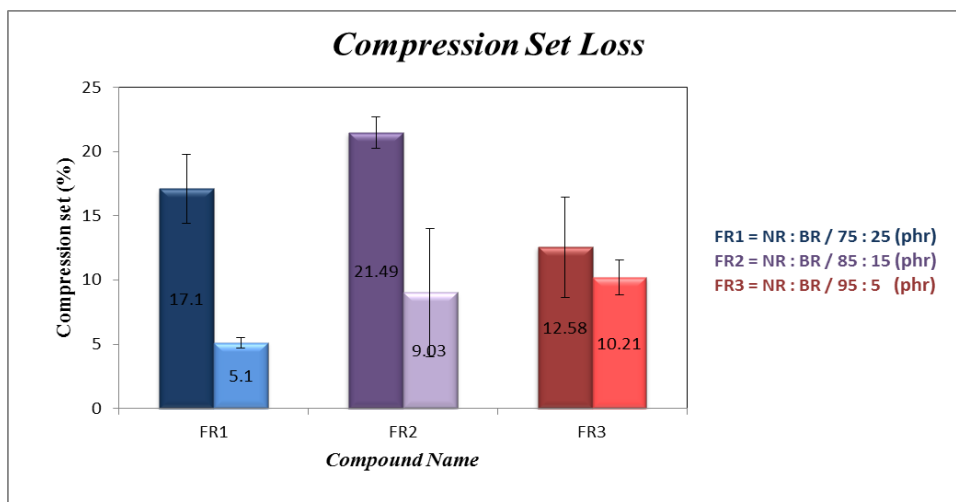
Selain ikatan silang, penambahan BR dapat meningkatkan ketahanan abrasi, karena BR memiliki nilai abrasi yang baik disebabkan rantai polimer yang linear dan seragam. Kompon karet untuk vulkanisir tapak pesawat ban hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi yang diteliti baik sebelum *aging* dan setelah *aging* dapat memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis, yang mensyaratkan nilai *abrasion resistance* >100 % ARI. Untuk *aging loss*, hanya kompon FR3 yang belum memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis, yang mensyaratkan *aging loss* pada suhu 70°C dan waktu 48 jam sebesar 20 % max yang dapat dilihat pada Tabel IV.5. Hal ini menunjukkan bahwa sifat ketahanan abrasi dari vulkanisat karet pada penelitian ini masih cukup tahan terhadap *aging* walau hanya FR3 yang mengalami penurunan lebih dari yang dipersyaratkan.

Tabel IV.5 Abrasion Loss After Aging

No.	Nama Kompon	Abrasion Loss After Aging (%)
1	FR1	7,69
2	FR2	2,56
3	FR3	20,00

4.2.3.4 Compression Set

Compression adalah pengujian yang dilakukan untuk mengukur perubahan bentuk karena kompresi, yang disebabkan karena pemanasan dari karet vulkanisasi yang dikenakan *compression set* (pampatan tetap) (Maksum et al., 2015). Hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada lampiran A (Tabel 4). Hasil uji *compression* kompon karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat terbang pada berbagai variasi komposisi NR-BR disajikan dalam gambar IV.7.



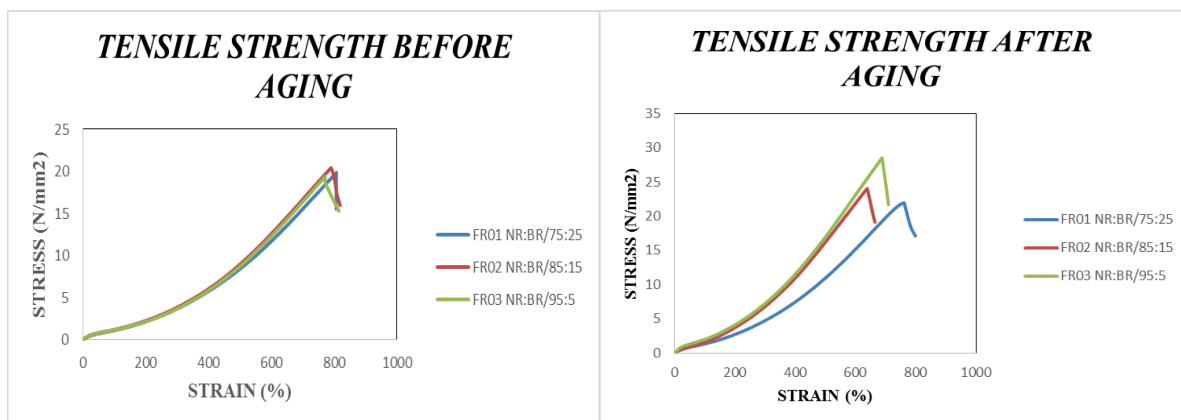
Gambar IV.7 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Uji Compression

Berdasarkan gambar IV.7, nilai *compression set loss* paling baik yaitu sebesar 12,58 % (sebelum *aging*), didapat dari kompon karet yang mengandung komposisi NR paling banyak. Hal yang terjadi dimana nilai *compression set* terlihat semakin kecil setelah *aging* dibandingkan sebelum *aging*. Hal ini kemungkinan disebabkan terbentuknya ikatan silang (*crosslink*) lebih lanjut pada saat *aging* sehingga meningkatkan sifat elastisitas karet. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi NR dan BR sampai penambahan BR 25

phr, masih memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis, yang mensyaratkan *compression set loss* 20 % max, bahkan pada penelitian ini tidak ada *compression set loss* melainkan terjadi peningkatan sifat *compression set*, dengan terlihatnya *compression set* yang lebih baik setelah *aging* dibandingkan sebelum *aging*.

4.2.3.5 Tensile Strength

Tensile strength merupakan tegangan maksimum material untuk dapat menahan ketika sedang diregangkan atau ditarik sebelum putus (Hara Novarisa N, 2014). Alat yang digunakan untuk melakukan uji *tensile* adalah *Universal Testing Machine* (UTM). Hasil uji tarik yang diperoleh, berupa grafik hubungan tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*) dari masing-masing spesimen uji baik sebelum dan sesudah *aging*. Hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada lampiran A (Tabel 3). Hasil uji *tensile strength* kompon karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat terbang pada berbagai variasi komposisi NR-BR disajikan dalam gambar IV.8.



Gambar IV.8 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Uji Tensile Strength

Dari gambar IV.8, dapat dilihat pengaruh NR-BR pada kompon karet terhadap *tensile strength*-nya. Dari grafik terlihat bahwa variasi komposisi NR dan BR sampai dengan penambahan BR 25 phr tidak mempengaruhi nilai *tensile strength* secara signifikan. Besarnya nilai *tensile strength* dapat dilihat juga pada Tabel IV.6.

