

No. Dok: 4971

Copy: 1

D
670.6
Lar
R.

**LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
REKAYASA MATERIAL KARET ALAM UNTUK
PEMBUATAN RUBBER AIRBAG
PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL-BPPT
(15 Januari – 31 Maret)**

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



OLEH:

AMELIA LARASATI

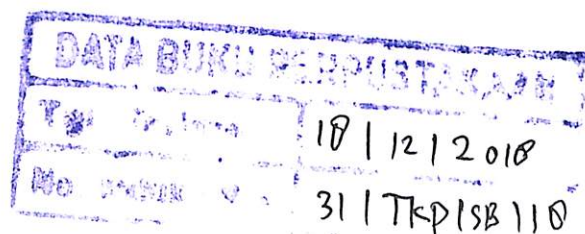
1513005

ULFA INTAN PRATIWI

1513033

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN**

2017



POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL PENELITIAN:

REKAYASA MATERIAL KARET ALAM UNTUK
PEMBUATAN *RUBBER AIRBAG*

DISUSUN OLEH:

NAMA : AMELIA LARASATI
ULFA INTAN PRATIWI

NIM : 1513005
1513033


PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.


Jakarta, Mei 2017

Menyetujui

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer


Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Dosen Pembimbing


Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

LEMBAR PENGESAHAN
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

JUDUL PENELITIAN:

REKAYASA MATERIAL KARET ALAM UNTUK
PEMBUATAN *RUBBER AIRBAG*

DISUSUN OLEH:

NAMA : AMELIA LARASATI
ULFA INTAN PRATIWI

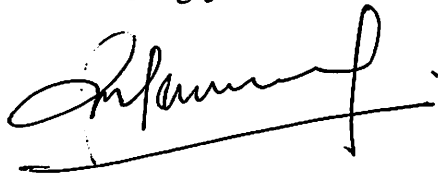
NIM : 1513005
1513033

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Seminar Tugas Akhir
Program Studi Teknik Kimia Polimer
Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, Juni 2017

Penguji I



Ir. Parulian Leonard M, MM
NIP. 195702141985031002

Penguji II



Syaiful Ahsan, ST, MT
NIP. 198407162014021001

Pembimbing



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR PENELITIAN

Nama : Amelia Larasati 1513005
Ulfa Intan Pratiwi 1513033
Judul TA Penelitian : Rekayasa material karet alam untuk pembuatan *Rubber Airbag*
Pembimbing : Ir. Roosmariharso, MBA

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
12-04 - 2017	I	Revisi Latarbelakang, Tujuan dan manfaat Penelitian	pc
17-04 - 2017	I	Acc Latarbelakang, Tujuan dan manfaat penelitian	pc
19-04 - 2017	II	Revisi Tinjauan Pustaka	pc
21-04 - 2017	II	Acc Tinjauan Pustaka	pc
24-04 - 2017	III	Revisi Alat & Bahan, Prosedur Penelitian, variabel.	pc
26-04 - 2017	III	Acc Alat & Bahan, Prosedur Penelitian, dan variabel)	pc
26-04 - 2017	III	Revisi nama sampel, Tahapan proses dan karakterisasi atau pengujian sampel	pc
28-04 - 2017	III	Acc nama sampel, Tahapan proses dan karakterisasi / pengujian sampel	pc
28-04 - 2017	IV	Revisi Hasil dan Pembahasan	pc
28-04 - 2017	-	Revisi Abstrak	pc
01-05 - 2017	IV	Acc Hasil dan Pembahasan	pc
01-05 - 2017	-	Acc Abstrak	
01-05 - 2017	-	Revisi Daftar Pustaka	
05-05 - 2017	-	Acc Daftar Pustaka	pc
05-05 - 2017	-	Revisi PPT untuk seminar	
10-05 - 2017	-	Acc PPT untuk seminar	

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Pembimbing



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN

JUDUL PENELITIAN

REKAYASA MATERIAL KARET ALAM UNTUK
PEMBUATAN *RUBBER AIRBAG*

DISUSUN OLEH:

NAMA : AMELIA LARASATI
ULFA INTAN PRATIWI

NIM : 1513005
1513033

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Jakarta, Mei 2017

Telah diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing



Dr. Ade Sholeh Hidayat, M.Eng
NIP. 196809191993121001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Kami Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta,
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Ulfa Intan Pratiwi
NIM : 1513033
Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir Penelitian yang kami buat dengan judul:

REKAYASA MATERIAL KARET ALAM UNTUK PEMBUATAN *RUBBER AIRBAG*

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui Tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya tulis Tugas Akhir Penelitian ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir Penelitian kami.

Jika terbukti kami tidak memenuhi apa yang telah kami nyatakan seperti apa yang diatas, maka karya Tugas Akhir Penelitian kami ini dibatalkan.

Jakarta, Mei 2017

Yang Membuat Pernyataan



Ulfa Intan Pratiwi



Nomor : 538/SJ-IND.7.2/XII/2016
Lampiran :
Perihal : **Pemohonan Penelitian**

Jakarta, 02 Desember 2016

Kepada
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan
Pusat Teknologi Material BPPT
Area Puspitek Gedung 224, Tangerang
Selatan, Banten, 15314

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 2(dua) bulan.

Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan
1.	Amelia Larasati	1513005	Proses Produksi

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.


Pembantu Direktur I Bidang Akademik,
Dr. Ridzky Kramanandita, S.Kom, MT
NIP: 19740302 200212 1 001

Tembusan:

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peringgal



Nomor : *r3g* /SJ-IND.7.2/XII/2016
Lampiran :
Perihal : **Pemohonan Penelitian**

Jakarta, 02 Desember 2016

Kepada
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan
Pusat Teknologi Material BPPT
Area Puspitek Gedung 224, Tangerang
Selatan, Banten, 15314

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 2(dua) bulan.

Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan
1.	Ulfa Intan Pratiwi	1513033	Proses Produksi

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.



Pembantu Direktur I Bidang Akademik,

Dr. Rizky Kramanandita, S.Kom, MT

NIP: 19740302 200212 1 001

Tembusan:

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Pertinggal



BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI
Pusat Teknologi Material
Gedung 224 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, 15314 Banten
Telepon (021) 7579-1324, Faksimile (021)7579-1327, Website <http://www.bppt.go.id>

Nomor : B-348/ PTM/BPPT/SD/12/2016 Tangerang Selatan, 5 Desember 2016
Lampiran :-
Hal : Permohonan Penelitian

Yth. Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer
Politeknik STMI Jakarta
Kementerian Perindustrian RI
Jakarta

Menindaklanjuti surat permohonan dari Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI No.203/TKP-PSTMI/II/2016 Tanggal 16 November 2016 Perihal Permohonan Penelitian, dengan ini Direktur Pusat Teknologi Material (PTM) - Badan Pengkajian Penerapan Teknologi (BPPT) memberikan ijin kepada mahasiswa sbb:

No	Nama	NIM	Riset	Pembimbing
1.	Amelia Larasati	1513005	Teknologi Material	Ir. Mahendra
2.	Ulfa Intan Pratiwi	1513033	Karet	Anggaravidya
3.	Kurnia Amanda	1513009		
4.	Nadya Nanda Islami	1513010		

Untuk Melaksanakan Penelitian di Pusat Teknologi Material terhitung mulai 3 Januari s/d Februari 2017, dengan mentaati semua peraturan di PTM yang berupa:

- Kehadiran pada jam 07.30 – 16.00
- Memberikan Laporan dan bentuk BCHP per hari
- Memberikan rangkuman laporan kerja praktek pada hari terakhir pelaksanaan kerja praktek.

Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Direktur Pusat Teknologi Material

Dr. Asep Riswoko, B.Eng. M.Eng.

ABSTRAK

Indonesia adalah salah satu penghasil karet alam terbesar di dunia setelah Thailand. Walaupun demikian, karet alam itu memiliki banyak kelemahan dibanding dengan karet sintetis. Karena sifatnya yang masih belum bagus, penggunaannya di dalam industri manufaktur masih belum banyak diminati. Contohnya dalam produksi rubber airbag masih menggunakan bahan baku utama karet EPDM. Dalam penelitian ini, kegiatan yang dilakukan adalah merekayasa karet alam tersebut dengan karet EPDM agar memiliki sifat mekanik yang lebih baik. Lebih jauh lagi, tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi komposisi karet alam dan karet EPDM terhadap kualitas sifat mekanik vulkanisat karet dan menentukan sampel vulkanisat karet yang optimum. Vulkanisat karet dibuat dari campuran karet alam SIR 10 dan karet sintetis EPDM dengan variasi perbandingan SIR 10/EPDM berturut-turut A 100/0; B 90/10; C 80/20; D 0/100 phr. Vulkanisat karet dibuat dengan mesin kneader, open mill dan hotpress. Setelah itu, diuji sifat mekaniknya sesuai dengan standar spesifikasi teknis yang ingin dicapai. Pengujian dilakukan baik sebelum maupun setelah pengujian sea water resistance (SWR). Hasil pengujian setelah uji SWR menunjukkan bahwa rekayasa material karet alam dengan menggunakan campuran karet EPDM berpengaruh nyata terhadap sifat mekanik vulkanisat karet yang dihasilkan. Formula vulkanisat karet yang dianggap optimum untuk rubber air bag adalah sampel B dengan komposisi 90 phr SIR 10 dan 10 phr EPDM. Sampel B memiliki keunggulan sifat mekanik tahan sobek, elongasi dan kekerasan.

Kata kunci: EPDM, *sea water resistance*, SIR 10

ABSTRACT

Indonesia is the second largest natural rubber-producing country in the world after Thailand. Unfortunately, natural rubber has many weaknesses compared to synthetic rubber. Because its characteristic is not good enough, the utilization in Industrial manufacture has not been sought yet. For example, the production of rubber airbag is still using EPDM rubber as a raw material. The purpose of this study is to fabricate natural rubber with EPDM rubber in order to have better mechanical properties. Even further the aims of this study were to know the variations of natural rubber and EPDM rubber on mechanical properties of vulcanized rubber and determine the optimum sample of vulcanized rubber. The vulcanized rubber is made of a mixture of natural rubber (SIR 10) and synthetic rubber (EPDM) along in comparison with variation of SIR 10/EPDM, A 100/0; B 90/10; C 80/20; D 0/100 phr. Vulcanized rubber was made with kneader machine, open mill and hot press. And then, the mechanical properties were tested with the conformed technical standard specification. The test is performed both before and after the sea water resistance (SWR) test. The test result after the sea water resistance (SWR) test showed that the engineering of natural rubber materials using EPDM rubber mixture had significant effect on mechanical properties of vulcanized rubber. The optimum formulation of vulcanized rubber for rubber airbag was sample B with composition 90 phr for SIR 10 and 10 phr for EPDM. Sample B has advantage of tear resistance, elongation and hardness.

Keywords: EPDM, sea water resistance, SIR 10

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir Penelitian ini tepat pada waktunya. Penulisan Laporan Tugas Akhir Penelitian ini dilakukan untuk diajukan sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta. Kami menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Laporan Tugas Akhir Penelitian ini. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya.
2. Orang tua kami yang telah memberikan dukungan secara moril maupun materil.
3. Dr. Mustofa, ST, MT, selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
4. Ir. Roosmariharso, MBA, selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta dan selaku dosen pembimbing penelitian.
5. Dr. Ade Sholeh Hidayat, M.Eng, selaku pembimbing penelitian di Pusat Teknologi Material-BPPT yang telah memberikan ilmu, arahan dan masukan dalam melaksanakan penelitian.
6. Mba Henny Purwati, Mba Novita Amie, Mas Dita Adi Saputra dan karyawan-karyawati di Pusat Teknologi Material-BPPT yang telah banyak membantu selama penelitian.
7. Sahabat serta teman-teman Teknik Kimia KA01 2013 yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir Penelitian ini.

Akhir kata, kami berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Laporan Tugas Akhir Penelitian ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, November 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN TA PENELITIAN	
HALAMAN SURAT PENGAJUAN TUGAS AKHIR PENELITIAN	
HALAMAN SURAT KETERANGAN DITERIMA PENELITIAN	
KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR SIMBOL.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 <i>Latar Belakang</i>	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 <i>Sistematika Penulisan</i>	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Karet	5
2.2 Jenis-jenis Karet.....	5
2.3 Kompon Karet	6
2.4 <i>Proses Pembuatan Kompon Karet</i>	17
2.5 <i>Rubber Airbag</i>	22
2.6 Karakterisasi Pemrosesan Kompon Karet	26
2.7 Pengujian <i>Sea Water Resistance</i>	28
2.8 Pengujian Sifat Mekanik Vulkanisat Karet	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
3.2 Alat dan Bahan	31
3.3 Variabel	32

3.4 Prosedur Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 <i>Standar Spesifikasi Teknis Rubber Airbag</i>	41
4.2 Hasil Karakterisasi Kompon dan Vulkanisat Karet.....	41
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
LAMPIRAN A BAHAN-BAHAN	
LAMPIRAN B PERALATAN UTAMA	
LAMPIRAN C GAMBAR HASIL PENGAMATAN	
LAMPIRAN D HASIL DAN PENGOLAHAN DATA	
LAMPIRAN E PERHITUNGAN HASIL PENELITIAN	
LAMPIRAN F MATRIKS HASIL PENGUJIAN SAMPEL	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persyaratan Mutu Karet Alam SIR 10.....	9
Tabel 2.2	Sifat Fisika dari karet Alam dan EPDM.....	11
Tabel 2.3	Penggolongan <i>Accelerator</i> Berdasarkan Golongan Senyawa dan Respon terhadap Vulkanisasi	12
Tabel 2.4	Penggolongan <i>Accelerator</i> Berdasarkan Fungsi	12
Tabel 2.5	Kompatibilitas Beberapa Minyak Pengolahan dengan Karet.....	16
Tabel 2.6	Target Spesifikasi <i>Rubber Airbag</i>	25
Tabel 3.1	Variasi komposisi SIR 10 dan EPDM.....	33
Tabel 3.2	Komposisi Formulasi Karet.....	33
Tabel 4.1	Perbandingan Hasil Keseluruhan Pengujian Vulkanisat Karet	42
Tabel 4.2	Nilai Penurunan Tegangan Putus Setelah Uji Ketahanan Air Laut.....	49
Tabel 4.3	Nilai Penurunan Ketahanan Sobek Setelah Uji Ketahanan Air Laut	51
Tabel 4.4	Nilai Kenaikan Kekerasan Setelah Uji Ketahanan Air Laut	55
Tabel 4.5	Nilai Kenaikan Kompresi Setelah Uji Ketahanan Air Laut	57
Tabel 4.6	Kesimpulan Hasil Pengujian Sampel	58
Tabel 4.7	Sampel Optimum Mendekati Standar Spesifikasi <i>Rubber Airbag</i>	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rumus Struktur Kimia Karet Alam	8
Gambar 2.2	Rumus Struktur EPDM.....	10
Gambar 2.3	Struktur Kelat Zn-MBTS.....	14
Gambar 2.4	Mekanisme Vulkanisasi dengan Sulfur	21
Gambar 2.5	Struktur Ikatan Silang dan Ikatan Intermolekul pada Vulkanisat Belerang.....	22
Gambar 2.6	<i>Airbags</i>	23
Gambar 2.7	<i>Airbag Launching</i>	24
Gambar 3.1	Diagram Proses Pembuatan Kompon Karet hingga Karakterisasi Sampel	34
Gambar 4.1	Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Waktu Matang	43
Gambar 4.2	Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Viskositas	44
Gambar 4.3	Rumus Struktur Kimia Monomer EPDM	46
Gambar 4.4	Rumus Struktur Kimia Monomer Karet Alam	46
Gambar 4.5	Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Tegangan Putus	47
Gambar 4.6	Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Ketahanan Sobek	50
Gambar 4.7	Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Perpanjangan Putus	52
Gambar 4.8	Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Kekerasan	54
Gambar 4.9	Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Pemampatan Tetap	56

DAFTAR SIMBOL

A	: Berat sampel di udara (g)
ARI	: <i>Abrasion Resistance Index</i> (%)
B	: Berat sampel dalam air (g)
C	: <i>Compression Set</i> (%)
cm^{-1}	: Satuan panjang gelombang dalam analisa FTIR
d	: Densitas udara ($0,0012 \text{ g/cm}^3$, pada tekanan atmosferis)
Phr	: <i>Part Hundred Rubber</i> merupakan satuan yang digunakan dalam formulasi kompon
Po	: Plastisitas awal
PRI	: <i>Plasticity Retention Index</i>
S'min	: Torsi minimum
S'max	: Torsi maksimum
t90	: Waktu vulkanisasi optimum
ts2	: Waktu pravulkanisasi
Ti	: Tebal akhir sampel (mm)
Tn	: Tebal <i>spacer</i> (mm)
To	: Tebal awal sampel (mm)
$\Delta m \text{ const}$: 200 g
Δm_t	: Massa karet sampel yang terkikis (mm)
Δm_r	: Massa karet standar yang terkikis (mm)
$\Delta S'$: Perbedaan torsi
ΔV	: DIN <i>abrasion loss</i> (cm^3)
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)

MILIK PERPUSTAKAAN STMI
Membaca : Ibadah, Mengambil : Dosa

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mengingat bahwa Indonesia adalah salah satu penghasil karet alam terbesar di dunia setelah Thailand dan memiliki total lahan karet seluas 3,62 juta hektar dengan produksi karet alam mencapai 3,11 juta Ton, hasil produksi tersebut hanya dikonsumsi sebesar 431 ribu Ton dan selebihnya diekspor (Departemen Perindustrian, 2007), akan tetapi pemanfaatan karet alam tersebut masih sangat terbatas pada produk-produk umum yang memiliki sedikit nilai tambah, padahal dengan sentuhan teknologi, karet alam tersebut dapat dimanfaatkan untuk membuat produk teknik yang memiliki nilai tambah tinggi. Salah satu produk karet teknik tersebut adalah *rubber airbag*. Selama ini seluruh kebutuhan *rubber airbag* tersebut dipenuhi melalui impor dari Tiongkok dengan kualitas dan harga yang sangat beragam (Direktorat Inovasi Industri, 2012).

Rubber airbag merupakan suatu produk inovasi tepat guna untuk teknik peluncuran kapal. Industri galangan harus mempunyai fasilitas untuk menaikkan kapal ke darat saat kapal itu akan diperbaiki dan fasilitas untuk meluncurkan kapal ke perairan saat kapal itu selesai dibangun atau diperbaiki. *Rubber airbag* ini merupakan produk inovasi yang dapat menjalankan fungsi tersebut dengan efektif dan efisien dibandingkan teknologi sebelumnya seperti *graving dock*, *floating dock* ataupun *slipway*.

Rubber airbag bagi industri perkapalan dalam negeri merupakan salah satu produk hilirisasi karet. Penggunaan *rubber airbag* merupakan alternatif dalam proses *docking* dan peluncuran kapal, tidak terlepas dari semakin meningkatnya pemikiran tentang perkembangan teknologi yang berkaitan dengan tipe galangan inovatif yang fleksibel, mobilitas, aman, dapat dipercaya, tidak banyak asset tertanam, tidak banyak perawatan, proses juga lebih aman dan sudah terbukti menguntungkan dengan resiko relatif lebih rendah. Selain itu, kebutuhan industri galangan akan produk tersebut terus meningkat, hal ini sejalan dengan realisasi

produksi di industri galangan kapal nasional sepanjang 2008 melonjak 28,33% menjadi 7,75 juta Gross Ton (GT) (Siswanto, 2012).

Beberapa kajian mengatakan sifat karet alam memiliki nilai *tensile strength*, *hardness*, *compression set* dan *rebound* yang lebih tinggi dari karet sintetis, sedangkan karet sintetis EPDM sangat tahan terhadap panas, ozon dan cahaya matahari, sangat tahan air dan uap panas, serta memiliki nilai ketahanan kikis (*abrasion*) yang lebih tinggi daripada karet alam (Arizal, 1994). Berdasarkan hal tersebut, vulkanisat karet hasil dari bahan baku utama karet alam 100% dan penggabungan karet alam dan karet sintetis jenis EPDM dengan beberapa bahan diharapkan terdapat salah satu formula yang cocok untuk produk *rubber airbag*. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan formula kompon karet yang tepat untuk *rubber airbag*, dimana vulkanisat karet tersebut harus memiliki spesifikasi sifat tahan terhadap air laut/lingkungan yang mengandung air garam, panas, ozon dan cahaya matahari dengan memvariasikan bahan baku kompon 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 karet alam (SIR 10) dengan karet sintetis (EPDM) terhadap sifat mekanik vulkanisat karet untuk optimasi *rubber airbag*?
2. Bagaimana menentukan sampel vulkanisat karet setelah uji air laut yang dianggap cukup optimum untuk aplikasi *rubber airbag*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan baku utama berupa karet alam *Standard Indonesian Rubber* (SIR) 10 dan karet sintetis *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM), Aktiplast 8, Asam Stearat, ZnO, Silika, Polietilen Glikol (PEG) 4000, Rubatan TMQ, *Carbon Black N220*, *Coumarone Resin*, *Paraffinic Oil*, *Wax*, CBS dan Sulfur disediakan oleh Pusat Teknologi Material BPPT.

2. Variasi SIR 10 dan EPDM yaitu 100:0 phr, 90:10 phr, 80:20 phr dan 0:100 phr.
3. Pengujian karakteristik pemrosesan kompon karet meliputi pengujian waktu matang menggunakan *rheometer* dan pengujian kekentalan menggunakan *mooney viscometer* serta pengujian karakteristik vulkanisat karet sebelum dan setelah uji air laut.
4. Pengujian sifat mekanik vulkanisat karet meliputi pengujian *tensile strength*, *tear strength*, *elongation at break*, *hardness*, *compression set*, *abrasion resistance* dan *rebound resilience* baik sebelum maupun setelah uji air laut.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi karet alam dan karet EPDM dengan bahan kimia yang digunakan terhadap kualitas sifat mekanik vulkanisat karet yang akan diuji untuk aplikasi produk *rubber airbag*.
2. Menentukan sampel vulkanisat karet yang optimum untuk aplikasi *rubber airbag* setelah uji air laut dari pengujian sifat mekanik yang dilakukan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mendukung pemenuhan kebutuhan *rubber airbag* dalam negeri sehingga mengurangi kebutuhan impornya.
2. Mendukung peningkatan nilai tambah dari produk hilir karet alam dalam negeri.

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini merupakan gambaran secara keseluruhan. Di dalamnya terdapat lima bab yang masing-masing berkaitan erat. Adapun susunan ke lima bab tersebut sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang diadakannya penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas, batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan, tujuan dan manfaat dari dilakukannya penelitian ini serta penjelasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan umum mengenai karet, baik karet alam maupun karet sintetis, kompon karet, proses pembuatan kompon karet, bahan-bahan dalam membuat kompon karet, pengertian vulkanisasi serta tinjauan mengenai *rubber airbag*.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang persiapan penelitian, diagram alir penelitian, variabel penelitian, prosedur penelitian serta alat dan bahan yang nantinya akan digunakan dalam penelitian ini.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data hasil pengujian, analisis data yang sudah diolah menjadi grafik dan pembahasan terhadap hasil pengujian dan analisis data.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi dua bagian, kesimpulan dan saran yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karet

Tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) termasuk dalam famili *Euphorbiaceae*, disebut dengan nama lain rambung, getah, gota, kejai ataupun hapea. Karet merupakan salah satu komoditas perkebunan yang penting sebagai sumber devisa non migas bagi Indonesia sehingga memiliki prospek yang cerah (Damanik dkk, 2010). Selain itu, karet merupakan salah satu barang komoditi yang memiliki kegunaan penting dalam kehidupan manusia terutama terkait dengan mobilisasi. Peran penting karet dalam kehidupan sehari-hari telah nampak pada penggunaan karet pada bidang transportasi, *conveyor belt*, sabuk transmisi, *dock fender*, pelindung kabel, alat perekat, alat-alat rumah tangga dan bangunan, alat-alat kesehatan dan alas kaki. Kebutuhan akan karet diperoleh dari hasil pengolahan getah yang disadap dari pohon karet yang memiliki nama latin *para* atau *Hevea brasiliensis*. Oleh karena itu, karet alam diperjualbelikan dalam kelompok komoditi hasil perkebunan (*Indonesian Trade Promotion Center*, 2012).

2.2 Jenis -jenis Karet

Secara umum, karet dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu karet alam dan karet sintesis. Karet alam umumnya mempunyai syarat-syarat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan karet sintesis, sedangkan karet sintetik mempunyai sifat-sifat yang baik terhadap kondisi lingkungan seperti panas, cuaca dan minyak (Nuyah dan Yulita, 2012).

2.2.1 Karet Alam

Karet alam merupakan polimer alam dengan monomer isoprena. Polimer karet alam ini terdiri dari 97% polimer *cis-1,4-poliisoprena*. Secara umum karet alam mengandung beberapa senyawa kimia yang kompleks, antara lain: karet hidrokarbon, protein, lipid netral, lipid polar, karbohidrat, garam organik dan lain-lain. Perbedaan kandungan senyawa kimia karet alam ini tergantung pada jenis tanaman, jenis penanganan dan cara penyadapan (Budiman, 2002).

Karet alam adalah polimer yang tersusun dari sekitar 5.000 unit isoprena, yaitu rantai polimer $(C_5H_8)_n$ dimana n merupakan koefisien polimerisasi. Lateks secara umum didefinisikan sebagai cairan kental (getah karet) yang keluar dari pembuluh karet bila dilukai. Lateks sewaktu keluar dari pembuluh karet masih dalam keadaan steril. Air getah lateks kira-kira mengandung 25-40% bahan karet mentah (*Crude Rubber*) dan 60-75% serum (air dengan zat-zat yang melarut di dalamnya) (Fachry dkk, 2012). Adapun kelebihan yang dimiliki karet alam adalah (Damanik dkk, 2010):

- a. Memiliki daya lenting dan daya elastisitas yang tinggi.
- b. Memiliki plastisitas yang baik sehingga pengolahannya mudah.
- c. Tidak mudah panas (*low heat build up*) dan memiliki daya tahan yang tinggi terhadap keretakan (*groove cracking resistance*).
- d. Mempunyai daya aus yang tinggi.

2.2.2 Karet Sintetis

Karet sintetis adalah karet buatan yang sebagian besar dibuat dengan menggunakan bahan baku minyak bumi (Singarimbun, 2011). Karet sintetis memiliki sifat tersendiri yang khas dari tiap jenisnya. Ada jenis karet sintetis yang tahan terhadap panas atau suhu tinggi, minyak, pengaruh udara dan ozon. Umumnya karet sintetik diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama berdasarkan kegunaan, yaitu:

a. Kegunaan Umum

Karet jenis ini sebanyak 60% untuk keperluan pembuatan ban pneumatik. Contoh: karet SBR, polibutadiena, EPDM, IIR dan lain-lain.

b. Kegunaan Khusus

Karet jenis ini untuk keperluan pembuatan produk-produk karet yang tahan terhadap aksi bahan kimia. Contoh: karet Akrilonitril Butadiena (NBR), karet polikloroprena (CR), karet *urethane*, karet polisulfida dan lain-lain.

2.3 Kompon Karet

Menurut Handoko (2003), kompon karet adalah campuran antara karet dengan berbagai bahan kimia untuk memperoleh hasil akhir atau vulkanisat setelah melalui

proses tertentu. Kompon karet pada umumnya mengandung tiga atau lebih jenis bahan kimia karet. Setiap jenis bahan tersebut memiliki fungsi spesifik dan mempunyai pengaruh terhadap sifat, karakteristik pengolahan dan harga dari komponnya. Pada penyusunan formulasi kompon karet yang paling penting adalah menentukan jenis atau campuran karet mentah. Kemudian baru ditentukan bahan pengisi dan sistem vulkanisasi. Terakhir adalah penentuan *processing aids* yang diperlukan sesuai dengan spesifikasi teknis barang jadi karet yang akan dibuat. Dalam menyusun formula kompon yang spesifikasinya ditentukan oleh konsumen, selain harus memperhatikan sifat-sifat vulkanisatnya yang harus memenuhi persyaratan juga perlu memperhatikan biaya kompon dan tahap-tahap pengolahan. Spesifikasi teknis karet (elastomer) dan bahan-bahan penyusun kompon, antara lain (Akademi Teknologi Kulit, 2008):

- a. Sifat-sifat karet yang dipilih.
- b. Vulkanisasi atau sistem *curing* untuk memperoleh sifat-sifat utama yang dikehendaki.
- c. Bahan-bahan lain yang mempunyai peran dalam mempengaruhi spesifikasi teknis dan ketahanan usang yang dikehendaki.
- d. Peralatan yang tepat untuk pengolahan kompon.
- e. Kompon yang mempunyai nilai komersial.
- f. Cara pengujian dan evaluasi bahan baku juga produk akhir.

Dalam merancang kompon, tahap yang terpenting dan biasanya tahap pertama adalah memilih jenis karet (elastomer). Sifat umum yang dimiliki semua elastomer antara lain elastis, fleksibel, liat dan kedap terhadap air dan udara. Selain itu, setiap elastomer memiliki sifat-sifat khusus dan unik demikian juga dengan harganya. Maka, pemilihan jenis elastomer untuk mendapatkan spesifikasi teknis yang tertentu selain mempertimbangkan sifat dasarnya juga perlu mempertimbangkan harga dan cara pengolahannya.

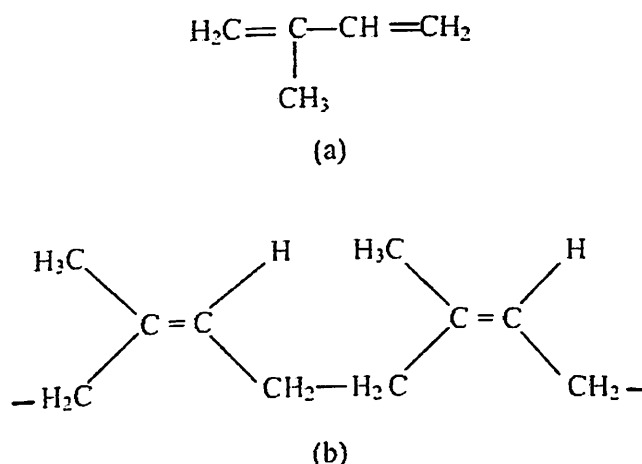
Bahan kimia kompon dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu bahan kimia utama dan bahan kimia pembantu proses (*processing aids*). Bahan kimia utama adalah bahan kimia yang digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat fisis karet sehingga produk karet yang dihasilkan akan memiliki sifat fisis dan kimiawi yang lebih

stabil. Bahan kimia utama terdiri dari *accelerator*, *activator*, *filler*, antioksidan dan bahan pemvulkanisasi (*curative*). Sedangkan bahan kimia pembantu proses adalah bahan kimia yang digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan performansi/tampilan dari produk karet. Bahan-bahan ini ditambahkan pada kompon karet sesuai dengan kebutuhan atau tujuan. *Processing aids* terdiri dari *antidegradant*, *color and colors*, *inhibitor* (penghambat), *softener* (pelunak), bahan pewangi, *blowing agent* (bahan peniup atau penghembus), bahan pembantu lain seperti *homogenizer*, *peptizer*, senyawa pendispersi, *tackifier* dan lain-lain (Akademi Teknologi Kulit, 2008). Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat kompon karet adalah sebagai berikut:

2.3.1 Karet/Polimer

2.3.1.1 Karet Alam SIR 10

Karet alam umumnya memiliki berat molekul berkisar 10^4 - 10^7 dan indeks distribusi berat molekul diantara 2,5 sampai 10. Dengan kelenturan rantai molekul yang tinggi, karet alam memiliki elastisitas luar biasa, ketahanan leleh yang tinggi dan kehilangan histerisis yang rendah. Di saat yang sama, stereoregulas tinggi dari struktur molekul karet alam menyebabkan ketegangan pada daerah kristal yang berakibat pada kemampuan memperkuat diri sendiri yang ditandai dengan menjadi naiknya kemampuan tarik, ketahanan koyak (*tear strength*) dan ketahanan gores. Selain itu, sifat di atas membuat karet alam mudah untuk diproses.



Gambar II.1 Rumus Struktur Kimia Karet Alam (a) 2-metil-1,3-butadiena, (b) cis-1,4 polyisoprene)

Sumber: Hoffman, 1989

Standar mutu karet Indonesia tercantum dalam *Standard Indonesian Rubber* (SIR) SNI 06-1903-2000 yang dikeluarkan oleh Pemerintah Republik Indonesia melalui Badan Standardisasi Nasional (BSN). Standar ini meliputi ruang lingkup, definisi, penggolongan, bahan olah, syarat ukuran, syarat mutu, pengambilan contoh, cara uji, pengemasan, syarat penandaan dan catatan umum *Standard Indonesian Rubber* (SIR). *Standard Indonesian Rubber* adalah karet alam yang diperoleh dengan pengolahan bahan olah karet yang berasal dari getah batang pohon *Hevea brasiliensis* secara mekanis dengan atau tanpa bahan kimia, serta mutunya ditentukan secara spesifikasi teknis (Hulu, 2013). Karet alam SIR 10 berasal dari koagulum lateks (lateks yang sudah digumpalkan).

Syarat mutu karet alam SIR 10 yang telah ditetapkan oleh Pemerintah Republik Indonesia melalui Badan Standardisasi Nasional (BSN) ditunjukkan dalam Tabel II.1.

Tabel II.1 Persyaratan Mutu Karet Alam SIR 10

No.	Jenis Uji/Karakteristik	Karet Alam SIR 10
1	Kadar kotoran (b/b)	Maks 0,03
2	Kadar abu (b/b)	Maks 0,75
3	Kadar zat menguap (b/b)	Maks 0,80
4	PRI	Min 60
5	Po	Min 30
6	Nitrogen (b/b)	Maks 0,60
7	Warna lambing	Coklat
8	Warna plastik pembungkus bandela	Transparan
9	Warna pita plastic	Putih susu/Transparan
10	Tebal plastik pembungkus bandela	0,03±0,01
11	Titik leleh plastik pembungkus bandela (°C)	Maks 108

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (BSN)

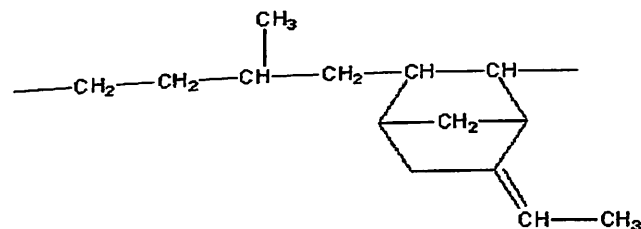
2.3.1.2 Karet Sintetis (EPDM)

EPDM (*Ethylene Propylene Diene Monomer*) adalah karet nonpolar dan memiliki sedikit ikatan tidak jenuh sehingga memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap bahan kimia, cuaca dan pengusangan. Rumus struktur EPDM dapat dilihat pada Gambar II.2. EPDM adalah salah satu karet sintetis yang banyak digunakan dalam bidang industri dan otomotif. EPDM mempunyai waktu pematangan yang lambat dan waktu induksi yang lama (Choi dkk, 2006).

Karet EPDM dapat divulkanisasi dengan cara tradisional karena pada jenis ini, di samping *ethylene* dan *propylene*, ditambahkan monomer yang ketiga sebagai

gugus samping. Monomer ketiga ini mempunyai ikatan rangkap sehingga memungkinkan terjadinya ikatan silang dengan menggunakan belerang, bahan pencepat dan bahan penggiat. Monomer ini bisa dari 1,4 *hexadiene* (HD), *etiliden nobonen* (EN) dan *disiklopentadiene* (DCHP).

Suatu hal yang spesifik pada karet ini adalah bahwa karet jenis ini mampu mengabsorb bahan pengisi dan minyak dalam jumlah besar. Karet EPDM tidak bersifat mudah lengket yang menyebabkannya tidak disukai sebagai komponen dalam pembuatan ban, dimana daya lengket lebih dibutuhkan. Suatu hal yang menguntungkan ialah karena karet ini dapat divulkanisasi pada suhu tinggi. Dengan menggunakan jenis karet ini, akan didapat keuntungan yaitu karet EPDM memiliki sifat sangat tahan terhadap panas, ozon dan cahaya matahari, fleksibilitas pada temperatur rendah baik, tahan terhadap alkali dan asam baik, sangat tahan air dan uap panas. Namun, karet jenis ini memiliki kekurangan yaitu tidak tahan minyak dan daya lekat ke logam dan *fabric* buruk (Arizal, 1994).



Gambar 11.2 Rumus Struktur EPDM

Sumber: Hofmann, 1989

Aplikasi utama karet jenis EPDM ini antara lain (Honggokusumo, 1994^(a)):

1. Karet untuk ban kendaraan
Dengan berkembangnya penelitian karet sintetik, akhirnya setiap komponen karet untuk ban walaupun dapat dibuat dari karet alam, telah juga beralih kearah pemakaian karet-karet lain. Bagian pinggir ("*side wall*") dari ban truk bisa dibuat menggunakan campuran EPDM.
2. "*Exposed rubber parts*"
Jenis karet yang sangat tahan terhadap ozon dan cahaya matahari yang umum digunakan untuk "*seals*" kaca ataupun barang karet lain untuk penggunaan luar,

yang jelas akan berhadapan dengan ozon dan cahaya matahari adalah karet EPDM.

3. Pipa pendingin

Pipa radiator umumnya terbuat dari campuran EPDM walaupun untuk beberapa jenis kendaraan berat, pipa radiatornya terbuat dari karet silikon. Namun, sebegitu jauh EPDM dianggap dapat digunakan tanpa memberikan kesulitan yang berarti bagi banyak pemakai kendaraan.

4. Pipa pendingin AC

Air dapat meresap ke dalam pipa karet sehingga akan mengurangi kemampuan pendinginan. Karet yang biasa digunakan ialah dari jenis EPDM.

5. Isolasi kabel

Campuran dari karet EPDM sudah diketahui banyak memiliki kelebihan untuk barang jadi karet yang digunakan pada aplikasi luar, salah satunya yaitu untuk isolasi kabel.