Tabel IV.6 Hasil Pengujian *Tensile Strength*

No.	Nama Kompon	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	
		<i>Before Aging</i>	<i>After Aging</i>
1	FR1	18,9349284	21,36766714
2	FR2	19,24329292	23,36821633
3	FR3	19,28986276	25,35023989

Nilai *tensile strength* setelah aging juga terlihat lebih baik dibandingkan sebelum aging. Karena, *aging* pada suhu 70°C selama 48 jam kemungkinan menyebabkan terjadinya *curing* lebih lanjut dan kemungkinan masih ada terbentuknya ikatan silang (*crosslink*) sehingga meningkatkan sifat elastisitas karet. Kompon karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi yang diteliti telah memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis yaitu >20 MPa. Untuk *aging loss*, semua kompon telah memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis, yang mensyaratkan *aging loss* pada suhu 70°C dan waktu 48 jam sebesar 20 % max, bahkan pada penelitian ini tidak ada *aging loss* untuk *tensile* melainkan terjadi kenaikan nilai *tensile strength* setelah aging seperti yang terlihat pada Tabel IV.7.

Tabel IV.7 *Tensile Increasing After Aging*

No.	Nama Kompon	<i>Tensile Increasing After Aging</i> (%)
1	FR1	12,85
2	FR2	21,44
3	FR3	31,42

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi NR-BR untuk FR1, FR2 dan FR3 terhadap sifat pemrosesan (viskositas dan waktu matang) dan sifat mekanik vulkanisat kompon karet untuk tapak ban pesawat terbang memberikan pengaruh sebagai berikut:
 - Pada pemrosesan, FR1 menghasilkan viskositas yang rendah yaitu 71,62 MU dan untuk waktu matang tidak berubah secara signifikan,
 - Sifat mekanik paling mendekati standar teknis tapak ban pesawat adalah FR1 dengan nilai *abrasion resistance* 143% ARI, *compression set* 17,1 %, dan *tensile strength* 18,94 MPa.
 - Variasi komposisi NR dan BR pada penelitian ini tidak mempengaruhi nilai *hardness* dan *rebound resilience* secara signifikan.
2. Pengusangan (*aging*) memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik vulkanisat kompon karet FR1, FR2 dan FR3, khususnya *hardness* dan *abrasion resistance* yang mana sifat-sifat tersebut mengalami penurunan.

5.2. Saran

1. Untuk melihat sifat vulkanisat karet terhadap *aging* perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan meningkatkan suhu dan waktu *aging*, dengan demikian akan terlihat lebih jelas sifat fisik apa saja yang tahan terhadap *aging* dan yang tidak tahan terhadap *aging*.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan komposisi maupun jenis bahan pengisi (*carbon black* dan silika) dan penambahan *coupling agent* untuk dapat mencapai nilai *hardness* yang dipersyaratkan 60 - 65 shore A.

DAFTAR PUSTAKA

- Abednego, J. G. 1990. *Pembuatan Kompon Karet*. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.
- Alam, Pocut Nurul dan Teuku Rihayat. 2007. *Sintesa dan Karakteristik Sifat Mekanik Karet Nanokomposit* (Jurnal). Aceh: Universitas Syiah Kuala Banda Aceh.
- Alfa, A. A., I. Sailah, dan Y. Syamsu. 2003. *Pengaruh Perlakuan Lateks Karet Alam dengan H_2O_2 -NaOCl Terhadap Karakter Lateks dan Kelarutan Karet Siklo dari Lateks*. Jakarta: Simposium Nasional Polimer IV.
- Anonym. 2005. *Robinson Rubber Products-Polybutadiene Rubber*. Inc: Amerika Serikat. Robinson Rubber Products Company.
- Anonym. 2005. *Rubber Material Selection Guide NR or Natural Rubber Robinson Rubber Products*. Inc: Amerika Serikat. Robinson Rubber Products Company.
- Anonym. 2007. *Gambaran Sekilas Industri Karet*. Jakarta: Departemen Perindustrian.
- Arbi, Sigit Surya. 2010. *Pengaruh Waktu Pemeraman di Separator Terhadap Bilangan Asam Pada Resin di Pabrik Resiprena* (Karya Ilmiah). Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Arizal, Ridha. 2015. *Bahan Kimia Kompon Karet*. Jakarta: Pelatihan Desain Kompon Barang Jadi Karet (*Speciality Rubber*).
- Blow, C.M. 2001. *Rubber Technology and Manufacture, 2nd Edition*. London: Butterworth Scientifics.
- Bridgestone Corporation. 2014. *Basic Structure-Radial Tires*. Bridgestone Corporation: USA.

- Craig, A. S. 1969. *Rubber Technology, A Basic Course*. Philosophical Library: London.
- Hadiwijaya, Caroline. 2015. *Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Karet Alam/Monmorillonite Menggunakan Polietilen Glikol Sebagai Pemodifikasi Organik* (Skripsi). Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Handoko, B. 2003. *Proses Pembuatan Barang Jadi Lateks*. Bogor: Balai Penelitian dan Teknologi Karet Bogor.
- Hofman, J. A., 1989. *Rubber Technology Handbook*, Hauser Publisher. New York: Oxford University.
- Honggokusumo, Suharto. 1994. *Sistem vulkanisasi*, Dalam kumpulan makalah kursus pengolahan barang jadi karet. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.
- Hulu, Temali. 2013. *Pengaruh Ekstrak Nenas (Ananas sativus) Sebagai Koagulan Terhadap Kualitas Lembaran Karet* (Tesis). Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Lee KS, Whelan A. 1997. *Development In Rubber Technology: Improving Product Performance*. App Sci Pub Ltd, London.
- Long, Harry. 1985. *Basic Compounding and Processing of Rubber*. Trenton: New Jersey.
- Maksum, R. Bambang Suriyadi, dan Victor Tulus PS. 2015. *Petunjuk Praktikum Desain Kompon Barang Jadi Karet*. Jakarta: Balai Besar Pendidikan dan Pelatihan Ekspor Indonesia.
- Matondang, Winny Mustika. 2010. *Penentuan Kadar Amoniak (NH₃) Pada Lateks Kompon Terhadap Benang Karet di PT Industri Karet Nusantara* (Karya Ilmiah). Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Nakason, C., Saiwari, S. & Kaesaman, A. (2006). *Thermoplastic Vulcanizates Based on Maleated Natural Rubber/Polypropylene Blends: Effect of Blend*

Ratios on Rheological, Mechanical, and Morphological Properties.
Polymer Engineering and Science, 46, 594-600.

Nanda, Hara Novarisa., Bahruddin dan Ahmad Fadli. 2014. *Pengaruh Maleated Natural Rubber Terhadap Morfologi dan Sifat Thermoset Rubber Dengan Filler Abu Sawit-Carbon Black* (Jurnal). Pekanbaru: Universitas Riau.

Nocil. 2014. *Vulcanization and Accelerators*. Arvind Mafatlal Group: India.

Ompusunggu, M. 1987. *Pengetahuan Lateks Hevea*. Sungei Putih, Medan: Lembaga Pendidikan Perkebunan (LPP).