Tabel II.2 Sifat Fisika dari Karet Alam dan EPDM

Sifat Fisika	<i>Polyisoprene (C₅H₈)_n</i>	EPDM
Kekerasan (<i>Shore A</i>)	30-95	30-90
Kekuatan Tarik (psi)	500-3,500 (3,5-25 MPa)	500-2,500 (3,5-17 MPa)
Perpanjangan Putus (%)	300-900	100-700
<i>Specific gravity</i>	0,93	0,86
Nilai Set Kompresi	Sempurna	Buruk – Sempurna
Ketahanan Sobek	Baik – Sempurna	Cukup – Baik
Gaya Pantul	Sempurna	Cukup – Baik
Ketahanan Pengikisan	Baik – Sempurna	Baik
<i>Maximum for continuous use (°F)</i>	180 (82°C)	300 (149°C)
<i>Minimum for continuous use (°F)</i>	-60 (-51°C)	-60 (-51°C)

Sumber: Ridha Arizal, 1994 dan Rubber Products Company, Inc

2.3.2 Bahan Pncepat (*Accelerator*)

Belerang atau sulfur bila digunakan sendiri dapat memvulkanisasi karet, tetapi dalam tempo yang sangat lambat dan memerlukan sulfur yang banyak, temperatur yang tinggi dan waktu yang sangat lama. Oleh karena itu, diperlukan bahan pncepat. Hampir semua bahan pncepat memerlukan oksida metal (terutama ZnO) dan asam stearat untuk aktifitas penuh dan kelarutan dalam karet. Penggunaan bahan pncepat pada umumnya berkisar 0,3-2 phr (Arizal, 2015). Menurut Abednego (1994), *Accelerator* atau bahan pncepat adalah senyawa-

senyawa kimia yang apabila ditambahkan pada kompon karet sebelum proses vulkanisasi akan mempercepat proses vulkanisasi. Selain itu, penggunaan *accelerator* akan mengurangi jumlah bahan pemvulkanisasi yang digunakan.

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. Penggolongan *accelerator* berdasarkan golongan senyawa dan respon terhadap vulkanisasi tersaji dalam Tabel II.3, sedangkan penggolongan *accelerator* berdasarkan fungsinya tersaji dalam Tabel II.4.

Tabel II.3 Penggolongan *Accelerator* Berdasarkan Golongan Senyawa dan Respon Terhadap Vulkanisasi

Golongan	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 dkk, 2005

Tabel II.4 Penggolongan *Accelerator* Berdasarkan Fungsi

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

Sumber: Alfa dkk, 2005

Menurut Honggokusumo (1994^(b)), bahan pencepat dipilih berdasarkan kemampuannya untuk mengendalikan pengolahan dan sifat-sifat kompon karet sebagai berikut:

- Waktu sebelum vulkanisasi dimulai (pravulkanisasi).
- Laju vulkanisasi segera setelah vulkanisasi dimulai.
- Vulkanisasi lanjut (plateau atau reversi yang dapat mempengaruhi modulus, kekuatan tarik, kekuatan dan sifat mekanik vulkanisat lainnya).

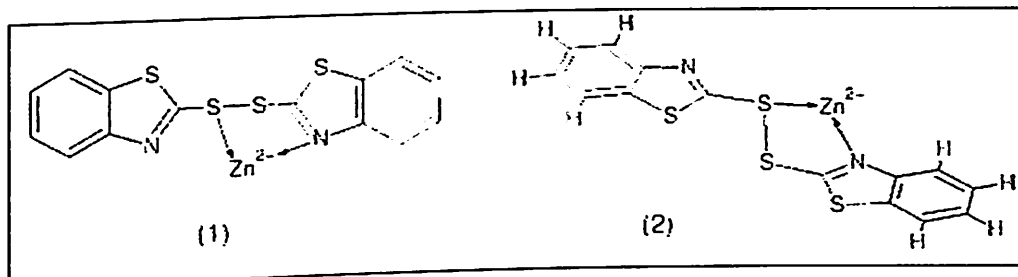
- d) Jenis ikatan silang yang terbentuk (berhubungan dengan ketahanan usang dan ketahanan letih).
- e) Beberapa faktor misalnya kemantapan simpan kompon, kerekatan pada serat atau baja, kecenderungan “*bloom*” dll.
- f) Harga.

Bahan pencepat yang digunakan pada penelitian ini adalah dari golongan pencepat sulfenamida yaitu CBS (*N-Cyclohexyl-2-Benzothiazole Sulfonamide*).

2.3.3 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, 2005). Penggunaan bahan penggiat pada umumnya berkisar 3-6 phr (Arizal, 2015).

Menurut Sasongko (2012), penggunaan bahan pencepat dan bahan pengaktifasi secara bersamaan membentuk sistem aktifator yang akan menstimulus proses percepatan pembentukan ikatan silang pada saat vulkanisasi berlangsung. Sistem aktifator pada proses vulkanisasi dengan belerang yang paling sering digunakan adalah kombinasi antara asam stearat dan zink oksida. Asam stearat dan zink oksida membentuk garam. Selanjutnya, garam ini membentuk kompleks bidentat dengan bahan pencepat. Gambar II.3 menunjukkan struktur bidentat/kelat yang terbentuk dalam proses vulkanisasi. Untuk dapat meningkatkan sifat pengaktifasi dari bahan pengaktifasi, karet alam yang digunakan harus memiliki kadar nitrogen yang lebih rendah. Kadar nitrogen yang tinggi dalam kompon karet alam akan mengganggu pembentukan kelat antara ion Zn^{2+} dengan atom nitrogen pada akselerator organik.



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

Gambar II.3 Struktur Kelat Zn-MBTS

Sumber: Atur Ringga Sasongko, 2012

2.3.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi berfungsi sebagai penguat (*reinforcing*) yang dapat memperbesar volume karet, memperbaiki sifat fisis barang karet dan memperkuat vulkanisat (Boonstra, 2005). Efek penguatan bahan pengisi ditentukan oleh ukuran partikel, keadaan permukaan dan bentuk, kehalusan butiran dan kerataan penyebarannya. Jenis dan jumlah bahan pengisi terutama ditentukan oleh karakteristik produk dan kelenturan yang diinginkan. Bahan pengisi adalah campuran dari berbagai material (Rihayat, 2007).

Menurut Sasongko (2012), bahan pengisi diklasifikasikan menjadi dua yaitu *carbon black* dan bahan pengisi *non-black* atau biasa disebut bahan pengisi berwarna. Dari semua bahan pengisi, masing-masing bahan pengisi, baik yang *black* atau yang *non-black*, memiliki derajat keaktifan tersendiri. Berdasarkan keaktifannya, bahan pengisi dibagi atas dua golongan, yaitu golongan bahan pengisi aktif (bahan pengisis penguat) dan golongan bahan pengisi tidak aktif.

Bahan pengisi aktif berfungsi menambah/meningkatkan sifat-sifat mekanik seperti kekerasan, tegangan putus, ketahanan sobek, abrasi, sifat termal, sifat dielektrik dan elektromagnetik pada barang karetnya. Perubahan sifat-sifat akibat penambahan bahan pengisi ditentukan oleh ukuran, keadaan permukaan, bentuk butir dan jumlah phr dari bahan pengisi tersebut. Contoh bahan pengisi aktif adalah karbon hitam (*carbon black*) dan silika.

Penambahan *carbon black* akan mempengaruhi sifat kompon, viskositas dan kekuatan kompon akan bertambah, namun penggunaan *carbon black* mempunyai kelemahan, yaitu daya lekat kompon akan berkurang. Hal ini membuat *carbon*

black sulit menyatu dengan bahan penyusun lainnya pada saat pencampuran. Selain itu, Honggokusumo (1994^(a)) juga berpendapat bahwa *carbon black* dengan ukuran partikel kecil dapat memberikan kuat tarik (*tensile strength*) tertinggi pada penambahan optimum. *Carbon black* dengan kode ASTM dimulai dengan huruf N (*normal curing*) juga dapat mengaktifkan vulkanisasi (Omafuma dkk, 2001).

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis *filler* yaitu silika dan *carbon black* N220. *Carbon black* N220 diperuntukkan untuk karet yang akan diaplikasikan untuk *outdoor* yang harus memiliki sifat mekanik yang baik (Arizal, 2015).

2.3.5 Antioksidan/Antiozonan (*Antidegradant*)

Antidegradant adalah bahan kimia yang digunakan di dalam kompon untuk melindungi kompon karet terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh oksigen, ozon, cahaya matahari, katalis logam dan benturan mekanis. *Antidegradant* dapat melindungi barang jadi karet dari pengusangan dan meningkatkan usia penggunaannya (Honggokusumo, 1994^(a)). Karet tanpa antioksidan akan mudah teroksidasi sehingga menjadi lunak kemudian lengket dan akhirnya menjadi keras dan retak-retak (*aging*) (Akademi Teknologi Kulit, 2008). Selain itu menurut Honggokusumo (1994^(a)), pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam pemilihan *antidegradant*, antara lain:

1. Jenis proteksi yang dikehendaki (ozon, oksidasi, panas, sinar UV atau deaktivator logam).
2. Keaktifan kimia dan mudah terdispersi pada seluruh bagian karet.
3. Tidak mudah menguap dan terekstraksi (dengan air).
4. Tidak mudah berubah warna atau meninggalkan bercak.
5. Biaya.
6. Pasangan *antidegradant* yang memberikan efek sinergi yaitu PPD dan TMQ.

Menurut Arizal (2015), penggunaan bahan *antidegradant* pada umumnya berkisar 1-2 phr. Bahan *antidegradant* yang digunakan pada penelitian ini adalah rubatan TMQ, *coumarone resin* dan *waxes*, dimana *wax* dipakai terutama untuk mencegah proses *aging* yang disebabkan oleh sinar matahari dan ozon.

2.3.6 Bahan Bantu Olah (*Processing Aids*)

Menurut Abednego (1994), bahan bantu pengolahan (*processing aids*) adalah bahan yang bila dicampurkan ke dalam kompon karet akan mempermudah proses pencampuran (*mixing*) atau memperlancar pengolahan (*processing*) tanpa mempengaruhi sifat fisik barang jadi karetnya. Dengan demikian, waktu dan energi pengolahan dapat dihemat. Selain itu, menurut Alfa (2005), tujuan lain dari bahan bantu olah (*processing aids*) adalah untuk meningkatkan performansi/tampilan dari produk karet, untuk mempermudah proses *mixing*, *calendaring*, *ekstruder* dan *molding*. Bahan-bahan ini ditambahkan pada kompon karet sesuai dengan kebutuhan atau tujuan.

Menurut Arizal (2015), *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*.

Salah satu bahan bantu olah yaitu bahan pelunak (*softener*) memiliki fungsi yaitu untuk melunakkan karet mentah agar mudah diolah menjadi kompon karet. Menurut Abednego (1996), penambahan bahan pelunak ke dalam kompon karet menghasilkan sifat-sifat berikut:

- Memudahkan pencampuran bahan pengisi ke dalam kompon karet.
- Mempersingkat waktu dan menurunkan suhu pencampuran.
- Menghambat “*scorch*” (penghangusan).
- Memudahkan proses pemberian bentuk.

Tabel II.5 Kompatibilitas Beberapa Minyak Pengolahan Dengan Karet

Karet	<i>Processing Oil</i>
<i>Vistanex</i>	Parafin
<i>Butyl</i>	Parafin
EPDM	Parafin
Karet Alam	Aromatik
SBR (<i>Styrene Butadiene Rubber</i>)	Aromatik
BR (<i>Butadiene Rubber</i>)	Aromatik
<i>Chloroprene</i>	Aromatik atau ester
<i>Nitrile</i>	Aromatik atau ester

Sumber: Suharto IIonggokusumo, 1994^(a)

Contoh bahan pelunak ialah minyak mineral (senyawa parafinik, naftenik, aromatik), lilin parafin (*paraffin wax*) dan minyak nabati. Dalam penelitian ini

digunakan minyak parafinik sebagai bahan pelunaknya. Mengingat dari kedua jenis karet yang digunakan yaitu karet alam dan karet sintetis EPDM, yang memiliki tingkat pengolahan yang sulit yaitu karet sintetis EPDM sehingga menggunakan bahan pelunak untuk karet tersebut.

2.3.7 Bahan Pemvulkanisasi

Menurut Abednego (1994), pada proses vulkanisasi, kompon karet menjadi matang dan produknya disebut vulkanisat. Untuk proses vulkanisasi diperlukan bahan pemvulkanisasi karena tanpa bahan tersebut kompon karet tidak akan matang. Bahan pemvulkanisasi dapat pula dihasilkan oleh suatu bahan yang pada saat vulkanisasi, rantai-rantai molekul karet yang semula terlepas dan dapat bergerak bebas menjadi terikat oleh bahan pemvulkanisasi dan membentuk jaringan tiga dimensi. Dengan demikian, kompon yang semula lembek dan plastis, diubah menjadi barang karet yang kuat dan elastis.

Bahan pemvulkanisasi yang paling banyak digunakan adalah belerang, yaitu untuk memvulkanisasi NR, SBR, BR, IR, NBR, IIR dan EPDM. Belerang yang digunakan sebagian besar adalah "*soluble sulphur*". Pada pemakaian dosis tinggi dan selama penyimpanan, belerang tersebut dapat migrasi ke permukaan kompon, yang disebut "*blooming*". Gejala tersebut tidak diinginkan karena akan mengurangi daya rekat antar lapisan kompon. Untuk mengatasi kendala tersebut dapat digunakan "*insoluble sulphur*".

Bahan pemvulkanisasi adalah sejenis bahan kimia karet yang dapat bereaksi dengan gugus aktif molekul karet pada proses vulkanisasi membentuk ikatan silang antar molekul karet sehingga terbentuk jaringan tiga dimensi. Bahan ini dapat berupa sulfur, sulfur donor atau oksida logam. Sulfur merupakan bahan kimia pertama yang digunakan sebagai bahan pemvulkanisasi (Alfa, 2005).

2.4 Proses Pembuatan Kompon Karet

Pembuatan kompon karet adalah suatu ilmu yang kompleks dan multidisiplin dalam cara memilih dan mencampurkan kombinasi dari elastomer yang tepat dan bahan lainnya untuk memenuhi kinerja, proses manufaktur, lingkungan dan biaya yang dibutuhkan agar barang jadi karet dapat dibuat dan diperdagangkan. Ada

berbagai jenis elastomer dan bahan-bahan yang dibutuhkan dalam membuat barang jadi karet, seperti ban, ban dalam, ban vulkanisir, alas kaki, karet gulungan, selang, sabuk, *weather stripping*, *O-ring*, segel, diafragma, perpipaan, sarung tangan karet dan lateks, bola dalam, peralatan medis, *bumper* dan barang produk barang jadi karet lainnya (Sidabutar, 2014).

Mastikasi adalah proses awal dalam pembuatan kompon karet. 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 atau *backbone* dari karet diputus-putus yang berakibat viskositasnya menurun. Proses mastikasi terbagi menjadi dua jenis berdasarkan temperatur yang digunakan, yaitu mastikasi dingin dan panas. Mastikasi dingin merupakan proses pelunakan yang dilakukan pada suhu di bawah 100°C pada mastikasi panas. Mastikasi ini lebih dominan berasal dari proses oksidasi yang dialami oleh rantai molekul karet. Istilah vulkanisasi ialah proses pemanasan keret setelah dicampur dengan belerang. Namun secara kimiawi, vulkanisasi adalah proses pembentukan polimer karet untuk saling bertautan satu sama lain (*cross-linking*). Sejak ditemukan oleh Charles Goodyear tahun 1839, proses vulkanisasi ini sering memakai senyawa belerang (sulfur) sebagai pengikat polimer karet tersebut. Tujuan proses vulkanisasi karet adalah agar barang jadi yang akan dihasilkan menjadi kuat (Ompusunggu, 1987).

2.4.1 *Mixing*

Pencampuran atau *mixing* adalah suatu tahapan utama dalam pembuatan kompon yang bertujuan untuk memasukkan bahan-bahan kimia ke dalam karet secara merata (homogen). Pencampuran tersebut dapat dilakukan dalam mesin pencampur terbuka (*open-mill mixer*) atau pencampuran tertutup (*internal mixer*). Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap mutu campuran, antara lain suhu mesin, waktu pencampuran dan urutan pemasukan bahan. Hal yang perlu mendapat perhatian adalah dalam pemasukan bahan pengisi, terutama *carbon black*. Seperti diketahui, *carbon black* dalam kompon karet akan meningkatkan beberapa sifat fisik, antara lain sifat tarik (*tensile properties*), kikis (*abrasion*) dan sobek (*tearing*),

selain kekerasan (*hardness*) dan modulus. Pada proses pencampuran bahan kimia kompon karet, termasuk bahan pengisi, terdapat beberapa tahapan, yaitu:

1. Penurunan viskositas karet

Penurunan viskositas karet dilakukan pada tahap mastikasi, dimana rantai polimer karet mengalami pemutusan.

2. Inkorporasi

Tahap ini disebut pula sebagai "*wetting stage*", yaitu karet yang telah mengalami penurunan viskositas siap untuk menerima bahan pengisi dan bahan serbuk lainnya. Bahan-bahan yang digunakan ke dalam matriks karet akan diselimuti oleh lapisan-lapisan karet yang sudah bersifat plastis.

3. Distribusi/Dispersi

Tenaga mekanis gilingan atau rotor yang dihasilkan dari geseran antara dua *roll* (gilingan terbuka) atau antar rotor serta rotor dan dinding ruang pencampur (gilingan tertutup) mampu memutuskan gaya Van der Waals sehingga *agglomerate carbon black* akan hancur menjadi struktur carbon black yang lebih kecil. Struktur lebih kecil tersebut selanjutnya harus terdistribusi secara merata dalam matriks karet. Distribusi *carbon black* akan lebih mudah dan akan menghasilkan campuran lebih homogen apabila dicampurkan pula bahan pelunak, seperti *oil*.

4. Plastisasi

Karet yang telah bercampur dengan bahan kimia termasuk bahan pengisi akan mengalami plastisasi lebih lanjut sehingga akan lebih memudahkan proses lebih lanjut.

Pada proses pencampuran, suhu yang timbul pada kompon akibat tenaga mekanis geseran antara permukaan kompon dengan gilingan atau rotor serta dinding ruang pencampur akan tinggi sehingga mencapai pada suhu vulkanisasi. Oleh sebab itu, selain harus mengawasi suhu pada gilingan rotor, urutan pencampuran, terutama bahan vulkanisasi dan pencepat harus diperhatikan sehingga resiko timbulnya vulkanisasi dini (*scorch*) dapat dihindarkan (Bhuana, 1994).

Secara garis besar, proses *mixing* dimulai dengan pencampuran bahan karet di dalam *kneader* yaitu alat gilingan tertutup. Karet dan *peptizer* dimastikasi selama

beberapa menit, kemudian bahan tambahan lain seperti *filler*, *activator* dan *antidegradant* dimasukkan dan dicampur, selanjutnya minyak dimasukkan dan dicampur hingga homogen. Kompon kemudian diistirahatkan selama 24 jam, untuk selanjutnya dilakukan penambahan *accelerator* dan sulfur. Kompon yang sudah jadi dibuat lembaran menggunakan *open mill* pada suhu optimum kompon yaitu 70°C.