Putra, Anna Arthdi et al. 2013. *(Komponen Pesawat Terbang) Ban Pesawat dan Strukturnya* (Makalah). Jakarta.

Putrawan, Abie., Dibagus Aryostyo, Antonius Tyaswidyono. 2014. *Major Assignment Vulkanisir Ban AE4060-Kelaikan Udara*. Institut Teknologi Bandung: Bandung.

Rahmaniar., dan Marlina, Popy. 2010. *Pengaruh Ukuran Partikel Nano Sulfur Terhadap Sifat Fisik Karet Komponen Kendaraan Bermotor*. Jurnal of Industrial Research, Vol. IV, (April 2010). Jakarta.

Rodgers B. 2004. *Rubber Compounding: Chemistry and Applications*. Marcel Dekker, Inc, New York.

Saputra, Dita Adi. 2015. *Industri Karet dan Pengolahannya*. PTM-BPPT: Tangerang.

Sasongko, Atur Riga. 2012. *Studi Pengaruh Ukuran Partikel dan Jumlah phr Carbon Black Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Sifat Mekanik Produk Karet Alam* (Skripsi). Depok: Universitas Indonesia.

Sidabutar, Victor Tulus Pangapoi. 2014. *Kajian Literatur Modifikasi Kekerasan Kompon Ditinjau Dari Elastomer, Bahan Pengisi, Process Oil dan Accelerator* (Karya Ilmiah). Jakarta: Balai Besar Pendidikan dan Pelatihan Ekspor Indonesia Kementerian Perdagangan Republik Indonesia.

- Simanullang, Ady Frenly. 2015. *Pemanfaatan Serbuk Ban Bekas Sebagai Bahan Isian Karet Lembaran* (Tesis). Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Singarimbun, William Prodis. 2011. *Analisa Kadar Nitrogen Dalam Crumb Rubber Mutu SIR 20 dan Crumb Rubber Mutu SIR 3 Metode Kjeldhal* (Karya Ilmiah). Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Sudrajat, A Bagus Nur. 2014. *Pengaruh Suhu Terhadap Ketebalan, Kehalusan Permukaan dan Bentuk Karet Kompon* (Laporan Praktikum). Jawa Timur: Universitas Jember.
- Syamsu, Y. 2003. *Perbaikan Sifat Ketahanan Minyak Karet Alam melalui Modifikasi dengan Senyawa Vinilik*. Balai Penelitian dan Teknologi Karet. Bogor.
- Tarachiwin, L., Sakdapipanich, J., Ute, K., Kitayama, T., Tanaka, Y., *Structural characterization of α -terminal group of natural rubber: Decomposition of branch-points by phospholipase and chemical treatments*. J. Biomacromolecules, 2005. 6: p. 18858-1863.
- Termal A, Schaller, R. Moctil M and Kern W. 2005, *Determination fo residual vulcanization accelerations in Natural Rubber Film Using FTIR Spektroskopy*. Journal of Rubber Chemistry and Technology, 78 (1) : 28-41.
- Weast, Robert C. Ed. (1972-1973). *Handbook of Chemistry and Physics*. 53rd Edition, CRC Press, Inc. Cleveland: Ohio.

LAMPIRAN A
HASIL DAN DATA PERCOBAAN

Tabel 1. Hasil Uji Kematangan Sampel Dari Alat *Moving Die Rheometer*

Kompon	No kompon	ts2	Avg ts2	t90	Avg t90	stdev t90	S' min	Avg S'min	S' max	Avg S'max	$\Delta S'$	Avg $\Delta S'$	t90 - ts1
FR1	1	1.07	1.11	2.59	2.61	0.09	2.47	2.46	12.52	12.15	10.05	9.69	1.94
	2	1.21		2.70			2.44		11.70		9.26		1.90
	3	1.06		2.53			2.47		12.23		9.76		1.93
FR2	1	0.65	0.86	1.77	2.09	0.29	2.49	2.36	14.44	12.81	11.95	10.46	1.35
	2	0.97		2.15			2.32		11.72		9.40		1.48
	3	0.96		2.34			2.26		12.28		10.02		1.79
FR3	1	0.78	0.83	1.92	1.97	0.06	2.16	2.26	11.95	11.90	9.79	9.63	1.37
	2	0.82		2.03			2.33		12.27		9.94		1.54
	3	0.88		1.97			2.30		11.47		9.17		1.31

Tabel 2. Hasil Uji Viskositas Sampel Dari Alat *Mooney Viscometer*

No	Kompon	No sampel	Bagian	ML1+4	Avg ML (MU) per sampel	Avg ML (MU)	Stdev ML
1	FR1	1	atas	70.98	68.85	71.62	3.61
			tengah	67.53			
			bawah	68.04			
		2	atas	68.45	70.17		
			tengah	68.91			
			bawah	73.15			
		3	atas	76.18	75.85		
			tengah	76.26			
			bawah	75.10			
2	FR2	1	atas	76.84	77.40	75.57	1.42
			tengah	77.50			
			bawah	77.87			
		2	atas	74.31	74.71		
			tengah	74.77			
			bawah	75.04			
		3	atas	74.48	74.60		
			tengah	74.48			
			bawah	74.85			
3	FR3	1	atas	79.56	79.06	77.77	2.34
			tengah	78.95			
			bawah	78.66			

No	Kompon	No sampel	Bagian	ML1+4	Avg ML (MU) per sampel	Avg ML (MU)	Stdev ML
		2	atas	79.67	79.57		
			tengah	79.53			
			bawah	79.52			
		3	atas	74.64	74.68		
			tengah	74.52			
			bawah	74.87			

Tabel 3. Hasil Uji Tarik Dari Alat *Universal Testing Machine* (UTM)

a. Sebelum *Aging*

No	Sampel no	Max Load (N)	Area (mm ²)	Max Stress = Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	AVERAGE per sampel	Rata-rata Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	Keterangan	Standar Deviasi	Data yang mendekati rata-rata Tensile Strength
FRO1	FRO1-1.1	490.613	23.40891	20.95838721	18.998813	18.9349284	Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strenght adalah	1.80499802	18.9405769
	FRO1-1.2	379.365	22.01355	17.23324952					17.2334883
	FRO1-1.3	419.585	22.31265	18.80480355					18.8049078
	FRO1-2.1	420.671	23.19946	18.13279275	17.291444				18.1330025
	FRO1-2.2	418.442	24.23155	17.26847849					17.2683938
	FRO1-2.3	399.715	24.26477	16.4730595					16.4732266