2.4.2 Vulkanisasi

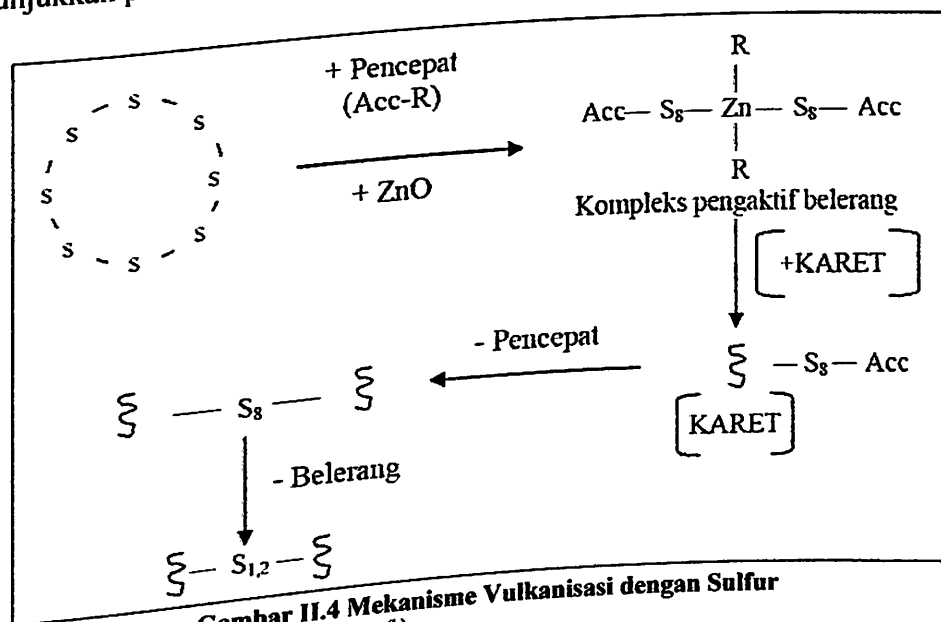
Pengolahan tahap terakhir pada pembuatan barang jadi karet yaitu vulkanisasi. Vulkanisasi adalah suatu proses yang tidak dapat balik, dimana selama proses terjadi perubahan sifat kompon karet yang plastis menjadi elastis dengan cara pembentukan ikatan silang di dalam struktur molekulnya. Dalam reaksi pembentukan ikatan silang tersebut diperlukan energi panas dari luar. Energi ini disuplai oleh mesin vulkanisasi ke dalam kompon selama vulkanisasi, antara lain dengan cara radiasi, konveksi, maupun konduksi. Makin besar jumlah panas yang disuplai mesin ke dalam kompon, makin cepat terjadi reaksi vulkanisasi. Dengan perkataan lain, makin tinggi suhu vulkanisasi, makin cepat berakhir proses vulkanisasi. Media pemanas yang digunakan dalam vulkanisasi yaitu uap jenuh, udara panas, panas listrik, *fluid bed*, *salt-bath* dan gelombang elektromagnetik.

Pembuatan bahan karet alam vulkanisat (*thermoset rubber*) dari bahan karet alam adalah salah satu potensi produk Indonesia yang sangat menjanjikan pada masa sekarang dan akan datang. Karet alam vulkanisat (*thermoset rubber*) memiliki kelebihan yaitu tahan terhadap temperatur yang ekstrim, memiliki ketahanan terhadap bahan-bahan kimia, bersifat tahan air, memiliki ketahanan terhadap sinar UV, tidak mudah terdegradasi sehingga sangat cocok sebagai bahan dalam pembuatan ban (Sinurat, 1994).

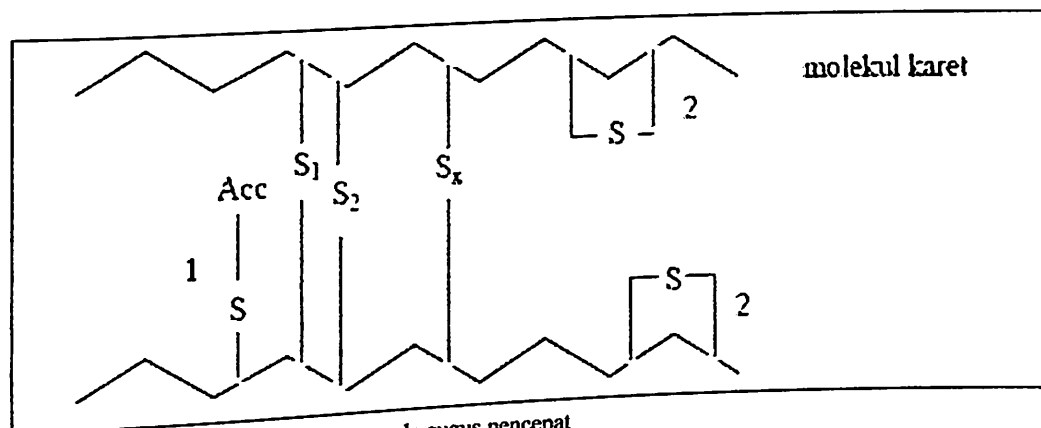
Laju vulkanisasi dapat ditingkatkan melalui penambahan bahan pencepat dan penggiat. Kombinasi antara bahan pemvulkanisasi, bahan pencepat dan bahan penggiat disebut sistem vulkanisasi. Sistem vulkanisasi dapat didefinisikan sebagai jumlah aditif yang diperlukan untuk memvulkanisasi elastomer atau karet yang semula bersifat plastis, liat dan tidak mantap terhadap suhu (*thermoplastic*) 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).

Menurut Honggokusumo (1994^(b)), mekanisme vulkanisasi belerang ditunjukkan pada Gambar II.4. Pada awal reaksi terjadi pemutusan lingkaran molekul sulfur (S_8) yang kemudian membentuk kompleks pengaktif 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 pemanasan yang relatif lama pada proses pemasakan, ikatan polisulfida yang memiliki energi rendah akan putus membentuk ikatan silang yang lebih pendek. Sebagai akibatnya monomolekul belerang yang putus membentuk ikatan silang yang baru atau ikatan belerang intermolekular sepanjang molekul karet dan terbentuknya ikatan rangkap terkonjugasi seperti ditunjukkan pada Gambar II.5 (Honggokusumo, 1994^(b)).



Gambar II.4 Mekanisme Vulkanisasi dengan Sulfur
Sumber: Suharto Honggokusumo, 1994^(b)



Keterangan: S₁: monosulfida
S₂: disulfida
S_x: polisulfida (x ≥ 3)

1: gugus pencepat
2: ikatan belerang intermolekuler

Gambar II.5 Struktur Ikatan Silang dan Ikatan Intermolekuler pada Vulkanisat Belerang
Sumber: Suharto Honggokusumo, 1994^(b)

2.5 Rubber Airbag

Perkembangan teknologi dalam dunia perkapalan akhir-akhir ini cepat berkembang, salah satunya yaitu dengan digunakannya sistem kantong udara atau *airbag system* sebagai sarana untuk peluncuran dan sarana untuk naik turun kapal yang akan atau telah diperbaiki. *Airbag system* pertama kali digunakan pada 20 Januari 1981 di galangan kapal Xiao Qinghe di Kota Jinan Provinsi Shangdong, China. Pada saat itu, *airbag* digunakan untuk meluncurkan *barge* dengan ukuran 60 DWT. Dalam kurun waktu sekitar 10 tahun ini, sistem peluncuran kapal dengan *airbag* telah berkembang, tidak hanya dari segi *airbag*nya saja tetapi juga dari segi penggunaannya. *Airbag* generasi pertama dibuat dengan menggunakan kanvas yang dicelupkan ke dalam karet sebagai lapisan penguat untuk membentuk ruang udara, namun pada jaman sekarang teknologi pelapisan utuh digunakan dalam manufakturnya. *Airbag* yang ada pada saat ini lebih kuat 15 kali lipat daripada *airbag* generasi pertama. Teknologi peluncuran dan pendaratannya juga telah berkembang.

Airbag merupakan suatu metode yang bisa digunakan untuk meluncurkan kapal dan sarana untuk *docking undocking* dalam kegiatan reparasi kapal. Bahan dasar *airbag* berupa lapisan-lapisan *rubber* lebih tepatnya disebut lapisan *synthetic-cord-reinforced rubber*, yaitu jenis *airbag* silinder dengan ujung-ujung kepalanya berbentuk *hemispherical*. Semuanya divulkanisir bersamaan, kemudian

dimasukkan udara bertekanan yang memungkinkan terjadinya perputaran. *Airbag* yang diproduksi mempunyai standar, yaitu diameter *airbag* antara 0,8 sampai 2 meter, panjang efektif *airbag* antara 6 sampai 18 meter dan total panjang *airbag* antara 7 sampai 19,5 meter. Berikut ini merupakan bagian-bagian dari *airbag*, antara lain (Haryani dan Pribadi, 2013):

1) Lapisan terluar

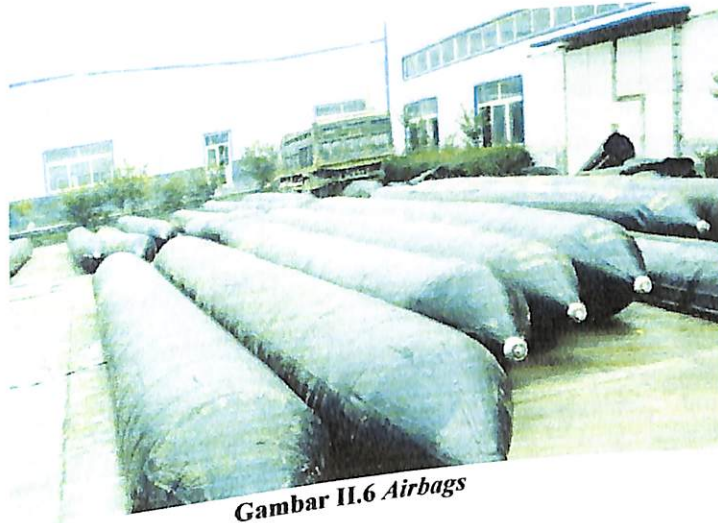
Lapisan luar *rubber* yang merupakan lapisan terluar pada *airbag* untuk melindungi kawat (*cord*) dari abrasi dan gaya luar lainnya. Bahan lapisan terluar ini cukup lentur dan kuat menahan sobekan di berbagai macam cuaca dan perlakuan yang keras.

2) *Synthetic-tyre-cord layer for reinforcement*

Lapisan penguat berupa kawat (*cord*) pada peluncuran dengan *airbag system* yang mana terbuat dari *synthetic-tyre-cord*, yang biasa digunakan pada ban yang disusun dengan sudut yang ideal agar bisa menahan tekanan dari dalam dan mendistribusikan tegangan secara sama.

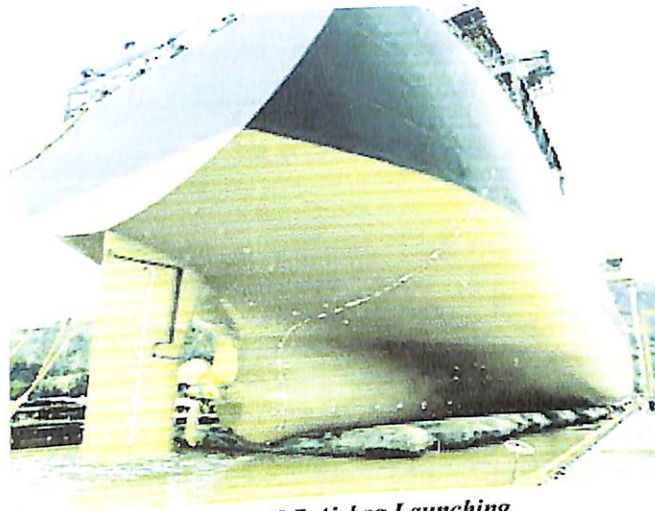
3) Bagian ujung

Pada bagian ujung dari *airbag* ini merupakan *air tightness* dan *airbag safety air inlet*.



Gambar II.6 Airbags

Sumber: Haryani dan Pribadi, 2013



Gambar II.7 Airbag Launching

Sumber: Siswanto dkk, 2012

Rubber airbag adalah salah satu produk karet untuk aplikasi peluncuran kapal dari galangan karena bekerja dalam lingkungan air laut. Indonesia adalah penghasil karet alam terbesar di dunia setelah Thailand, tetapi industri karet masih sangat terbatas menghasilkan produk-produk umum yang memiliki sedikit nilai tambah. Produk *Rubber Airbag For Launching Ship* masih 100% impor, sementara kebutuhan industri galangan akan produk tersebut terus meningkat, hal ini sejalan dengan realisasi produksi di industri galangan kapal nasional sepanjang 2008 melonjak 28,33% menjadi 7,75 juta gross ton (GT). Kegiatan ini dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan kegiatan pengkajian dan penerapan teknologi industri sesuai dengan sarana iptek yang tersedia. Salah satu yang potensial adalah rekayasa material karet alam untuk aplikasi *rubber airbag* untuk peluncuran kapal dari galangan (Siswanto dkk, 2012).

Saat ini, karet untuk aplikasi *airbag system* menggunakan karet sintetis jenis EPDM dikarenakan karet jenis ini memiliki sifat sangat tahan terhadap panas, ozon dan cahaya matahari, selain itu juga tahan terhadap air dan uap panas sehingga sangat cocok untuk aplikasi *airbag system* yang bekerja di lingkungan air laut. Potensi karet alam yang dimiliki Indonesia sangatlah besar, namun penggunaan karet alam untuk produksi barang jadi karet masih kurang sehingga dibutuhkan suatu teknologi dan inovasi untuk meningkatkan nilai guna dari karet alam tersebut dan juga dapat meningkatkan devisa negara melalui produk barang jadi karet yang

diproduksi di dalam negeri. Kegiatan ini dimaksudkan untuk memanfaatkan potensi karet alam dalam negeri dengan merekayasa karet alam tersebut dengan beberapa formulasi yang menggunakan campuran karet EPDM dan sistem vulkanisasi yang cocok guna memenuhi target spesifikasi *rubber airbag* berdasarkan *international standard* ISO 14409:2011.

Tabel II.6 Target Spesifikasi *Rubber Airbag*

No.	Pengujian	Nilai	Metode Uji
1	<i>Tensile strength</i> , MPa	≥ 18	ISO 37/ASTM D412
2	<i>Elongation at break</i> , %	≥ 400	ISO 37/ASTM D412
3	<i>Hardness</i> , * (<i>Shore A</i>)	60 ± 10	ISO 7619-1/ASTM D2240
4	<i>Tear strength</i> , N/cm	≥ 400	ISO 34-1/ASTM D624
5	<i>Compression set</i> , % ($70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 22 h)	≤ 30	ISO 815-1/ASTM D395

Sumber: ISO 14409:2011

Pengujian *tensile strength* dan *elongation at break* menggunakan metode pengujian yang sama yaitu standar internasional ISO 37:2011 (*Rubber, Vulcanized or Thermoplastic-Determination of tensile stress-strain properties*), dimana standar internasional tersebut selaras dengan standar internasional ASTM D412 yang digunakan pada alat *universal testing machine* di Laboratorium Karet, Pusat Teknologi Material-BPPT. Kedua metode uji ini mencakup prosedur yang digunakan untuk mengevaluasi mekanik vulkanisat karet atau termoplastik, dimana sifat yang dapat ditentukan adalah kekuatan tarik, pemanjangan saat putus, tekanan pada pemanjangan yang diberikan, pemanjangan pada tegangan yang diberikan, tegangan pada hasil dan pemanjangan pada hasil.

Menurut ISO 14409:2011, pengujian kekerasan menggunakan metode pengujian berupa standar internasional ISO 7619-1:2010 (*Rubber, Vulcanized or Thermoplastic-Determination of indentation hardness -- Part 1: Durometer method (Shore hardness)*), dimana standar internasional ISO tersebut selaras dengan standar internasional ASTM D2240 yang digunakan pada alat *durometer hardness* di Laboratorium Karet, Pusat Teknologi Material-BPPT. Kedua metode uji ini didasarkan pada penetrasi tipe indenter tertentu saat dipaksa masuk ke material dalam kondisi tertentu. Kekerasan indentasi berbanding terbalik dengan penetrasi dan bergantung pada modulus elastis dan perilaku viskoelastik material, sehingga kedua metode digunakan untuk menentukan kekerasan indentasi (kekerasan *shore*)

dari vulkanisat karet atau termoplastik dengan menggunakan alat *durometer*, dimana skala A untuk karet dalam kisaran kekerasan normal; Skala D untuk karet dalam kisaran kekerasan tinggi; Skala AO untuk karet di kisaran kekerasan rendah dan untuk karet bergerak; dan skala AM untuk potongan uji karet tipis dalam kisaran kekerasan normal.

Pengujian *tear strength* pada ISO 14409:2011 mengacu pada standar internasional ISO 34-1:2010 (*Rubber, vulcanized or thermoplastic-Determination of tear strength -- Part 1: Trouser, angle and crescent test pieces*), dimana standar internasional ISO tersebut selaras dengan standar internasional ASTM D624 yang digunakan di Laboratorium Karet, Pusat Teknologi Material-BPPT dalam pengujian *tear strength*. Kedua metode uji ini menjelaskan prosedur untuk mengukur sifat vulkanisat karet konvensional dan elastomer termoplastik yang disebut kekuatan sobek. Nilai kekuatan sobek yang didapat tergantung pada bentuk potongan uji, kecepatan peregangan, dan suhu uji.

Menurut ISO 14409:2011, pengujian *compression set* menggunakan metode pengujian berupa standar internasional ISO 815-1:2008 (*Rubber, vulcanized or thermoplastic-Determination of compression set -- Part 1: At ambient or elevated temperatures*) dan standar tersebut telah direvisi menjadi ISO 815-1:2014. Standar internasional ISO tersebut selaras dengan standar internasional ASTM D395 yang digunakan pada alat *compression set* di Laboratorium Karet, Pusat Teknologi Material-BPPT. Kedua metode uji ini mencakup pengujian karet yang dimaksudkan untuk digunakan dalam aplikasi dimana karet akan mengalami tekanan tekan pada media udara atau cairan dan juga merupakan metode untuk menentukan karakteristik set kompresi vulkanisat karet dan termoplastik pada suhu sekitar atau tinggi.

2.6 Karakterisasi Pemrosesan Kompon Karet

2.6.1 Uji Kematangan (*Rheometer Test*)

Rheometer adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian karakteristik vulkanisasi secara lengkap dan teliti pada kompon karet. Pengujian karakteristik vulkanisasi dapat juga dilakukan dengan peralatan *Mooney*

Viscometer, namun ketelitian hasilnya tidak dapat dipercaya karena rotor *Mooney Viscometer* yang berputar pada satu arah dapat mengalami pengurangan tahanan dari karet yang diuji karena terjadinya vulkanisasi sehingga akan terjadi slip. Hasil dari uji kemandangan dihasilkan *curing time* yaitu waktu optimum yang dibutuhkan untuk kompon karet berikatan silang membentuk vulkanisat karet pada proses vulkanisasi di alat *hotpress*.

Prinsip kerja *Rheometer* hampir sama dengan *Mooney Viscometer* yaitu terdiri dari sebuah ruangan yang dibentuk oleh dua buah plat stator atas dan bawah. Sebuah rotor diletakkan di dalam ruangan tersebut yang berputar bolak-balik dan membentuk satu sudut osilasi yang dapat diatur sebesar 1°, 3° dan 5°.

Pada pengujian dengan alat *Rheometer*, contoh uji karet yang sudah berbentuk kompon akan mengalami vulkanisasi. Selama berlangsungnya proses vulkanisasi tersebut akan ditandai dengan meningkatnya nilai viskositas. Rotor akan bergerak secara osilasi di tengah-tengah contoh uji bahan/kompon karet pada temperatur yang dipilih. Peralatan *Rheometer* akan mencatat tahanan yang disebabkan oleh contoh uji terhadap gerak osilasi rotor. Pengujian waktu kematangan karet menggunakan standar internasional ASTM D5289-12, dimana peralatan *Rheometer* yang digunakan yaitu *Moving Die Rheometer 3000 MonTech Rheometer* pada suhu 140°C selama 40 menit. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 5), sampel uji pada lampiran C (Gambar 2).

2.6.2 Uji Kekentalan (*Viscosity Test*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan viskositas dan perilaku kompon karet pada saat diproses, dengan peralatan yang digunakan adalah *Mooney Viscometer*. Prinsip kerja *Mooney Viscometer* yaitu dengan memutarakan sebuah rotor yang ada didalam suatu bentuk silinder yang didalamnya terdapat juga karet yang akan diuji. Semakin besar viskositas karet, semakin besar pula perlawanan yang akan diberikan oleh karet kepada rotor. Besarnya viskositas karet tergantung pada berat molekul dari karet.

Ruang lingkup pengujian untuk kompon karet yang masih mentah dilakukan pada suhu 140°C menggunakan *MonTech Mooney Viscometer* dengan *preheat* 1 menit, *set time* 4 menit dan waktu relaksasi 1 menit. Pengujian kekentalan kompon

karet ini didasarkan pada metode pengujian standar internasional ASTM D1646-15. Alat pengujian dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 6), sampel uji pada lampiran C (Gambar 3).

2.6.3 Hotpress

Hotpress merupakan alat yang digunakan untuk proses vulkanisasi kompon karet yang akan dibuat sampel. Proses vulkanisasi yang dilakukan sesuai data yang telah diperoleh dari hasil proses pematangan pada *Rheometer*. Suhu, waktu dan tekanan sangat penting terhadap pematangan karet. Alat yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 2).

2.7 Pengujian *Sea Water Resistance*

Pada penelitian ini, sampel yang telah divulkanisasi akan dikarakterisasi sifat vulkanisatnya sebelum dan setelah proses pengusangan (*aging*) dengan pengujian ketahanan air laut. Tahap pengusangan (*aging test*) merupakan suatu cara pengujian untuk mengetahui keusangan dari vulkanisat yang disebabkan karena panas. Tahap pengusangan dapat dilakukan dengan menggunakan salah satu cara berikut:

1. Pengujian keusangan melalui pemanasan dengan udara.
2. Pengujian keusangan dengan melalui pemanasan dengan oksigen bertekanan.
3. Pengujian keusangan melalui pemanasan dengan udara bertekanan.
4. Pengujian keusangan melalui pemanasan dengan *test tube* (tabung uji).

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian keusangan dengan cara tabung uji dan sebuah alat pemanas. Media tempat uji air laut yang digunakan pada penelitian ini yaitu *erlenmeyer* 2000ml yang disesuaikan dengan jumlah sampel yang akan diuji. Tahap pengusangan pada penelitian kali ini menggunakan air laut sebagai bahan utama untuk pengujian keusangan pada sampel karet. Pengujian keusangan dengan bahan utama menggunakan air laut belum dilakukan di Indonesia, maka pengujian air laut ini merupakan pengujian pertama yang dilakukan di Indonesia. Untuk itu, rangkaian alat yang digunakan untuk melakukan pengujian air laut ini belum ada sehingga peralatan alat uji air laut yang digunakan untuk menunjang pengujian ini dirakit sendiri sesuai dengan *testing*

standard sea water resistance yaitu ASTM D 471. Alat pengujian yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 15).

2.8 Pengujian Sifat Mekanik Vulkanisat Karet

2.8.1 Pengujian Tegangan Putus (*Tensile Strength Test*) dan Perpanjangan

Putus (*Elongation at Break*)

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 at break*) dan tegangan yang terjadi pada saat dicapai perpanjangan tertentu (*tensile stress*).

Bahan karet vulkanisat apabila diberi tekanan/tarikan akan mengalami perubahan bentuk. Tarikan yang diberikan akan menyebabkan bahan karet mengalami perpanjangan (*elongation*) sampai batas tertentu pada kekuatan tegangan (beban) tertentu selanjutnya akan terjadi pemutusan.

Karakteristik *tensile* sangat penting artinya pada pengukuran kerusakan bahan karet yang disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kerusakan setelah perendaman dengan suatu bahan kimia tertentu atau kerusakan karena penuaan, sebagai standar atau pembanding nilai *tensile strength*nya maupun elongasinya dengan keadaan bahan karet pada kondisi normal. Pengujian tarik dan perpanjangan putus ini menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) berdasarkan ASTM D412. Alat pengujian yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 11 dan 12), sampel uji pada lampiran C (Gambar 6 dan 7).

2.8.2 Pengujian Ketahanan Sobek (*Tear Strength Test*)

Pengujian ketahanan sobek (*tear strength test*) merupakan pengujian terhadap sampel karet yang bertujuan untuk mengukur ketahanan sobek dari suatu karet vulkanisat. Uji ini adalah untuk mengukur tenaga yang dibutuhkan untuk menyobek contoh uji. Pengujian ketahanan sobek ini mengacu pada standar internasional ASTM D624 dengan menggunakan alat yang sama pada pengujian tarik yaitu *Universal Testing Machine* (UTM). Alat pengujian yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 11 dan 13), sampel uji pada lampiran C (Gambar 6 dan 7).

2.8.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengukur kekerasan dari vulkanisat karet. Kekerasan dari vulkanisat berbeda-beda, bergantung pada jumlah bahan pengisi dan jumlah bahan pelunak yang digunakan. Prinsip pengujiannya adalah dengan mengukur kekerasan dari sampel dengan cara mengukur ke dalam penetrasi suatu jarum (*indenter*) yang masuk ke dalam permukaan sampel yang disebabkan oleh suatu benda yang diberikan pada jarum tersebut. Pengujian kekerasan menggunakan alat *durometer hardness* ASTM D2240 tipe *shore A*. Alat pengujian yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 16), sampel uji pada lampiran C (Gambar 5).

2.8.4 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. Uji pampatan tetap dilakukan untuk mengetahui sifat elastis dari vulkanisat setelah ditekan pada waktu dan kondisi tertentu. Uji ini dilakukan terutama untuk barang-barang karet yang dalam pemakaiannya mengalami tekanan, seperti *rubber airbag* ini yang harus mampu menahan beban kapal yang akan dinaikkan/diturunkan dari galangan. Pengujian pemampatan ini mengacu pada metode standar internasional ASTM D395, dimana menggunakan alat uji pemampat (*Compression Device*) dan membutuhkan tiga buah sampel untuk tiap-tiap formula. Alat pengujian yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 18), sampel uji pada lampiran C (Gambar 5).

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 Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan pada bulan Januari s.d Maret 2017.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

a. Alat Proses:

1. *Rubber Cutter Machine*
2. *Kneader*
3. *Open mill*
4. *Hotpress*
5. *Vulcanizing mold*

b. Alat Penguji:

1. *Moving Die Rheometer 3000 Montech Rheometer*
2. *Montech Mooney Viscometer V-MV 3000*
3. *Universal Testing Machine (UTM)*
4. *Durometer Hardness*
5. *Compression Set*
6. *Sea Water Resistance*

c. Alat Penunjang:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. Timbangan Digital | 12. Neraca Analitik |
| 2. Gelas Plastik | 13. <i>Oven</i> |
| 3. Gunting | 14. Wadah Aluminium |
| 4. <i>Caliper</i> | 15. Penjepit sampel |
| 5. Termometer | 16. Statif |
| 6. Penjepit statif | 17. Gelas ukur |

- | | |
|---|-------------|
| 7. <i>Erlenmeyer</i> 2000ml | 18. Selang |
| 8. Kondensor | 19. Corong |
| 9. <i>Electric Heater</i> | 20. Spatula |
| 10. <i>Volume Sample Cutter</i> R-VS 3000 | 21. Pompa |
| 11. <i>Volume Sample Cutter</i> VS 3000 | |

3.2.2 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. *Standard Indonesian Rubber (SIR)* 10
2. *Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)*
3. Aktiplast 8 (*peptizer*)
4. Asam Stearat
5. ZnO
6. Silika
7. PEG 4000
8. Rubatan TMQ
9. *Carbon Black (N220)*
10. *Coumarone Resin*
11. *Paraffinic Oil*
12. *Wax*
13. CBS
14. Sulfur
15. *Aquadest*
16. Air laut

3.3 Variabel

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dapat mempengaruhi atau menjadi penyebab perubahan atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas memiliki fungsi utama sebagai acuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lain. Variabel bebas yang ditetapkan dalam penelitian ini sebagai berikut:

Tabel III.1 Variasi Komposisi SIR 10 dan EPDM

No.	Rubber	Komposisi (phr)	
		Karet Alam SIR 10	Karet Sintetis EPDM
1	Sampel A	100	0
2	Sampel B	90	10
3	Sampel C	80	20
4	Sampel D	0	100

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat berfungsi untuk mengetahui pengaruh dari variabel bebas. Pada penelitian ini variabel terikat yang ditetapkan sebagai berikut:

- | | | | |
|-----------------|---------|-------------------------|-----------|
| 1. Aktiplast 8 | : 3 phr | 7. Silika | : 5 phr |
| 2. Asam Stearat | : 3 phr | 8. PEG 4000 | : 0,5 phr |
| 3. ZnO | : 6 phr | 9. Rubatan TMQ | : 2 phr |
| 4. Wax | : 1 phr | 10. Carbon Black (N220) | : 35 phr |
| 5. CBS | : 1 phr | 11. Paraffinic Oil | : 6 phr |
| 6. Sulfur | : 2 phr | 12. Coumarone Resin | : 8 phr |

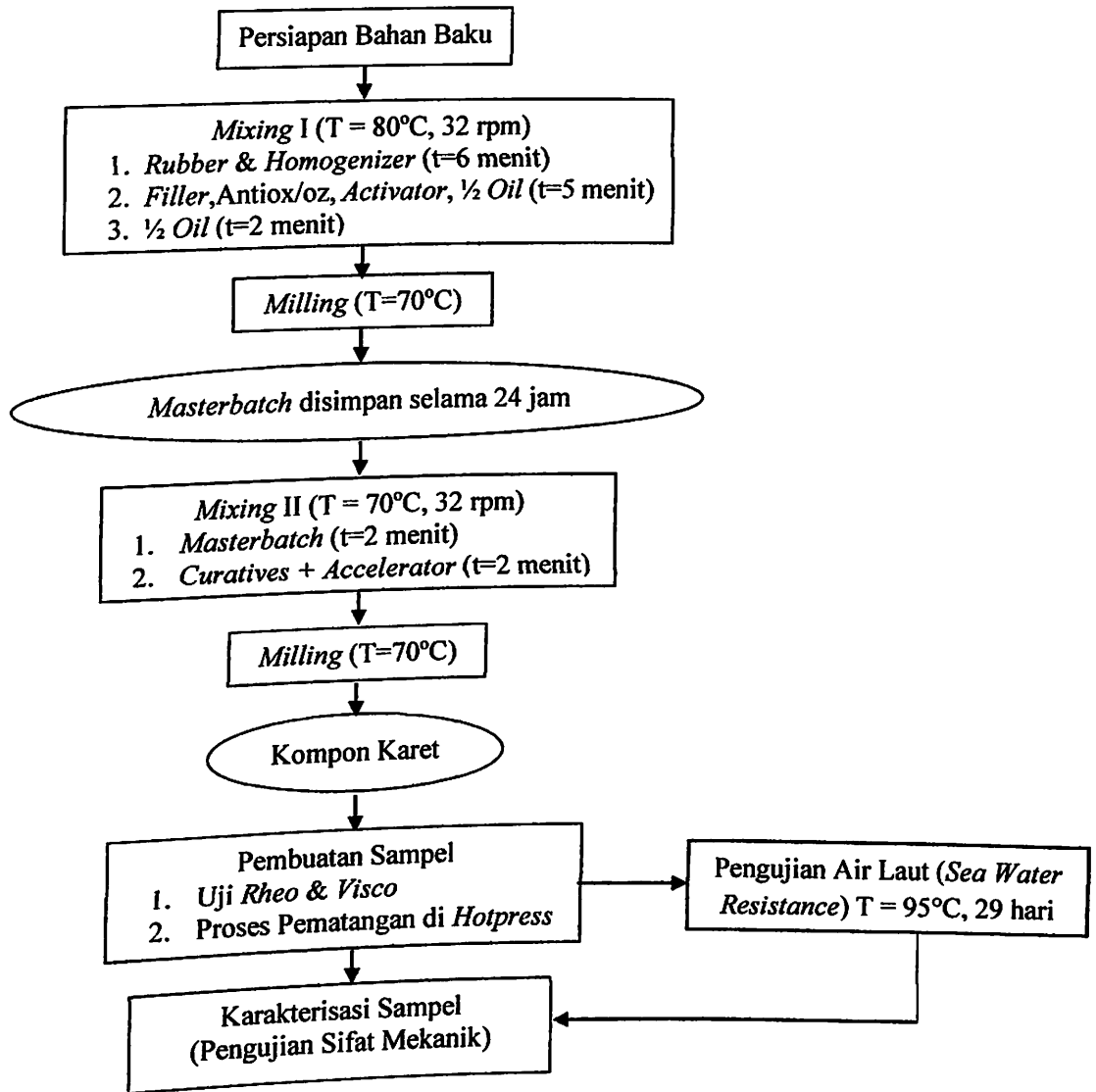
Setelah menentukan variabel bebas dan variabel terikat maka dapat dibuat formulasi yang akan digunakan untuk pembuatan kompon karet pada penelitian ini. Formulasi untuk pembuatan kompon karet dapat dilihat pada Tabel III.2.

Tabel III.2 Komposisi Formulasi Karet

No.	Nama Bahan	Formula (phr)				
		A	B	C	D	
1	Polymer:	SIR 10	100	90	80	0
2		EPDM	0	10	20	100
3	Homogenizer:	Aktioplast 8	3,0			
4	Activator:	ZnO	6,0			
5		Asam Stearat	3,0			
6	Filler:	Silika	5,0			
7		Carbon Black (N220)	35,0			
8	Antiox/oz:	Rubatan TMQ	2,0			
9		Wax	1,0			
10		Coumarone resin	8,0			
11	Coupling agent:	PEG 4000	0,5			
12	Oil:	Paraffinic oil	6,0			
13	Curatives:	Sulfur	2,0			
14	Accelerator:	CBS	1,0			

3.4 Prosedur Penelitian

Gambar III.1 memperlihatkan prosedur penelitian yang digambarkan dalam diagram proses keseluruhan penelitian.



Gambar III.1 Diagram proses pembuatan kompon karet hingga karakterisasi sampel

3.4.1 Tahap Pembuatan Kompon Karet

3.4.1.1 Persiapan Bahan Baku

Karet alam jenis *Standard Indonesian Rubber* (SIR) 10 dan karet sintetis jenis *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM) dipotong menggunakan *rubber cutter machine*, kemudian ditimbang bersama dengan bahan-bahan kimia

penunjang seperti aktiplast 8, ZnO, asam stearat, silika, PEG 4000, *carbon black* (N220), rubatan TMQ, *wax*, *coumarone resin*, *paraffinic oil*, sulfur dan CBS sesuai dengan komposisi formulasi pembuatan kompon karet.

3.4.1.2 Pembuatan Kompon Karet

Berikut ini merupakan tahapan kerja dari proses pembuatan kompon karet:

a. *Mixing I*

1. Memasukkan bahan karet alam jenis SIR 10 dan karet sintetis jenis EPDM dengan variasi seperti tabel di atas dan aktiplast 8 ke dalam *kneader* dengan set suhu 100°C dan kecepatan 60 rpm. *Mixing* dimulai pada suhu 80°C dan kecepatan 32 rpm selama 5 menit. Alat yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 1).
2. Menambahkan bahan-bahan lain, seperti ZnO, asam stearat, silika, *carbon black* (N220), Rubatan TMQ, *wax*, *coumarone resin* dan ½ dari *paraffinic oil* yang sudah ditimbang sesuai dengan komposisi formulasi pembuatan kompon karet ke dalam *kneader* lalu *dimixing* selama 6 menit.
3. Menambahkan sisa ½ dari *paraffinic oil* ke dalam *kneader* kemudian *dimixing* kembali selama 2 menit.

b. *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 yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 4).

c. *Masterbatch*

Masterbatch kemudian didiamkan selama 24 jam.

d. *Mixing II*

1. Memotong *masterbatch* hingga menjadi potongan-potongan yang lebih kecil dengan menggunakan alat yang dapat dilihat pada lampiran B (Gambar 3) kemudian dimasukkan ke dalam *kneader* dengan set suhu 70°C dan kecepatan 60 rpm. *Mixing* dimulai pada suhu 70°C dan kecepatan 32 rpm selama 2 menit.

2. Menambahkan sulfur (*curative*) dan CBS (*accelerator*) ke dalam *kneader* kemudian *dimixing* selama 2 menit.

e. **Milling**

Menggiling hasil *mixing* dari *kneader* dengan menggunakan *open mill* dengan suhu 70°C selama 5 kali penggilingan dalam waktu ± 5 menit. Selama proses penggilingan, kompon karet tersebut digulung, kemudian dimasukkan kembali ke *open mill* hingga 5 kali pengulangan 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 dengan menggunakan alat *Moving Die Rheometer 3000 Montech Rheometer* untuk menentukan waktu matang karet pada saat proses vulkanisasi sampel dengan alat *hotpress* dan diuji viskositas dengan alat uji *Montech Mooney Viscometer V-MV 3000* untuk menentukan viskositas yang dimiliki tiap-tiap formulasi kompon karet. Sampel dimatangkan pada alat *hotpress* lalu dibuat menjadi 2 jenis sampel yaitu sebelum dan setelah uji air laut (*aging*).

3.4.2.1 Uji Kematangan (*Rheometer Test*)

Tahapan pengujian untuk waktu matang berdasarkan ASTM D5289-12 sebagai berikut:

1. 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 plastik sampel.
2. Sampel sudah terpotong dapat langsung digunakan dengan terlebih dahulu melapisinya menggunakan *plastic film* di kedua sisinya.
3. Mempersiapkan program pengujian pada layar komputer dengan memberi nama sampel, mengatur suhu pada 140°C dan waktu pengujian selama 40 menit.
4. Memasukkan sampel ke dalam *Moving Die Rheometer* tepatnya di antara kedua plat ketika alat sudah *standby* (warna garis hijau pada layar komputer).

5. Menekan tombol start warna hijau pada *Moving Die Rheometer* lalu tunggu selama 40 menit.
6. Setelah selesai, lihat hasil pengujian pada layar komputer.

3.4.2.2 Uji Kekentalan (*Viscosity Test*)

Tahapan pengujian kekentalan berdasarkan ASTM D1646-15 sebagai berikut:

1. Meletakkan kompon pada *Volume Sample Cutter VS 3000* lalu potong dengan menggunakan 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 plastik sampel (*plastic film*) dan satu buah rotor.
2. Meletakkan satu buah sampel pada bagian bawah rotor kemudian lapisi dengan menggunakan satu buah *plastic film* dan letakkan satu buah sampel lainnya pada bagian atas rotor, lapisi dengan *plastic film* lainnya.
3. Mempersiapkan program pengujian pada layar komputer untuk memberi nama sampel, mengatur suhu menjadi 100°C, waktu *preheat* selama 1 menit dan waktu pengujian selama 4 menit.
4. 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). Kemudian tekan tombol *start* warna hijau pada *Mooney Viscometer* lalu tunggu selama 6 menit.
5. Setelah selesai, lihat hasil pengujian pada layar komputer.