No	Sampel no	Max Load (N)	Area (mm ²)	Max Stress = Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	AVERAGE per sampel	Rata-rata Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	Keterangan	Standar Deviasi	Data yang mendekati rata-rata Tensile Strength
	FRO1-3.1	493.916	24.87514	19.85580785	20.514528		sampel FRO1-3.1		18.9366824 ^{*)}
	FRO1-3.2	523.954	24.15393	21.69228776					18.9418223
	FRO1-3.3	485.811	24.29603	19.99548897					18.9367889
FRO2	FRO2-1.1	425.539	21.89338	19.43688001	18.730072	19.24329292	Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strenght adalah sampel FRO2-3.3	1.25440614	19.2456589
	FRO2-1.2	422.748	21.74411	19.44195463					19.2451827
	FRO2-1.3	374.543	21.63565	17.31138191					17.3114921
	FRO2-2.1	395.438	19.2642	20.5270917	20.299958				19.2445363
	FRO2-2.2	394.926	19.51808	20.23385497					19.2459365
	FRO2-2.3	400.870	19.90523	20.13892831	18.699848				19.2484998
	FRO2-3.1	339.238	18.88176	17.96643957					17.9666219
	FRO2-3.2	349.172	19.7108	17.71475536					17.714937
FRO2-3.3	369.800	18.11116	20.41834979		19.2449271 ^{*)}				
FRO3	FRO3-1.1	440.670	21.584	20.41651223	20.077257	19.28986276	Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strenght adalah sampel FRO3-1.2	0.68264937	19.2929846
	FRO3-1.2	420.051	21.63931	19.41147846					19.2912564 ^{*)}
	FRO3-1.3	418.617	20.51664	20.40377957					19.3034318
	FRO3-2.1	367.735	20.94865	17.55411447	18.928075				17.548715
	FRO3-2.2	417.440	22.27919	18.73676736					18.7367526
	FRO3-2.3	412.075	20.10775	20.49334212	18.864257				19.292634
	FRO3-3.1	372.589	19.59467	19.01481372					19.0150618
	FRO3-3.2	386.659	20.80093	18.58854388					18.5884283

No	Sampel no	Max Load (N)	Area (mm ²)	Max Stress = Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	AVERAGE per sampel	Rata-rata Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	Keterangan	Standar Deviasi	Data yang mendekati rata-rata Tensile Strength
	FRO3-3.3	368.47	19.40397	18.98941299					18.9896741

Keterangan :

*) data yang mewakili rata-rata dari *Tensile Strength*

b. Setelah *Aging*

No	Sampel no	Max Load (N)	Area (mm ²)	Max Stress = Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	AVERAGE per sampel	Rata-rata Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	Keterangan	Standar Deviasi	Data yang mendekati rata-rata Tensile Strength	
FRO1	FRO1-1.1	379.177	18.92481	20.03597394	21.2315021	21.36766714	Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strength adalah sampel FRO1-3.3	1.2889938	20.03582	
	FRO1-1.2	425.228	18.78068	22.64177868					21.3796	
	FRO1-1.3	423.740	20.16201	21.01675379					21.01702	
	FRO1-2.1	452.943	23.5441	19.23806814	21.2388698				19.23835	
	FRO1-2.2	499.252	21.26131	23.48171397					21.3745	
	FRO1-2.3	476.738	22.70524	20.99682716					20.99694	
			473.759	21.77088						21.38007
			466.389	22.07857						21.12431
			490.667	22.29018						21.37296 ^{*)}

No	Sampel no	Max Load (N)	Area (mm ²)	Max Stress = Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	AVERAGE per sampel	Rata-rata Tensile Strength (N/mm ² = Mpa)	Keterangan	Standar Deviasi	Data yang mendekati rata-rata Tensile Strength
FRO2	FRO2-1.1	407.645	18.91205	21.55477592	22.804321	23.36821633	Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strenght adalah sampel FRO2-3.2	1.5826112	21.55466
	FRO2-1.2	450.147	18.49848	24.33426963					23.37355
	FRO2-1.3	419.569	18.62771	22.52391733					22.52385
	FRO2-2.1	414.920	16.87815	24.58326298	24.7981013				23.37701
	FRO2-2.2	407.624	16.26209	25.06590481					23.37434
	FRO2-2.3	394.289	15.934	24.74513619					23.37557
	FRO2-3.1	342.168	16.66214	20.53565748	22.5022267				20.536
	FRO2-3.2	366.191	15.184	24.11689937					23.37217 ^{*)}
	FRO2-3.3	385.571	16.87096	22.8541233					22.85395
FRO3	FRO3-1.1	402.819	15.17391	26.54681621	27.3090043	25.35023989	Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strenght adalah sampel FRO3-1.3	3.2991743	25.36728
	FRO3-1.2	427.480	15.95516	26.79258622					25.35382
	FRO3-1.3	423.486	14.81362	28.58761059					25.35138 ^{*)}
	FRO3-2.1	416.658	15.64622	26.6299464	27.2005189				25.3524
	FRO3-2.2	411.633	14.8764	27.67020247					25.35646
	FRO3-2.3	411.314	15.06567	27.30140777					25.35165
	FRO3-3.1	356.168	15.21352	23.41128154	21.5411964				23.41126
	FRO3-3.2	339.340	16.47811	20.59338116					20.59335
	FRO3-3.3	348.811	16.91703	20.61892661					20.61903

Keterangan :

^{*)} data yang mewakili rata-rata dari *Tensile Strength*

Tabel 4. Hasil Uji Pampatan Dari Alat *Compression Set Tester*

a. Sebelum *Aging*

Kompon	No. Sampel	Tebal awal (To) (mm)			Rata-rata (To)	Tebal spacer (Tn) (mm)	Tebal akhir (Ti) (mm)			Rata-rata Ti	Compression Set C (%)	Avg Compression set (%)	stdev
		I	II	III			I	II	III				
FR1	1	13.51	13.62	13.59	13.5278	9.5	12.98	13.12	13.22	12.94	14.62	17.10	2.71
		13.55	13.48	13.38		9.5	12.81	12.79	13.03				
		13.71	13.45	13.46		9.5	12.79	12.88	12.83				
	2	13.52	13.43	13.31	13.3989	9.5	12.89	12.73	12.67	12.75	16.67		
		13.25	13.36	13.39		9.5	12.64	12.71	12.89				
		13.50	13.41	13.42		9.5	12.66	12.70	12.85				
	3	13.72	13.59	13.63	13.6278	9.5	12.85	12.89	12.89	12.80	20.00		
		13.56	13.54	13.72		9.5	12.85	12.80	12.95				
		13.85	13.49	13.55		9.5	12.71	12.70	12.58				
FR2	1	13.53	13.55	13.51	13.6089	9.5	12.76	12.78	12.80	12.67	22.88	21.49	1.23
		13.61	13.54	13.75		9.5	12.59	12.61	12.62				
		13.75	13.53	13.71		9.5	12.58	12.70	12.58				
	2	13.72	13.53	13.53	13.5944	9.5	12.61	12.68	12.85	12.75	20.54		
		13.52	13.51	13.50		9.5	12.72	12.66	12.71				
		13.87	13.63	13.54		9.5	12.76	12.92	12.87				
	3	13.58	13.54	13.56	13.5689	9.5	12.77	12.88	12.08	12.71	21.05		
		13.56	13.54	13.65		9.5	12.09	12.87	12.94				
		13.57	13.61	13.51		9.5	12.92	12.92	12.94				
FR3	1	13.53	13.28	13.37	13.4211	9.5	12.86	12.87	12.93	12.80	15.73	12.58	3.90