3.4.2.3 *Hotpress*

Tahapan pematangan kompon karet pada *hotpress* sebagai berikut:

1. 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.
2. Atur suhu, waktu dan tekanan pada alat *hotpress* dan sesuaikan dengan hasil pengujian *Rheometer* sebelumnya, kemudian tekan *prepare program*.

3. Ketika sudah siap, masukan *mold* yang sudah berisi kompon karet ke dalam alat *hotpress* yang sudah *diprepare program* lalu tekan *run program*.
4. Tunggu hingga alat berbunyi, kemudian keluarkan sampel dari *mold* lalu tunggu hingga suhu sampel menurun (dingin) selanjutnya sampel siap untuk dikarakterisasi.

3.4.3 Tahap Pengusangan (*Aging Test*)

Tahapan proses pengujian air laut (*sea water resistance*) sesuai dengan ASTM D471 sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan yang digunakan untuk menunjang proses pengujian air laut ini, yaitu *erlenmeyer* 2000ml, statif dan penjepitnya, *electric heater*, kondensor, pompa, corong, selang, bak untuk air pendingin kondensor dan tentunya air laut sebagai media untuk *aging test* ini.
2. Rakit peralatan tersebut mengacu pada *testing standard* ASTM D 471 sehingga dapat digunakan pada proses pengujian air laut.
3. Siapkan sampel yang akan dilakukan untuk uji pengusangan ini. Jumlah sampel yang diperlukan sesuai dengan pengujian karakteristik yang sudah dilakukan sebelum uji pengusangan.
4. Masukkan air laut yang telah disiapkan kedalam *erlenmeyer* 2000ml sampai batas yang telah ditentukan.
5. Masukkan sampel yang telah disiapkan kedalam *erlenmeyer* yang telah berisi air laut.
6. Letakkan *erlenmeyer* yang telah berisi sampel diatas *heater*.
7. Atur *heater* dengan temperatur 250-450°C hingga temperatur air laut yang berisi sampel tersebut mencapai suhu 95°C. Temperatur pengujian dijaga pada suhu 95°C.
8. Proses pengusangan ini dilakukan selama 28 hari dan selalu dicek kondisi temperatur pada air laut yang berisi sampel. Jika temperatur pada air laut berada dibawah 95°C maka temperatur *heater* dapat dinaikkan agar temperatur pada air laut kembali stabil.

9. Setelah 28 hari, sampel dikeluarkan dan dikeringkan dengan *oven* selama 24 jam. Selanjutnya, sampel siap untuk dilakukan pengujian karakteristik vulkanisat karet setelah *aging*.

3.4.4 Karakterisasi Sampel Karet

3.4.4.1 Pengujian Tegangan Putus (*Tensile Strength Test*) dan Perpanjangan Putus (*Elongation at Break*)

Prosedur kerja alat UTM berdasarkan ASTM D412 sebagai berikut:

1. 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 pulpen) dengan menggunakan *caliper* (jangka sorong).
2. Membuka *software* UTM pada perangkat lunak komputer, kemudian masukkan data yang sudah diukur.
3. Memasang sampel di tempat sampel dengan cara posisikan sampel agar tepat di tengah atau seimbang.
4. Memasang penjepit sampel pada bagian atas dan bawah sampel sesuai dengan *grip*.
5. Mengatur pembatas atas dan bawah untuk menghindari terjadinya penempelan antara tempat sampel dengan bagian atas alat.
6. Menekan tombol *START* pada alat dan tunggu hingga sampel putus.
7. Mencatat data yang diperoleh sebagai hasil uji.

3.4.4.2 Pengujian Ketahanan Sobek (*Tear Strength Test*)

Prosedur kerja alat UTM berdasarkan ASTM D624 sebagai berikut:

1. 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 pulpen) dengan menggunakan *caliper* (jangka sorong).
2. Membuka *software* UTM pada perangkat lunak komputer, kemudian masukkan data yang sudah diukur.
3. Memasang sampel di tempat sampel dengan cara posisikan sampel agar tepat di tengah atau seimbang.

4. Memasang penjepit sampel pada bagian atas dan bawah sampel sesuai dengan *grip*.
5. Mengatur pembatas atas dan bawah untuk menghindari terjadinya penempelan antara tempat sampel dengan bagian atas alat.
6. Menekan tombol *START* pada alat dan tunggu hingga sampel sobek, lalu catat data yang diperoleh sebagai hasil uji.

3.4.4.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Prosedur kerja pengujian kekerasan berdasarkan ASTM D2240 sebagai berikut:

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

3.4.4.4 Pengujian Pemampatan (*Compression Set Test*)

Prosedur kerja pengujian pemampatan berdasarkan ASTM D395 sebagai berikut:

1. Mengukur sampel yang akan diuji mulai dari ketebalan samping kanan, tengah dan samping kiri dengan menggunakan *caliper* (jangka sorong).
2. Memasukkan sampel ke dalam alat pemampat.
3. Memasukkan *spacer* 0,95 mm dan pelat pemampatnya kemudian kencangkan bautnya.
4. Memasukkan alat pemampat yang sudah diisi sampel ke dalam *oven* selama 22 jam dengan suhu 70°C.
5. Setelah 22 jam sampel dikeluarkan dari alat pemampat dan didiamkan selama 30 menit.
6. Mengukur sampel dan catat sebagai hasil uji.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan vulkanisat karet dengan bahan-bahan seperti yang dicantumkan dalam Tabel III.2. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan komposisi karet alam jenis SIR 10 dan karet sintetis jenis *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM) dengan tujuan optimasi formula kompon karet untuk aplikasi *rubber airbag* sebagai fasilitas menaikkan dan menurunkan kapal dari galangan dan memanfaatkan secara maksimal penggunaan karet alam sebagai bahan baku lokal untuk produk barang-jadi karet. Adapun penelitian ini menggunakan standar spesifikasi teknis sesuai dengan ISO 14409:2011 *Ships and marine technology – ship launching airbags*.

4.1 Standar Spesifikasi Teknis *RubberAirbag*

Target yang harus dicapai oleh penelitian ini adalah:

- | | |
|--|---------------|
| a. <i>Tensile strength</i> , MPa | : ≥ 18 |
| b. <i>Tear strength</i> , N/cm | : ≥ 400 |
| c. <i>Elongation at break</i> , % | : ≥ 400 |
| d. <i>Hardness</i> , *(Shore A) | : 60 ± 10 |
| e. <i>Compression set</i> , % ($70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 22 h) | : ≤ 30 |

4.2 Hasil Karakterisasi Kompon dan Vulkanisat Karet

Karakterisasi vulkanisat karet dibagi menjadi dua, yang pertama adalah karakterisasi pemrosesan kompon karet. Karakterisasi tersebut meliputi pengujian kematangan (*rheometer test*) dan viskositas (*viscosity test*). Karakterisasi yang kedua yaitu karakterisasi sifat mekanis vulkanisat karet yang meliputi *tensile strength*, *tear strength*, *elongation at break*, *hardness* dan *compression set*. Hasil pengujian vulkanisat karet yang dilakukan sebelum dan setelah proses pengusangan/*aging* dengan pengujian ketahanan air laut (*sea water resistance*) seperti pada Tabel IV.1 dan dapat dilihat berupa gambar dalam bentuk diagram dan grafik dimana hasil sebelum aging terletak di sisi kiri dan setelah aging terletak di sisi kanan.

Tabel IV.1 Perbandingan Hasil Keseluruhan Pengujian Vulkanisat Karet Sebelum dan Setelah *Aging (SWR)* dengan Standar Teknis *Rubber Airbag*

Karakterisasi Vulkanisat Karet	Standar Teknis <i>Rubber Airbag</i>	Sebelum <i>Aging</i>				Setelah <i>Aging</i>			
		A	B	C	D	A'	B'	C'	D'
<i>Tensile strength (MPa)</i>	≥18	16,5	17,4	16,2	14,6	7,05	7,03	7,3	14,2
<i>Elongation at break (%)</i>	≥400	326,0	397,7	385,6	336,0	342,0	338,5	286,1	785,9
<i>Hardness (°(Shore A))</i>	60±10	84,7	84,3	86,3	85,6	85,3	88,2	89,1	87,6
<i>Tear strength (N/cm)</i>	≥400	840,1	797,2	774,7	697,3	312,1	315,8	224,9	611,6
<i>Compression set (%)</i>	≤30	20,1	24,4	22,0	15,6	15,8	14,3	14,04	12,6

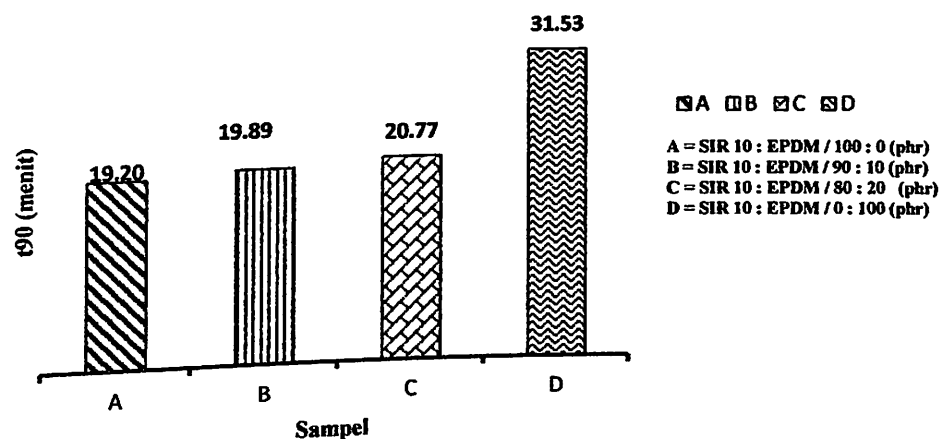
Tujuan dilakukannya *aging* dengan pengujian ketahanan air laut/*Sea Water Resistance (SWR)* adalah untuk mengetahui seberapa besar perubahan sifat fisik dan perubahan dari segi struktur kimia yaitu ikatan yang dimiliki oleh material vulkanisat karet apabila direndam dalam air laut dan diberi panas selama 29 hari. Hal tersebut dilakukan untuk menguji ketahanan material karet dengan formulasi yang telah ditentukan yang nantinya akan diaplikasikan untuk *rubber airbag* yang digunakan di lingkungan air laut, dimana lingkungan air laut memiliki intensitas cahaya matahari, ozon, udara dan suhu lingkungan yang cukup tinggi dan seberapa lama material karet alam tersebut dapat bertahan di lingkungan air laut tersebut. Ketahanan pada material vulkanisat karet yang diuji tersebut nantinya dapat diketahui dan diukur ketahanannya terhadap degradasi oleh panas dan rendaman air laut dalam jangka waktu yang telah ditentukan, yaitu selama 29 hari dan suhu 95°C sehingga dapat diketahui perbedaan antara sebelum dan setelah pengujiannya.

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

Hasil uji waktu matang kompon karet untuk vulkanisat *rubber airbag* ditampilkan dalam bentuk diagram batang pada Gambar IV.1.

Berdasarkan Gambar IV.1, terlihat hubungan antara variasi komposisi kompon karet dengan waktu matang optimum (t_{90}) dalam satuan menit, dimana t_{90} adalah waktu yang menunjukkan 90% tingkat kematangan. Nilai *curing time*

yang dihasilkan oleh sampel A sebesar 19,20 menit = 19 menit 12 detik, B sebesar 19,89 menit = 19 menit 53 detik, C sebesar 20,77 menit = 20 menit 46 detik dan D sebesar 31,53 menit = 31 menit 32 detik. Nilai *curing time* pada uji waktu matang ini memperlihatkan peningkatan yang berbanding lurus dengan peningkatan jumlah phr EPDM yang digunakan pada tiap-tiap formula.



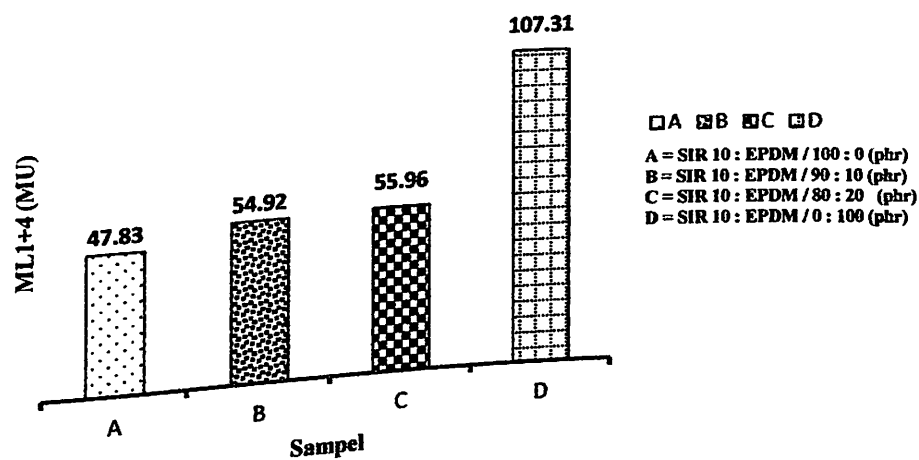
Gambar IV.1 Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Waktu Matang (*Curing Time*) Kompon Karet

Untuk sampel A dengan komposisi 100% karet alam memiliki laju vulkanisasi yang lebih cepat yaitu 19 menit 12 detik, sedangkan sampel B yang memiliki komposisi karet alam 90% dan sisanya komposisi EPDM membutuhkan waktu pematangan kompon yang lebih lama dibandingkan sampel sebelumnya, yaitu selama 19 menit 53 detik, lain halnya dengan sampel C, yang membutuhkan waktu pematangan lebih lama dibandingkan 2 sampel sebelumnya, dikarenakan sampel C memiliki peningkatan komposisi EPDM menjadi 20%, yaitu selama 20 menit 46 detik. Berbeda lagi dengan sampel D yang memiliki komposisi 100% EPDM memperlihatkan laju vulkanisasi yang paling lambat dibandingkan sampel lainnya, yaitu membutuhkan waktu pematangan selama 31 menit 32 detik. Hal tersebut dikarenakan penggunaan bahan pencepat dengan proporsi yang paling rendah dalam sistem vulkanisasi tersebut. Menurut Honggokusumo (1994^(c)), pada sistem vulkanisasi dan perkiraan konsentrasi bahan pencepat dalam phr yang digunakan antara 1,0-2,5, sedangkan konsentrasi bahan pencepat yang digunakan pada

penelitian ini hanya sebanyak 1,0 phr. Sementara itu, ikatan jenuh pada karet sintetis jenis EPDM relatif rendah, maka memerlukan sistem vulkanisasi yang kompleks dan proporsi beberapa pencepat yang tinggi untuk memperoleh laju vulkanisasi dan modulus yang tinggi agar dihasilkan produk dengan sifat fisis yang diinginkan. Selain itu, kelompok kelas pencepat yang digunakan pada penelitian ini yaitu sulfenamida, dimana menurut Honggokusumo (1994^(c)), sulfenamida mudah larut dalam EPDM dan dapat digunakan dalam proporsi yang tinggi agar menghasilkan waktu pematangan yang lebih cepat sehingga dapat menghemat energi yang digunakan untuk proses pematangan kompon karet tersebut.

4.2.2 Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Viskositas Kompon Karet

Hasil uji viskositas kompon karet untuk aplikasi *rubber airbag* dapat dilihat pada Gambar IV.2



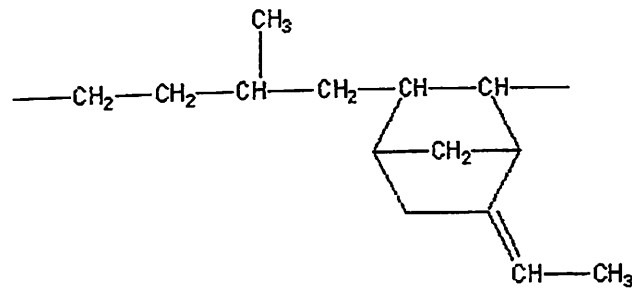
Gambar IV.2 Pengaruh Variasi Komposisi Karet terhadap Viskositas Kompon Karet

Berdasarkan Gambar IV.2, terlihat hubungan antara variasi komposisi kompon karet dengan nilai *mooney viscosity* (ML1+4) dalam satuan nilai *mooney* (MU), dimana L adalah tipe rotor yang digunakan, 1 adalah 1 menit waktu pemanasan dan 4 adalah 4 menit waktu pengujian. Menurut Bhuana dan Thomas (1994), salah satu hal yang terpenting dalam menjaga konsistensi mutu barang-jadi karet adalah mengetahui sifat plastisitas atau viskositas (berbanding terbalik dengan plastisitas) dari karet mentah atau komponnya. Selain itu, viskositas tersebut juga

mempengaruhi tenaga yang dikonsumsi oleh mesin pengolahnya. Apabila viskositas terlalu tinggi, maka akan berakibat pada meningkatnya tenaga yang dibutuhkan mesin pengolah dan sebaliknya apabila viskositas terlalu rendah, maka pada barang-jadinya akan tampak berongga-rongga (*porous*) yang disebabkan kurangnya tekanan pada cetakan. Selain itu, pada proses pencampuran bahan-bahan kimia dengan karet mentah, data viskositas diperlukan untuk memperoleh mutu produk yang konsisten.

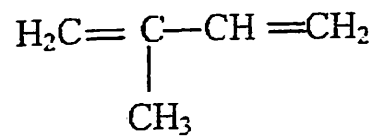
Berdasarkan Gambar IV.2, pengujian viskositas sampel A menghasilkan nilai sebesar 47,83 MU, B sebesar 54,92 MU, C sebesar 55,96 MU dan D sebesar 107,31 MU. Peningkatan nilai viskositas dari sampel A sampai D berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi karet EPDM yang digunakan. Nilai viskositas tertinggi dimiliki oleh sampel D.

Hal tersebut dikarenakan polimer EPDM memiliki berat molekul yang tinggi dan merupakan elastomer padat (Nuyah dan Yulita, 2012). Viskositas karet EPDM relatif lebih tinggi dari karet alam pada kecepatan deformasi yang sama. Hal ini dapat dilihat dari berat molekul monomernya. Monomer karet alam memiliki berat molekul 68 g/cm^3 , sedangkan monomer EPDM memiliki berat molekul lebih dari 2 kali lipat berat molekul monomer karet alam yaitu 138 g/cm^3 . Menurut Bhuana dan Thomas (1994), berat molekul karet mentah sangat mempengaruhi viskositas kompon yang dihasilkan dari karet tersebut. Selain berat molekul yang berpengaruh terhadap viskositas, terdapat beberapa struktur alami monomer yang menentukan respon terhadap kelakuan mekanis, yaitu adanya gugus aromatik pada rantai utama seperti struktur monomer EPDM yang dapat dilihat pada Gambar IV.3, mengakibatkan kekakuan karet meningkat sehingga fleksibilitasnya menurun. Selain itu, rantai cabang yang dimiliki monomer EPDM lebih panjang dibandingkan dengan panjang rantai cabang monomer karet alam yang dapat dilihat pada Gambar IV.4. Semakin panjang rantai cabang, maka akan semakin kaku karena semakin sulitnya bergerak di dalam ruang sehingga mengakibatkan nilai viskositas yang tinggi.



Gambar IV.3 Rumus Struktur Kimia Monomer EPDM

Sumber: Hoffman, 1989



Gambar IV.4 Rumus Struktur Kimia Monomer Karet Alam

Sumber: Hoffman, 1989

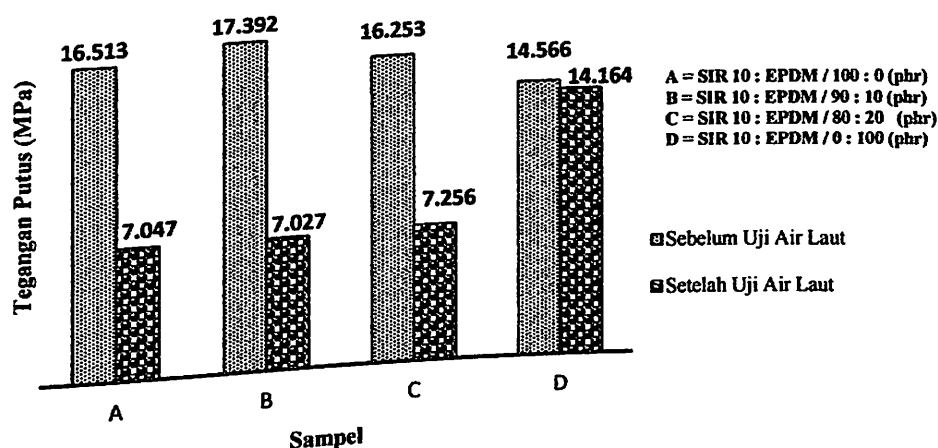
Selain itu, semakin meningkatnya nilai viskositas dari kompon karet, maka semakin meningkat nilai kekerasan yang dimiliki oleh kompon karet tersebut karena kompon karet tersebut memiliki ikatan silang yang padat atau dengan kata lain kompon karet tersebut memiliki *density of crosslink* yang tinggi sehingga meningkatkan kerapatan dan membentuk *frame* 3 dimensi dari ikatan kompon tersebut.

4.2.3 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Sifat Mekanik Vulkanisat yang Dihasilkan

4.2.3.1 Tensile Strength

Tensile strength atau tegangan putus merupakan besarnya beban yang diperlukan untuk meregangkan potongan uji kompon karet sampai putus, dinyatakan dengan N untuk setiap mm² luas penampang potongan uji sebelum diregangkan. Disamping itu, pengujian tegangan putus dapat menentukan waktu vulkanisasi optimum suatu kompon karet dan pengaruh pengusangan pada waktu vulkanisasi kompon karet (Rahmaniar dkk, 2015). Jika dilakukan vulkanisasi, *crosslinking* yang terjadi antar rantai polimer akan membuat polimer panjang saling

terkait sehingga tidak mudah bergeser dari tempatnya. Apabila dikenakan tekanan, karet yang sudah mengalami proses vulkanisasi akan mudah berubah bentuk, tetapi ketika tekanan dilepas, maka akan kembali ke bentuk semula (bersifat lentur). Hasil pengujian tegangan putus vulkanisat karet sebelum dan setelah uji ketahanan air laut (*sea water resistance*) dapat dilihat pada Gambar IV.5. Potongan uji berbentuk dayung ditarik pada kecepatan tetap dengan menggunakan alat *tensile*. Selama pengujian peregangan tenaga yang dihasilkan pada perpanjangan tertentu dan pada saat potongan uji telah putus, dicatat (Basseri, 2005).



Gambar IV.5 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Tegangan Putus

Dari Gambar IV.5 dapat dilihat pengaruh variasi komposisi karet alam jenis SIR 10 dan karet sintetis jenis EPDM terhadap hasil uji *tensile strength* sebelum dan setelah *aging* dengan pengujian ketahanan air laut. Sebelum pengujian ketahanan air laut, nilai *tensile strength* yang dimiliki oleh sampel A sebesar 16,513 MPa, B sebesar 17,392 MPa, C sebesar 16,253 MPa dan D sebesar 14,566 MPa. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya penambahan konsentrasi EPDM pada pembuatan kompon karet dari 10 phr sampai sampel D yaitu 100 phr cenderung menurunkan nilai tegangan putus dari sampel B dengan kadar EPDM 10 phr memiliki nilai *tensile strength* 17,392 MPa, menjadi 16,253 MPa pada sampel C dengan kadar EPDM 20 phr, selain itu sampel D dengan kadar

EPDM 100% memiliki nilai *tensile strength* yang lebih rendah dari 3 sampel sebelumnya yaitu 14,566 phr. Hal tersebut dikarenakan penambahan karet EPDM yang terlalu besar dapat menyebabkan ikatan elastomer karet dengan bahan pengisi penguat tidak kuat karena perbandingannya yang tidak proposional (Nuyah dan Yulita, 2012). Tegangan putus sangat dipengaruhi oleh jumlah optimum penambahan bahan pengisi penguat sehingga akan meningkatkan tegangan putus barang jadi karet. Keberhasilan pencampuran sangat menentukan sifat fisik barang jadi karet (Blow, 2001). Bahan pengisi dapat ditambahkan pada hampir semua barang-jadi karet dalam jumlah cukup besar untuk mengurangi jumlah karet yang digunakan dan dapat memberikan sifat fisik yang lebih baik. Selain itu, karet alam memiliki daya elastisitas atau daya lenting yang baik dan plastisitas tinggi sehingga pemakaian yang semakin banyak akan menyebabkan kompon karet memiliki tegangan putus yang semakin tinggi juga.

Formulasi vulkanisat karet untuk aplikasi *rubber airbag* hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi yang diteliti belum memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis yaitu ≥ 18 MPa. Untuk memenuhi target tersebut, sampel A sebelum pengujian ketahanan air laut memiliki kekurangan kekuatan tarik sebesar 1,487 MPa, B sebesar 0,608 MPa, C sebesar 1,747 MPa dan D sebesar 3,434 MPa. Nilai *tensile strength* setelah pengujian ketahanan air laut menunjukkan penurunan yang begitu signifikan, dimana sampel A memiliki nilai *tensile strength* yang menurun menjadi 7,047 MPa, B menjadi 7,027 MPa dan C menjadi 7,256 MPa. Namun, untuk sampel D yang kadar EPDM 100% mengalami penurunan yang tidak signifikan yaitu menjadi 14,164 MPa. Hal itu membuktikan bahwa karet sintesis jenis EPDM memang diperuntukkan untuk barang-jadi karet yang diaplikasikan untuk barang yang tahan terhadap panas dan juga lingkungan air laut. Namun penelitian ini, bertujuan untuk hilirisasi karet alam agar dapat dimanfaatkan dan dapat meningkatkan nilai guna dari karet alam itu sendiri. Oleh karena itu, formulasi yang mengandung karet alam dengan *aging loss* yang rendah dan kadar karet alam yang tinggi, yang dapat dilihat pada Tabel IV.2, merupakan formulasi yang terbaik untuk pengujian tegangan putus kompon karet untuk aplikasi *rubber airbag* ini.

Penurunan nilai *tensile strength* sampel A, B dan C setelah *aging* sangat tinggi dibandingkan sebelum *aging*. Hal tersebut dikarenakan *aging* dengan proses pengujian ketahanan air laut pada suhu 95°C selama 29 hari kemungkinan menyebabkan terjadinya reversi pada *curing* atau vulkanisasi lanjut. Menurut Honggokusumo (1994^(c)), vulkanisasi lanjut dapat mempengaruhi modulus, kekuatan tarik, kekerasan dan sifat fisik vulkanisat lainnya. Terjadinya reversi pada vulkanisasi lanjut menyebabkan ikatan silang yang dibentuk oleh sistem vulkanisasi tersebut tidak mantap pada suhu pemasakan. Reversi akan menyebabkan terjadinya penguraian ikatan silang yang akan berakibat penurunan sifat fisis kompon karet, salah satunya yaitu tegangan putus atau *tensile strength*.

Tabel IV.2 Nilai Penurunan Tegangan Putus Setelah Uji Ketahanan Air Laut

No.	Nama Sampel	Nilai Penurunan <i>Tensile Strength</i> (%)
1	A	57,32
2	B	59,60
3	C	55,36
4	D	2,76

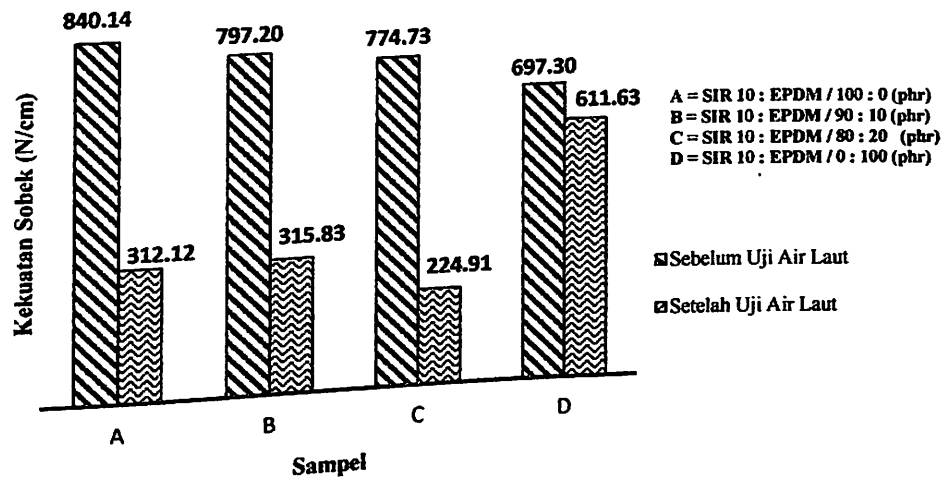
Selain itu, menurunnya nilai *tensile strength* setelah pengujian ketahanan air laut juga mengindikasikan terjadinya degradasi pada bagian permukaan ataupun keseluruhan bagian vulkanisat karet. Hal ini dapat dibuktikan dengan semakin meningkatnya nilai *hardness* yang dimiliki oleh karet tersebut karena semakin meningkat nilai kekerasan karet tersebut, maka semakin kaku vulkanisat karet tersebut.

Dengan data pengujian tegangan putus setelah pengujian ketahanan air laut dapat dianalisis bahwa formulasi yang optimum pada pengujian ini dan sesuai dengan tujuan penelitian ini adalah formulasi yang dimiliki oleh sampel C dengan konsentrasi karet alam 80 phr dan karet EPDM 20 phr.

4.2.3.2 Tear Strength

Tear strength atau kekuatan sobek merupakan besarnya gaya atau tenaga yang dibutuhkan untuk menyobek potongan uji sampai putus (Nuyah dan Yulita, 2012). *Tear strength* dinyatakan N/cm, dimana *tear strength* merupakan besarnya beban yang diperlukan untuk menyobek potongan uji kompon karet sampai sobek, dinyatakan dengan N untuk setiap cm tebal contoh uji penampang sebelum dilakukan uji sobek (Bhuana dan Thomas, 1994). Hasil pengujian ketahanan sobek

vulkanisat karet sebelum dan setelah uji ketahanan air laut (*sea water resistance*) dapat dilihat pada Gambar IV.6.



Gambar IV.6 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Ketahanan Sobek

Dari Gambar IV.6 dapat dilihat pengaruh variasi komposisi karet alam jenis SIR 10 dan karet sintesis jenis EPDM terhadap hasil uji ketahanan sobek sebelum dan setelah *aging* dengan pengujian ketahanan air laut. Sebelum pengujian ketahanan air laut, nilai *tear strength* yang dimiliki oleh sampel A sebesar 840,14 N/cm, B sebesar 797,20 N/cm, C sebesar 774,73 N/cm dan D sebesar 697,30 N/cm. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan karet alam, maka semakin tinggi nilai ketahanan sobek yang dimiliki oleh vulkanisat karet. Sebaliknya, semakin banyak penambahan karet EPDM, maka nilai ketahanan sobek akan menurun.

Hal ini disebabkan pengaruh bahan pengisi penguat yang digunakan. Penambahan bahan pengisi aktif akan menambah ketahanan sobek barang jadi karet. Bahan pengisi harus halus, seragam dan tidak terkontaminasi dengan Mn, Cu dan kelembapan (Wahyudi, 2005). Selain itu, karet alam juga memiliki keunggulan sifat ketahanan sobek yang tinggi sehingga penggunaan karet alam dengan kadar tinggi dapat meningkatkan nilai ketahanan sobek kompon karet tersebut (Arizal, 1994).

Formulasi vulkanisat karet untuk aplikasi *rubber airbag* hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi yang diteliti telah memenuhi persyaratan target spesifikasi teknis yaitu ≥ 400 N/cm untuk pengujian ketahanan sobek sebelum pengujian ketahanan air laut. Nilai *tear strength* setelah pengujian ketahanan air laut menunjukkan penurunan yang begitu signifikan, dimana sampel A memiliki nilai *tear strength* yang menurun menjadi 312,12 MPa, B menjadi 315,83 N/cm dan C menjadi 224,91 N/cm. Namun, untuk sampel D yang kadar EPDM 100% mengalami penurunan yang tidak begitu signifikan yaitu menjadi 611,63 N/cm. Hal itu membuktikan bahwa karet EPDM memiliki keunggulan sifat tahan terhadap cuaca, panas dan juga lingkungan air laut. Tabel IV.3 memperlihatkan nilai ketahanan sobek sampel setelah pengujian ketahanan air laut.

Tabel IV.3 Nilai Penurunan Ketahanan Sobek Setelah Uji Ketahanan Air Laut

No.	Nama Sampel	Nilai Penurunan <i>Tear Strength</i> (%)
1	A	62,85
2	B	60,38
3	C	70,97
4	D	12,29

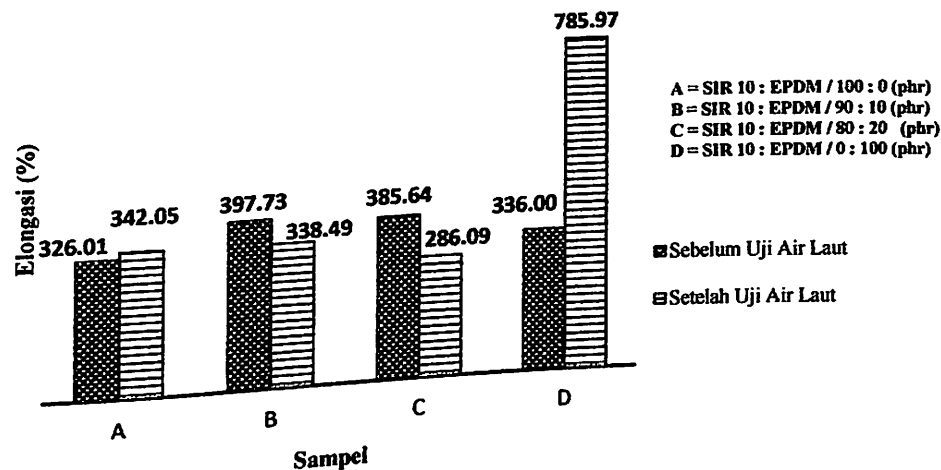
Dengan data pengujian ketahanan sobek setelah pengujian ketahanan air laut dapat dianalisis bahwa formulasi yang optimum pada pengujian ini dan sesuai dengan tujuan penelitian ini adalah formulasi yang dimiliki oleh sampel B.

4.2.3.3 *Elongation at Break*

Perpanjangan putus merupakan penambahan panjang suatu potongan uji bila diregangkan sampai putus, dinyatakan dengan % dari panjang potongan uji sebelum diregangkan (Rahmaniar dkk, 2015). Pengujian perpanjangan putus (*elongation at break*) bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat tegangan dan regangan dari karet vulkanisat dan termoplastik dan termasuk penentuan *yield point* melalui kekuatan dan pertambahan panjang vulkanisat karet ketika mengalami penarikan sampai perpanjangan tertentu sampai putus. Hasil pengujian perpanjangan putus formulasi sampel dengan variasi komposisi karet alam jenis SIR 10 dan karet sintetis jenis EPDM dapat dilihat pada Gambar IV.7.

Hasil pengujian perpanjangan putus vulkanisat karet sebelum pengujian ketahanan air laut yang terendah diperoleh pada formula A yaitu 326,01%,

sedangkan hasil pengujian vulkanisat karet sebelum pengujian ketahanan air laut yang tertinggi diperoleh pada formula B yaitu 397,73%.



Gambar IV.7 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Perpanjangan Putus

Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa konsentrasi karet alam dan karet sintetis yang digunakan memberikan pengaruh yang nyata terhadap perpanjangan putus vulkanisat karet, hal ini dikarenakan terlihat bahwa semakin banyak penambahan karet EPDM, maka perpanjangan putus akan semakin menurun. Berdasarkan ISO 14409:2011, vulkanisat karet untuk aplikasi *rubber airbag* persyaratan mutu teknis perpanjangan putus adalah $\geq 400\%$, bila dibandingkan dengan ISO tersebut adalah belum memenuhi persyaratan yang harus dicapai baik sebelum maupun setelah pengujian ketahanan air laut, kecuali sampel D setelah pengujian ketahanan air laut. Untuk memenuhi target tersebut, sampel A sebelum pengujian ketahanan air laut memiliki kekurangan nilai perpanjangan putus sebesar 73,994%, B sebesar 2,271%, C sebesar 14,357% dan D sebesar 64%.

Nilai perpanjangan putus sangat dipengaruhi oleh bahan pengisi yang ditambahkan, semakin tinggi struktur bahan pengisi, maka semakin rendah nilai yang akan tercapai (Honggokusumo, 1994^(a)). Kompon yang menggunakan bahan pengisi dengan ukuran partikel besar akan memberikan nilai perpanjangan putus yang terbaik (Wahyudi, 2005).

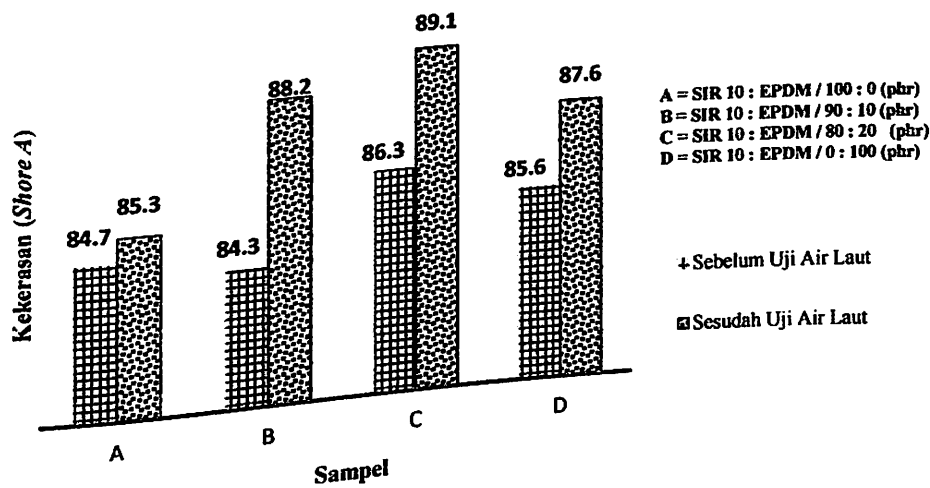
Nilai perubahan perpanjangan putus setelah pengujian ketahanan air laut terlihat tidak seragam dalam perubahannya. Untuk sampel A mengalami kenaikan nilai perpanjangan putus sebesar 4,69%, sedangkan sampel B mengalami penurunan nilai perpanjangan putus sebesar 14,89%, begitupun dengan sampel C yang mengalami penurunan juga dengan nilai perubahan sebesar 25,82%. Namun, untuk sampel D mengalami perubahan kenaikan yang sangat drastis yaitu sebesar 57,25%. Sampel yang mengalami kenaikan perpanjangan putus tersebut mengindikasikan bahwa ikatan polimer di dalam karet tersebut sudah terdegradasi selama proses pengujian ketahanan air laut pada suhu 95°C selama 29 hari. Menurut Arizal (1994), karet yang sudah terdegradasi memiliki nilai elongasi yang semakin tinggi (semakin mulur). Nilai elongasi yang tinggi bukan berarti bahwa karet tersebut memiliki sifat fisik yang baik, tetapi karena karet tersebut sudah terdegradasi. Lain halnya dengan sampel yang mengalami penurunan dalam perpanjangan putus. Sampel yang mengalami perubahan dengan penurunan nilai perpanjangan putus dapat disebabkan karena pengaruh campuran (*blending*) dari komposisi karet alam dan karet EPDM. Menurut Hofmann (1989), karet alam memiliki sifat perpanjangan putus yang baik, sedangkan karet EPDM memiliki sifat perpanjangan putus yang kurang baik (tidak elastis). Jika karet alam dan karet EPDM digabungkan (*blending*), hasil naik atau turun dari perpanjangan putus yang dimiliki oleh campuran tersebut tergantung dari persentase *blending* campuran karet tersebut. Penurunan nilai perpanjangan putus sampel B dan C setelah pengujian ketahanan air laut menyebabkan sampel B dan C semakin kaku, hal tersebut dapat dibuktikan dengan meningkatnya nilai kekerasan yang dimiliki oleh kedua sampel tersebut setelah pengujian ketahanan air laut.