Kompon	No. Sampel	Tebal awal (To) (mm)			Rata-rata (To)	Tebal spacer (Tn) (mm)	Tebal akhir (Ti) (mm)			Rata-rata Ti	Compression Set C (%)	Avg Compression set (%)	stdev
		I	II	III			I	II	III				
		13.44	13.32	13.35		9.5	12.82	12.83	12.87				
		13.31	13.56	13.63		9.5	12.89	12.09	13.08				
	2	13.27	13.25	13.21	13.2300	9.5	12.86	12.87	12.87	12.92	8.22		
		13.22	13.30	13.20		9.5	12.89	12.88	13.07				
		13.19	13.20	13.23		9.5	12.89	12.88	13.10				
	3	13.25	13.20	13.21	13.2378	9.5	12.56	12.61	12.86	12.72	13.79		
		13.17	13.21	13.22		9.5	12.63	12.57	12.76				
		13.13	13.38	13.37		9.5	13.07	12.65	12.79				

b. Setelah Aging

Kompon	No. Sampel	Tebal awal (To) (mm)			Rata-rata (To)	Tebal spacer (Tn) (mm)	Tebal akhir (Ti) (mm)			Rata-rata Ti	Compression Set C (%)	Avg Compression set (%)	stdev
		I	II	III			I	II	III				
FR1	1	13.32	13.27	13.33	13.3156	9.5	13.07	13.05	13.07	13.11	5.50	5.10	0.40
		13.36	13.32	13.56		9.5	13.13	13.15	13.14				
		13.15	13.28	13.25		9.5	13.04	13.18	13.12				
	2	13.06	13.08	13.09	13.1322	9.5	12.88	13.04	12.97	12.95	5.08		
		13.07	13.13	13.14		9.5	12.86	12.89	12.92				
		13.17	13.20	13.25		9.5	12.98	13.00	12.99				
	3	13.21	13.32	13.36	13.2978	9.5	13.09	13.12	13.08	13.12	4.71		

Kompon	No. Sampel	Tebal awal (To) (mm)			Rata-rata (To)	Tebal spacer (Tn) (mm)	Tebal akhir (Ti) (mm)			Rata-rata Ti	Compressi on Set C (%)	Avg Compression set (%)	stdev
		I	II	III			I	II	III				
		13.26	13.29	13.29		9.5	13.11	13.15	13.15				
		13.35	13.32	13.28		9.5	13.08	13.13	13.16				
FR2	1	13.27	13.39	13.46	13.3567	9.5	13.09	13.13	13.13	13.07	7.37	9.03	5.01
		13.33	13.48	13.56		9.5	13.00	13.08	13.06				
		13.19	13.25	13.28		9.5	13.02	13.06	13.08				
	2	13.17	13.22	13.23	13.2300	9.5	13.01	13.05	13.12	13.04	5.06		
		13.10	13.17	13.21		9.5	13.02	13.02	13.00				
		13.32	13.38	13.27		9.5	13.02	13.10	13.03				
	3	13.72	13.78	13.79	13.7689	9.5	13.18	13.14	13.12	13.14	14.65		
		13.76	13.85	13.78		9.5	13.12	13.17	13.16				
		13.74	13.79	13.71		9.5	13.12	13.16	13.12				
FR3	1	13.50	13.52	13.56	13.5622	9.5	13.14	13.16	13.18	13.15	10.04	10.21	1.38
		13.52	13.58	13.49		9.5	13.16	13.15	13.18				
		13.67	13.61	13.61		9.5	13.14	13.15	13.13				
	2	13.39	13.41	13.39	13.3944	9.5	13.00	12.97	13.13	13.05	8.93		
		13.40	13.39	13.36		9.5	13.02	13.06	13.09				
		13.32	13.44	13.45		9.5	13.00	13.07	13.08				
	3	13.21	13.35	13.37	13.3467	9.5	12.90	12.95	12.98	12.90	11.67		
		13.23	13.34	13.29		9.5	12.80	12.88	12.85				
		13.39	13.47	13.47		9.5	12.82	12.90	13.00				

Tabel 5. Hasil Uji Ketahanan Kikis Dari Alat *Abrasion Tester* DIN 53516

a. Sebelum *Aging*

Kompon	No. Sampel	m awal (gr)	m akhir (gr)	Δ mt (gr)	densitas (g/cm ³)	Δ V (mm ³)	Avg Δ V per sampel	Avg Δ V	Stdev Δ V	ARI (%)	Avg ARI per sampel	Avg ARI	stdev ARI
FR1	FR1.1	3.3294	3.0696	0.2598	1.0863	105.61	101.36	104.15	5.76	140%	146%	143%	0.07
		3.4772	3.2246	0.2526	1.1226	99.36				149%			
		3.4514	3.2038	0.2476	1.1225	97.41				152%			
		3.4574	3.1985	0.2589	1.1212	101.97				146%			
		3.4533	3.1928	0.2605	1.1229	102.44				145%			
	FR1.2	3.5852	3.3266	0.2586	1.1214	101.83	104.33			146%	142%		
		3.6059	3.3398	0.2661	1.1208	104.84				142%			
		3.5934	3.3099	0.2835	1.1206	111.72				133%			
		3.5999	3.3492	0.2507	1.1195	98.88				150%			
		3.6033	3.3386	0.2647	1.1198	104.39				142%			
	FR1.3	3.6116	3.3603	0.2513	1.1231	98.80	106.77			150%	140%		
		3.5917	3.3142	0.2775	1.1231	109.10				136%			
		3.5682	3.2660	0.3022	1.1229	118.84				125%			
		3.6185	3.3462	0.2723	1.1227	107.11				139%			
		3.6145	3.3605	0.2540	1.1214	100.02				148%			
FR2	FR2.1	3.5573	3.2200	0.3373	1.1423	130.39	135.89	129.26	17.55	114%	109%	117%	0.15
		3.5344	3.1686	0.3658	1.1418	141.47				105%			
		3.5195	3.1587	0.3608	1.1413	139.60				106%			

Kompon	No. Sampel	m awal (gr)	m akhir (gr)	Δmt (gr)	densitas (g/cm ³)	ΔV (mm ³)	Avg ΔV per sampel	Avg ΔV	Stdev ΔV	ARI (%)	Avg ARI per sampel	Avg ARI	stdev ARI
		3.5369	3.1970	0.3399	1.1405	131.60	117.48	19.26	113%	130%	0.22		
		3.5558	3.2033	0.3525	1.1414	136.37			109%				
	FR2.2	3.5513	3.2372	0.3141	1.1200	123.84			136.17			120%	
		3.5242	3.1291	0.3951	1.1216	155.56						95%	
		3.4388	3.1412	0.2976	1.0709	122.72						121%	
		3.5516	3.2760	0.2756	1.1210	108.57						137%	
		3.5591	3.1273	0.4318	1.1204	170.19						87%	
	FR2.3	3.5302	3.2630	0.2672	1.1242	104.96			115.71			141%	
		3.5303	3.2187	0.3116	1.1246	122.35						121%	
		3.5421	3.2301	0.3120	1.1235	122.63						121%	
		3.5631	3.2717	0.2914	1.1237	114.51						130%	
		3.5269	3.2365	0.2904	1.1239	114.10						130%	
	FR3	FR3.1	3.5080	3.2189	0.2891	1.1240			113.58			116.00	131%
			3.4943	3.1467	0.3476	1.1240			136.56				109%
			3.5224	3.1627	0.3597	1.1243			141.28				105%
3.5141			3.2983	0.2158	1.1243	84.75	175%						
3.5397			3.2752	0.2645	1.1251	103.81	143%						
FR3.2		3.5349	3.2309	0.3040	1.1207	119.78	125.82	124%					
		3.5231	3.1379	0.3852	1.1230	151.46		98%					
		3.5163	3.1729	0.3434	1.1230	135.03		110%					
		3.5164	3.1786	0.3378	1.1220	132.95		112%					
		3.5045	3.2762	0.2283	1.1216	89.88		165%					

Kompon	No. Sampel	m awal (gr)	m akhir (gr)	Δ mt (gr)	densitas (g/cm ³)	Δ V (mm ³)	Avg Δ V per sampel	Avg Δ V	Stdev Δ V	ARI (%)	Avg ARI per sampel	Avg ARI	stdev ARI
	FR3.3	3.5205	3.2654	0.2551	1.1165	100.89	110.63			147%	135%		
		3.4966	3.1901	0.3065	1.1159	121.29				122%			
		3.5056	3.2440	0.2616	1.1190	103.23				144%			
		3.4978	3.2076	0.2902	1.1185	114.57				129%			
		3.5146	3.2280	0.2866	1.1185	113.15				131%			

b. Setelah Aging

Kompon	No. Sampel	m awal (gr)	m akhir (gr)	Δ mt (gr)	densitas (g/cm ³)	Δ V (mm ³)	Avg Δ V per sampel	Avg Δ V	Stdev Δ V	ARI (%)	Avg ARI per sampel	Avg ARI	stdev ARI	
FR1	FR1.1	3.4512	3.1715	0.2797	1.1216	110.12	114.28			135%	130%			
		3.4379	3.1581	0.2798	1.1191	110.40				134%				
		3.3567	3.0659	0.2908	1.1053	116.18				128%				
		3.4317	3.1399	0.2918	1.1189	115.16				129%				
		3.4362	3.1335	0.3027	1.1183	119.53				124%				
	FR1.2	3.5532	3.2595	0.2937	1.1173	116.07	114.17	112.76	4.53	128%	130%	132 %	0.05	
		3.5357	3.2485	0.2872	1.1183	113.41				131%				
		3.5455	3.2664	0.2791	1.1176	110.27				135%				
		3.5410	3.2436	0.2974	1.1171	117.56				126%				
		3.5598	3.2725	0.2873	1.1173	113.55				131%				
	FR1.3	3.5507	3.2753	0.2754	1.1188	108.70	109.82				136%	135%		

Kompon	No. Sampel	m awal (gr)	m akhir (gr)	Δmt (gr)	densitas (g/cm ³)	ΔV (mm ³)	Avg ΔV per sampel	Avg ΔV	Stdev ΔV	ARI (%)	Avg ARI per sampel	Avg ARI	stdev ARI
		3.5621	3.2910	0.2711	1.1181	107.06				139%			
		3.5839	3.2859	0.2980	1.1192	117.58				126%			
		3.5647	3.3041	0.2606	1.1187	102.86				144%			
		3.5647	3.2786	0.2861	1.1188	112.92				131%			
FR2	FR2.1	3.5288	3.1952	0.3336	1.1390	129.33	133.54	131.11	13.36	115%	111%	114%	0.12
		3.5227	3.1891	0.3336	1.1374	129.51				115%			
		3.5224	3.1605	0.3619	1.1377	140.47				106%			
		3.5138	3.1903	0.3235	1.1386	125.47				118%			
		3.5270	3.1591	0.3679	1.1368	142.90				104%			
	FR2.2	3.5270	3.1585	0.3685	1.1179	145.56	136.02			102%	111%		
		3.5370	3.2724	0.2646	1.1179	104.52				142%			
		3.5220	3.1799	0.3421	1.1180	135.12				110%			
		3.5378	3.1754	0.3624	1.1184	143.09				104%			
		3.5191	3.1350	0.3841	1.1174	151.79				98%			
	FR2.3	3.5073	3.2191	0.2882	1.1208	113.54	123.77			131%	121%		
		3.5073	3.2224	0.2849	1.1206	112.27				132%			
		3.5311	3.2140	0.3171	1.1203	124.99				119%			
		3.5044	3.1740	0.3304	1.1096	131.49				113%			
		3.5308	3.1843	0.3465	1.1204	136.56				109%			
FR3	FR3.1	3.4947	3.1704	0.3243	1.1203	127.83	138.56	145.25	18.27	116%	108%	104%	0.12
		3.5107	3.1428	0.3679	1.1215	144.85				102%			
		3.4984	3.1565	0.3419	1.1214	134.64				110%			

Kompon	No. Sampel	m awal (gr)	m akhir (gr)	Δm (gr)	densitas (g/cm ³)	ΔV (mm ³)	Avg ΔV per sampel	Avg ΔV	Stdev ΔV	ARI (%)	Avg ARI per sampel	Avg ARI	stdev ARI	
		3.4884	3.0980	0.3904	1.1212	153.75				96%				
		3.5009	3.1662	0.3347	1.1222	131.70				113%				
	FR3.2		3.4690	3.0964	0.3726	1.1177	147.20	153.12			101%	100%		
			3.4805	3.1674	0.3131	1.1221	123.22				120%			
			3.4661	3.1324	0.3337	1.1209	131.46				113%			
			3.5008	3.0590	0.4418	1.1192	174.31				85%			
			3.4868	3.0065	0.4803	1.1199	189.39				78%			
	FR3.3		3.4917	3.1082	0.3835	1.1149	151.89	144.07			98%	104%		
			3.4770	3.1178	0.3592	1.1151	142.24				104%			
			3.4874	3.1721	0.3153	1.1131	125.08				119%			
			3.5054	3.1314	0.3740	1.1156	148.04				100%			
			3.5151	3.1282	0.3869	1.1161	153.07				97%			

Tabel 6. Hasil Uji Kekerasan Dari Alat Durometer *Hardness*

Kompon	No. Sampel	hardness shore A before aging	Avg ΔV per sampel	Avg ΔV	St dev ΔV	hardness shore A after aging	Avg ΔV per sampel	Avg ΔV	St dev ΔV
FR1	1	54.50	53.30	54.90	1.65	43.00	41.10	39.77	2.04
		53.50				41.50			

Kompon	No. Sampel	hardness shore A before aging	Avg ΔV per sampel	Avg ΔV	St dev ΔV	hardness shore A after aging	Avg ΔV per sampel	Avg ΔV	St dev ΔV					
		53.50		58.07	3.42	41.50		44.32	4.91					
		53.00				41.00								
		52.00				38.50								
	2	55.00	54.50			38.50	37.90							
		54.50				37.50								
		54.50				37.00								
		54.00				37.50								
		54.50				39.00								
	3	57.00	56.90			42.50	41.00							
		57.50				38.00								
		56.50				41.50								
		56.50				41.50								
		57.00				41.50								
	FR2	1	63.00			62.60	58.07			3.42	48.00	47.90	44.32	4.91
			62.00								47.00			
63.00			48.50											
63.00			47.00											
62.00			49.00											
2		56.50	56.30	40.50	39.60									
		56.00		38.50										
		56.00		40.50										
		56.50		40.00										

Kompon	No. Sampel	hardness shore A before aging	Avg ΔV per sampel	Avg ΔV	St dev ΔV	hardness shore A after aging	Avg ΔV per sampel	Avg ΔV	St dev ΔV
	3	56.50	55.30			38.50	50.60		
		57.00				50.00			
		54.50				50.00			
		56.00				50.50			
		54.50				51.00			
		54.50				51.50			
FR3	1	58.50	57.30	55.60	2.24	42.50	40.70	39.93	1.55
		57.00				38.50			
		58.00				41.50			
		56.00				41.00			
		57.00				40.00			
	2	57.50	56.70			40.50	39.20		
		57.00				40.50			
		55.50				40.50			
		56.00				38.50			
		57.50				36.00			
	3	54.00	52.80			40.50	39.90		
		53.00				40.50			
		51.50				39.00			
		52.50				39.00			
		53.00				40.50			

Tabel 7. Hasil Uji Pantul Dari Alat *Rebound Resilience Tester*

Kompon	Before Aging		After Aging	
	Rebound resilience	Stdev	Rebound resilience	Stdev
FR1	49.96	1.72	51.65	1.63
FR2	47.91	2.33	49.39	2.94
FR3	49.34	1.58	50.86	1.78

Tabel 8. Hasil Pengukuran Densitas

a. Sebelum *Aging*

Kompon	No sampel	Berat Kering (g) A	Berat Basah (g) B	Densitas (g/cm ³) ρ	Average per sampel	Average	Stdev
FR1	FR1.1	3.3294	0.2738	1.0863	1.1151	1.1194	0.0092394
		3.4772	0.3893	1.1226			
		3.4514	0.3861	1.1225			
		3.4574	0.3833	1.1212			
		3.4533	0.3875	1.1229			
	FR1.2	3.5852	0.3981	1.1214	1.1204		
		3.6059	0.3986	1.1208			
		3.5934	0.3965	1.1206			

Kompon	No sampel	Berat Kering (g) A	Berat Basah (g) B	Densitas (g/cm3) ρ	Average per sampel	Average	Stdev
	FR1.3	3.5999	0.3943	1.1195	1.1227		
		3.6033	0.3953	1.1198			
		3.6116	0.4059	1.1231			
		3.5917	0.4037	1.1231			
		3.5682	0.4005	1.1229			
		3.6185	0.4053	1.1227			
		3.6145	0.4012	1.1214			
FR2	FR2.1	3.5573	0.4529	1.1423	1.1415	1.1254	0.017664
		3.5344	0.4486	1.1418			
		3.5195	0.4453	1.1413			
		3.5369	0.4455	1.1405			
		3.5558	0.4502	1.1414			
	FR2.2	3.5513	0.3904	1.1200	1.1108		
		3.5242	0.3917	1.1216			
		3.4388	0.2373	1.0709			
		3.5516	0.3931	1.1210			
		3.5591	0.3922	1.1204			
	FR2.3	3.5302	0.3997	1.1242	1.1240		
		3.5303	0.4008	1.1246			
		3.5421	0.3992	1.1235			
		3.5631	0.4021	1.1237			

Kompon	No sampel	Berat Kering (g) A	Berat Basah (g) B	Densitas (g/cm3) ρ	Average per sampel	Average	Stdev
		3.5269	0.3984	1.1239			
FR3	FR3.1	3.5080	0.3966	1.1240	1.1243	1.1214	0.0030078
		3.4943	0.3951	1.1240			
		3.5224	0.3991	1.1243			
		3.5141	0.3983	1.1243			
		3.5397	0.4033	1.1251			
	FR3.2	3.5349	0.3905	1.1207	1.1221		
		3.5231	0.3957	1.1230			
		3.5163	0.3948	1.1230			
		3.5164	0.3920	1.1220			
		3.5045	0.3897	1.1216			
	FR3.3	3.5205	0.3772	1.1165	1.1177		
		3.4966	0.3728	1.1159			
		3.5056	0.3825	1.1190			
		3.4978	0.3802	1.1185			
		3.5146	0.3821	1.1185			

b. Setelah Aging

Kompon	No sampel	Berat Kering (g) A	Berat Basah (g) B	Densitas (g/cm ³) ρ	Average per sampel	Average	Stdev
FR1	FR1.1	3.4512	0.3838	1.1216	1.1167	1.1176	0.003581
		3.4379	0.3755	1.1191			
		3.3567	0.3292	1.1053			
		3.4317	0.3742	1.1189			
		3.4362	0.3730	1.1183			
	FR1.2	3.5532	0.3830	1.1173	1.1175		
		3.5357	0.3837	1.1183			
		3.5455	0.3830	1.1176			
		3.5410	0.3811	1.1171			
	FR1.3	3.5598	0.3835	1.1173	1.1187		
		3.5507	0.3869	1.1188			
		3.5621	0.3862	1.1181			
		3.5839	0.3915	1.1192			
		3.5647	0.3882	1.1187			
FR2	FR2.1	3.5647	0.3885	1.1188	1.1379	1.1247	0.01001
		3.5288	0.4403	1.1390			
		3.5227	0.4352	1.1374			
		3.5224	0.4359	1.1377			
		3.5138	0.4372	1.1386			
	FR2.2	3.5270	0.4342	1.1368	1.1179		
	FR2.2	3.5270	0.3818	1.1179	1.1179		

Kompon	No sampel	Berat Kering (g) A	Berat Basah (g) B	Densitas (g/cm3) ρ	Average per sampel	Average	Stdev	
		3.5370	0.3828	1.1179				
		3.5220	0.3814	1.1180				
		3.5378	0.3842	1.1184				
		3.5191	0.3794	1.1174				
	FR2.3	3.5073	0.3878	1.1208	1.1183			
		3.5073	0.3870	1.1206				
		3.5311	0.3890	1.1203				
		3.5044	0.3559	1.1096				
			3.5308	0.3892	1.1204			
	FR3	FR3.1	3.4947	0.3848	1.1203			1.1213
3.5107			0.3901	1.1215				
3.4984			0.3883	1.1214				
3.4884			0.3868	1.1212				
3.5009			0.3909	1.1222				
FR3.2		3.4690	0.3750	1.1177	1.1200			
		3.4805	0.3883	1.1221				
		3.4661	0.3834	1.1209				
		3.5008	0.3825	1.1192				
			3.4868	0.3828	1.1199			
FR3.3		3.4917	0.3695	1.1149	1.1150			
		3.4770	0.3686	1.1151				

Kompon	No sampel	Berat Kering (g) A	Berat Basah (g) B	Densitas (g/cm ³) ρ	Average per sampel	Average	Stdev
		3.4874	0.3641	1.1131			
		3.5054	0.3728	1.1156			
		3.5151	0.3754	1.1161			

LAMPIRAN B
GAMBAR HASIL PENGAMATAN



Gambar 1. Bahan-Bahan Pembuatan Kompon Karet



Gambar 2. Kompon Karet Sebelum Dimatangkan



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Sampel Hasil Uji Kematangan (*Curing Time*), (b) Sampel Hasil Uji Kekentalan (*Viscosity*)



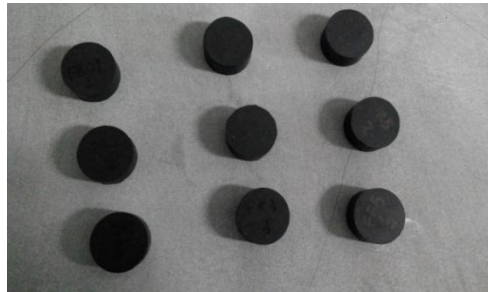
Gambar 4. Sampel Di Dalam Oven Aging



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. (a) Sampel Hasil Uji Tarik (*Tensile Test*), (b) Ketahanan Kikis (*Abrasion Test*), (c) Kekerasan (*Hardness*), Pantul (*Rebound Resilience Test*), Pemampatan (*Compression Set Test*),

LAMPIRAN C
GAMBAR ALAT



Gambar 1. *Kneader* Untuk Proses Pencampuran Karet (*Mixing*)



Gambar 2. *Open Mill* Untuk Proses Penggilingan Karet (*Milling*)



Gambar 3. Hotpress Untuk Mematangkan Karet



Gambar 4. Moving Die Rheometer Untuk Pengujian Kematangan Karet



Gambar 5. Mooney Viscometer Untuk Pengujian Viskositas Karet



(a)



(b)

Gambar 6. Universal Testing Machine (UTM) Untuk Pengujian Tarik, (a) Alat Uji Tarik, (b) Cetakan Untuk Sampel Uji Tarik ASTM D 412



Gambar 7. Abrasion Tester DIN 53516 Untuk Pengujian Ketahanan Kikis Karet



Gambar 8. Rebound Resilience Tester Untuk Pengujian Pantul Karet



Gambar 9. Durometer Hardness Tipe Shore A Untuk Pengujian Kekerasan Karet



Gambar 10. *Compression Set* Untuk Pengujian Pemampatan Karet



Gambar 11. *Oven Aging* Untuk Pengujian Pengusangan

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN HASIL PENELITIAN

- Rumus Densitas**

$$\rho = \frac{A}{|B|} \times (\rho_0 - d) + d$$

$$|B| = (A - B)$$

Tabel 1. *Density of Distilled Water (Unit: g/cm³)*

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
15	0.999099	0.999084	0.999069	0.999054	0.999038	0.999023	0.999007	0.998991	0.998975	0.998959
16	0.998943	0.998926	0.998910	0.998893	0.998877	0.998860	0.998843	0.998826	0.998809	0.998792
17	0.998774	0.998757	0.998739	0.998722	0.998704	0.998686	0.998668	0.998650	0.998632	0.998613
18	0.998595	0.998576	0.998558	0.998539	0.998520	0.998501	0.998482	0.998463	0.998444	0.998424
19	0.998405	0.998385	0.998365	0.998345	0.998325	0.998305	0.998285	0.998265	0.998244	0.998224
20	0.998203	0.998183	0.998162	0.998141	0.998120	0.998099	0.998078	0.998056	0.998035	0.998013
21	0.997992	0.997970	0.997948	0.997926	0.997904	0.997882	0.997860	0.997837	0.997815	0.997792
22	0.997770	0.997747	0.997724	0.997701	0.997678	0.997655	0.997632	0.997608	0.997585	0.997561
23	0.997538	0.997514	0.997490	0.997466	0.997442	0.997418	0.997394	0.997369	0.997345	0.997320
24	0.997296	0.997271	0.997246	0.997221	0.997196	0.997171	0.997146	0.997120	0.997095	0.997069
25	0.997044	0.997018	0.996992	0.996967	0.996941	0.996914	0.996888	0.996862	0.996836	0.996809
26	0.996783	0.996756	0.996729	0.996703	0.996676	0.996649	0.996621	0.996594	0.996567	0.996540
27	0.996512	0.996485	0.996457	0.996429	0.996401	0.996373	0.996345	0.996317	0.996289	0.996261
28	0.996232	0.996204	0.996175	0.996147	0.996118	0.996089	0.996060	0.996031	0.996002	0.995973
29	0.995944	0.995914	0.995885	0.995855	0.995826	0.995796	0.995766	0.995736	0.995706	0.995676
30	0.995646	0.995616	0.995586	0.995555	0.995525	0.995494	0.995464	0.995433	0.995402	0.995371

Example: to find the density of water at 16.1 °C, you would first find the whole degree by searching down the left hand column until you reach '16'. Then you would slide across that row until you reach the column labeled '0.1'. The density of water at 16.1°C is 0.998926 g/mL

Sumber: *Handbook of Chemistry and Physics, 1972*

Contoh perhitungan:

➤ FR01.1 sebelum *aging*

$$|B| = (3.3294 - 0.2738)g$$

$$|B| = 3.0556g$$

$$\rho = \frac{3.3294g}{3.0556g} \times (0.99704 - 0.0012)g/cm^3 + 0.0012g/cm^3$$

$$\rho = 1.0863g/cm^3$$

- **Rumus Kompresi**

$$C = [(T_o - T_i) / (T_o - T_n)] \times 100$$

Contoh perhitungan:

➤ FR01.1 sebelum *aging*

$$C = \frac{(13,5278 - 12,94) \text{ mm}}{(13,5278 - 9,5) \text{ mm}} \times 100$$

$$C = 14,62 \%$$

- **Rumus Abrasi**

$$\% \text{ ARI} = \frac{\Delta m_r \times \rho_t}{\Delta m_t \times \rho_r} \times 100$$

Contoh perhitungan:

➤ FR01.1 sebelum *aging*

$$\% \text{ ARI} = \frac{0,4529 \text{ g} \times 1,0863 \text{ g/cm}^3}{0,2598 \text{ g} \times 1,348 \text{ g/cm}^3} \times 100$$

$$\% \text{ ARI} = 140 \%$$