Dengan data pengujian perpanjangan putus setelah pengujian ketahanan air laut dapat dianalisis bahwa formulasi yang optimum pada pengujian ini dan sesuai dengan tujuan penelitian ini adalah formulasi yang dimiliki oleh sampel B.

4.2.3.4 *Hardness*

Nilai kekerasan vulkanisat karet yang semakin besar menunjukkan bahwa vulkanisat karet tersebut semakin keras (semakin tidak elastis). Hasil pengujian

kekerasan vulkanisat karet dapat dilihat pada Gambar IV.8, dimana dari hasil analisa pada gambar tersebut terlihat variasi komposisi karet alam dan karet EPDM pada penelitian ini menghasilkan nilai yang tidak seragam dalam tinggi atau rendahnya nilai kekerasan vulkanisat karet yang dihasilkan sebelum pengujian ketahanan air laut. Selain itu, hasil pengujian kekerasan sebelum pengujian ketahanan air laut yang terendah diperoleh pada formula B yaitu 84,3 *shore A* , sedangkan hasil pengujian vulkanisat karet sebelum pengujian ketahanan air laut yang tertinggi diperoleh pada formula C yaitu 86,3 *shore A*.



Gambar IV.8 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Kekerasan

Menurut Nakason (2006), penambahan *coupling agent* pada vulkanisat karet cenderung dapat meningkatkan kekerasan dari karet. Hal ini karena karet alam 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. *Coupling agent* yang digunakan pada penelitian ini adalah PEG 4000 (Polietilen Glikol 4000).

Berdasarkan ISO 14409:2011, vulkanisat karet untuk aplikasi *rubber airbag*, persyaratan mutu teknis kekerasan 60 ± 10 Shore A, maka bila dibandingkan

dengan persyaratan ISO tersebut, formula sampel A sampai dengan formula sampel D, baik sebelum pengujian ketahanan air laut maupun setelah pengujian ketahanan air laut adalah belum memenuhi persyaratan, semua sampel memiliki nilai kekerasan yang terlalu tinggi (tidak elastis). Untuk memenuhi target tersebut, sampel A sebelum pengujian ketahanan air laut memiliki kelebihan nilai kekerasan sebesar 14,7 *shore A*, B sebesar 14,3 *shore A*, C sebesar 16,3 *shore A* dan D sebesar 15,6 *shore A*. Nilai kekerasan yang terlalu tinggi juga dapat disebabkan oleh penggunaan karet sintetis, dalam hal ini karet EPDM, yang diberi tambahan bahan penguat akan memiliki kekerasan yang tinggi (Supraptiningsih, 2005). Efek penguatan bahan pengisi ditentukan oleh ukuran partikel, keadaan permukaan dan bentuk, kehalusan butiran dan kerataan penyebarannya (Alfa, 2005). Menurut Abednego (1994), selain dipengaruhi oleh bahan pengisi penguat, kekerasan juga dipengaruhi oleh bahan vulkanisator (sulfur). Nilai kekerasan vulkanisat karet yang tinggi dapat disebabkan karena terlalu banyak kadar sulfur yang digunakan sehingga rantai polimer yang terbentuk membentuk *frame* tiga dimensi. Rantai polimer tersebut meningkatkan *density of crosslink* yang dimiliki oleh vulkanisat karet tersebut. Selain itu meningkatnya nilai kekerasan juga dapat dilihat dari peningkatan nilai viskositas yang dimiliki oleh kompon karet tersebut.

Selain itu, nilai kekerasan juga mengalami kenaikan setelah pengujian ketahanan air laut. Perubahan kenaikan nilai kekerasan dari tiap-tiap formula setelah pengujian ketahanan air laut dapat dilihat pada Tabel IV.4.

Tabel IV.4 Nilai Kenaikan Kekerasan Setelah Uji Ketahanan Air Laut

No.	Nama Sampel	Nilai Kenaikan Hardness (%)
1	A	0,70
2	B	4,42
3	C	3,14
4	D	2,28

Kenaikan nilai kekerasan pada tiap sampel dapat disebabkan karena terjadinya degradasi sebagian materialnya selama proses pengujian ketahanan air laut pada suhu 95°C selama 29 hari. Menurut Honggokusumo (1994^(b)), terdegradasinya ikatan polimer dari kompon karet tersebut dapat menyebabkan nilai *hardness* meningkat sehingga sampel menjadi kaku. Pengujian *hardness* merupakan pengujian permukaan sampel, sehingga dapat dianalisa bahwa sampel

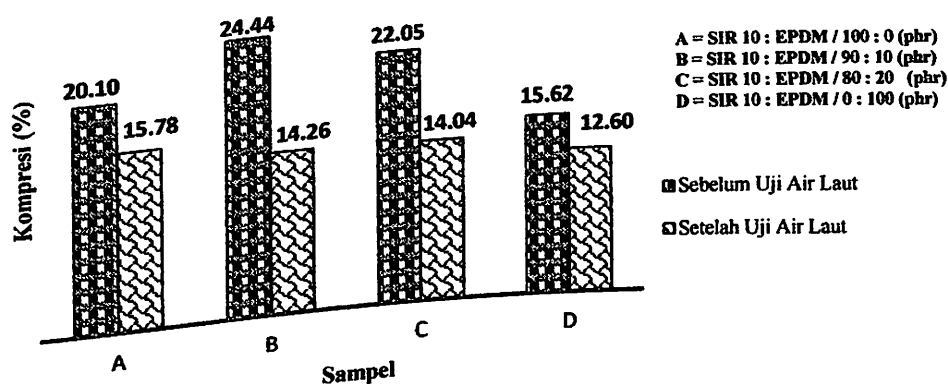
terdegradasi pada permukaannya. Selain itu, *hardness* juga merupakan salah satu indikator turun atau naiknya kekuatan tarik sampel (Bhuana dan Thomas, 1994), terjadinya perubahan kekerasan menunjukkan ada bagian dari sampel yang terdegradasi sehingga menyebabkan penurunan sifat kekuatan tarik material tersebut.

Dengan data pengujian kekerasan setelah pengujian ketahanan air laut dapat dianalisis bahwa formulasi yang optimum pada pengujian ini dan sesuai dengan tujuan penelitian ini adalah formulasi yang dimiliki oleh sampel B.

4.2.3.5 Compression Set

Uji pemampatan tetap (*compression set*) dilakukan untuk mengetahui sifat elastis dari vulkanisat setelah ditekan pada suhu 70°C selama 22 jam. Uji ini dilakukan terutama untuk barang-barang karet yang dalam pemakaiannya mengalami tekanan (Bhuana dan Thomas, 1994), seperti aplikasi karet untuk *rubber airbag* pada penelitian ini. Hasil uji *compression* vulkanisat karet pada berbagai variasi komposisi karet alam dan karet EPDM dapat dilihat pada Gambar IV.9.

Berdasarkan Gambar IV.9, hasil pengujian pemampatan tetap vulkanisat karet sebelum pengujian ketahanan air laut yang terendah diperoleh pada formula D yaitu 15,62%, sedangkan yang tertinggi diperoleh pada formula B yaitu 24,44%.



Gambar IV.9 Hubungan antara Variasi Komposisi Karet terhadap Hasil Uji Pemampatan Tetap

Berdasarkan ISO 14409:2011, vulkanisat karet untuk aplikasi *rubber airbag*, persyaratan mutu teknis uji *compression set* $\leq 30\%$, maka bila dibandingkan dengan persyaratan ISO tersebut, formula sampel A sampai dengan formula sampel D, baik sebelum pengujian ketahanan air laut maupun setelah pengujian ketahanan air laut adalah telah memenuhi persyaratan. Namun, semakin rendah nilai uji *compression set* yang dihasilkan, maka semakin elastis sifat vulkanisat karet tersebut dan baik untuk aplikasi yang dituju pada penelitian ini yaitu *rubber airbag*. Idealnya *compression set* itu 0% artinya bahwa karet tersebut 100% kembali ke bentuk semula. Jika nilai *compression set* 10% berarti hampir mendekati 100%, 10% itu adalah sisa energi yang hilang setelah ditekan selama waktu dan keadaan tertentu.

Dari data hasil pengujian sebelum *aging* membuktikan bahwa konsentrasi EPDM yang terbesar memiliki nilai *compression set* yang terkecil dan terbagus karena itulah barang-barang impor yang diperuntukan untuk *airbag* itu terbuat dari karet EPDM karena lebih bagus dari segi kompresi. Namun, tujuan dari penelitian ini adalah ingin mengubah penggunaan sintetik dengan karet alam dengan keuntungan yang didapat yaitu antara lain mengenai penggunaan karet dalam negeri (hilirisasi karet) dan harga produk *rubber airbag* yang dihasilkan bisa lebih rendah dari produk *rubber airbag* impor.

Selain itu, berdasarkan Gambar IV.9 juga, nilai *compression set* mengalami kenaikan setelah pengujian ketahanan air laut. Nilai kenaikan *compression set* dapat dilihat pada Tabel IV.5. Hal ini dapat disebabkan karena terbentuknya ikatan silang (*crosslink*) lebih lanjut pada saat pengujian ketahanan air laut pada suhu 95°C selama 29 hari sehingga meningkatkan sifat elastisitas karet.

Tabel IV.5 Nilai Kenaikan Kompresi Setelah Uji Ketahanan Air Laut

No.	Nama Sampel	Nilai Kenaikan <i>Compression Set</i> (%)
1	A	21,49
2	B	41,65
3	C	36,33
4	D	19,33

Nilai perubahan pada Tabel IV.5 memperlihatkan nilai kenaikan yang dihasilkan karena semakin kecil angkanya maka semakin baik sifat *compression set* yang dimiliki oleh vulkanisat karet tersebut. Menurut Honggokusumo (1994^(b)),

nilai kenaikan sifat fisis *compression set* tersebut dapat disebabkan karena terjadinya vulkanisasi lanjut yang menghasilkan ikatan silang yang lebih sempurna.

Dengan data pengujian kompresi setelah pengujian ketahanan air laut dapat dianalisis bahwa formulasi yang optimum pada pengujian kekuatan sobek dan sesuai dengan tujuan penelitian ini adalah formulasi yang dimiliki oleh sampel C.

Tabel IV.6 Kesimpulan Hasil Pengujian Sampel

Pengujian	Sampel							
	A		B		C		D	
	Before Aging	After Aging	Before Aging	After Aging	Before Aging	After Aging	Before Aging	After Aging
<i>Curing Time</i> (menit)	19,20		19,89		20,77		31,53	
Viskositas (MU)	47,83		54,92		55,96		107,31	
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	16,51	7,05	17,39	7,03	16,25	7,26	14,57	14,16
<i>Tear Strength</i> (N/cm)	840,14	312,12	797,20	315,83	774,73	224,91	697,30	611,63
<i>Elongation At Break</i> (%)	326,01	342,05	397,73	338,49	385,64	286,08	336,00	785,97
<i>Hardness</i> (°Shore A))	84,70	85,30	84,30	88,20	86,30	89,10	85,60	87,60
<i>Compression Set</i> (%)	20,10	15,78	24,44	14,26	22,05	14,04	15,62	12,60

Keterangan:

- Formula Sampel yang Optimum

Dari tabel hasil pengujian sampel setelah uji air laut, maka diperoleh bahwa sampel B merupakan sampel yang mendekati standar spesifikasi teknis *rubber airbag* dapat dilihat pada Tabel IV.7.

Tabel IV.7 Sampel Optimum Mendekati Standar Spesifikasi *Rubber Airbag*

Pengujian	Standar Spesifikasi	Nilai Pengujian Sampel B
<i>Tear Strength</i>	≥ 400 N/cm	315,83
<i>Elongation at break</i>	$\geq 400\%$	338,49
<i>Hardness</i>	60 \pm 10 Shore A	88,20

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi konsentrasi karet alam jenis SIR 10 dan karet sintesis jenis EPDM untuk sampel A, B, C dan D terhadap sifat mekanik vulkanisat karet untuk aplikasi *rubber airbag* memberikan pengaruh pada hasil pengujian tegangan putus, ketahanan sobek, perpanjangan putus, kekerasan dan kompresi setelah dilakukan uji air laut selama 29 hari pada suhu 95°C. Pada pengujian tegangan putus didapatkan nilai hasil uji untuk sampel murni yang tertinggi diperoleh sampel D dengan hasil uji sebesar 14,16 MPa, sedangkan untuk sampel kompon yang tertinggi diperoleh sampel C dengan hasil uji sebesar 7,26 MPa. Pada pengujian ketahanan sobek didapatkan nilai hasil uji untuk sampel murni yang tertinggi diperoleh sampel D dengan hasil uji sebesar 611,63 N/cm, sedangkan untuk sampel kompon yang tertinggi diperoleh sampel B dengan hasil uji sebesar 315,83 N/cm. Pada pengujian perpanjangan putus didapatkan nilai hasil uji untuk sampel murni yang tertinggi diperoleh sampel D dengan hasil uji sebesar 785,97%, sedangkan untuk sampel kompon yang tertinggi diperoleh sampel B dengan hasil uji sebesar 338,49%. Pada pengujian kekerasan didapatkan nilai hasil uji untuk sampel murni yang tertinggi diperoleh oleh sampel A dengan hasil uji sebesar 85,3 Shore A, sedangkan untuk sampel kompon yang tertinggi diperoleh sampel B dengan hasil uji sebesar 88,2 Shore A. Pada pengujian kompresi didapatkan nilai hasil uji untuk sampel murni yang tertinggi diperoleh sampel D dengan hasil uji sebesar 12,60%, sedangkan untuk sampel kompon yang tertinggi diperoleh sampel C dengan hasil uji sebesar 14,04%.
2. Dari hasil pengujian yang paling optimum mendekati standar spesifikasi teknis *rubber airbag* adalah sampel B yaitu hasil pengujian *tear strength* sebesar 315,83N/cm, *elongation at break* 338,49% dan *hardness* sebesar 88,20 ShoreA.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan komposisi bahan utama yaitu karet alam dengan bahan kimia tambahan yang digunakan agar mendapatkan hasil uji, baik sifat pemrosesan, sifat mekanik maupun struktur kimia yang sesuai standar teknis *rubber airbag*. Mengingat bahwa pada penelitian ini terdapat hasil uji mekanis yang belum memenuhi standar teknis, antara lain *tensile strength*, *hardness* dan *elongation at break*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abednego, J.G. 1994. *Bahan Kimia Penyusun Kompon*. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.
- Abednego, J.G. 1996. *Bahan Pembuat Kompon dan Bahan Penguat*, belum dipublikasi, disajikan pada Pelatihan Pengawasan dan Pengendalian Mutu Barang Jadi Karet "Suku Cadang Otomotif Non Ban". Jakarta
- Akademi Teknologi Kulit Yogyakarta. 2008. *Pembuatan Produk Karet dan Plastik*. Yogyakarta: Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik, TBKPP.TPL.
- Alfa, Ary Achyar. 2005. *Bahan Kimia untuk Kompon Karet*. Kursus Teknologi Barang Jadi Karet Padat. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.
- Anam, Choirul Sirojudin., dkk. April 2007. Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR. Berkala Fisika. Vol 10 no.1. 79 – 85
- Arizal, Ridha. 1994. *Pengetahuan Dasar Elastomer*. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.
- Arizal, Ridha. 2015. *Bahan Kimia Kompon Karet*. Jakarta: Pelatihan Desain Kompon Barang Jadi Karet (*Speciality Rubber*).
- Basseri, A. 2005. *Teori Praktek Barang Jadi Karet*. Bogor: Balai Penelitian dan Teknologi Karet.
- Bhuana, Krishna Surya^(a). 1994. *Proses Mastikasi dan Pencampuran Kompon*, disajikan pada Kursus Teknologi Barang-Jadi Karet. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.
- Bhuana, Krishna Surya dan Julius Thomas. 1994. *Sifat Fisik dan Pengujian Vulkanisat*, disajikan pada Kursus Teknologi Barang-Jadi Karet. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.
- Blow, C.M. 2001. *Rubber Technology and Manufacture, 2nd Edition*. London: Butterworth Scientifics.
- Budiman, AFS. 2002. *Recent Development in Natural Rubber Prices, FAO, Consultation on Agricultural Commodity Price Problems*. Roma.
- Boonstra, BB. 2005. *Reinforcement by Filler*. *J Rubber Age*. 92 (6): 227-235.

- Chatwal, G. 1985. *Spectroscopy Atomic and Molecule*. Bombay: Himalaya Publishing House.
- Choi, S., Kim, J., & Woo, C. 2006. *Accelerated Thermal Aging Behaviors of EPDM and NBR Vulcanizates*. Bulletin of Korean Chemical Society, 2(6), 936-38.
- Damanik, S., M. Syakir, Madetasma, Siswanto. 2010. *Budidaya dan Pasca Panen Karet*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan.
- Departemen Perindustrian. 2007. *Gambaran Sekilas Industri Karet*. Jakarta: Departemen Perindustrian
- Direktorat Inovasi Industri. 2012. *Kriteria Penerapan Teknologi/Inovasi di Industri (Dari Prototipe menjadi Produk Inovasi)*. Jakarta: RISTEK DIKTI
- Fachry, A. Rasyidi., Tuti Indahsari, Bobbi Andikaputra, Dwi Aji Cristianto. 2012. *Pengaruh Penambahan Filler Kaolin Terhadap Elastisitas dan kekerasan produk souvenir dari karet alam (Hevea brasiliensis)*. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Handoko, B. 2003. *Proses Pembuatan Barang Jadi Lateks*. Bogor: Balai Penelitian dan Teknologi Karet Bogor.
- Haryani, Annastasia Oktavia dan Triwilaswandio Wuruk Pribadi. 2013. *Analisis Teknis dan Ekonomis Airbag System untuk Meningkatkan Produktivitas Reparasi Kapal*. Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Hofmann, Werner. 1989. *Rubber Technology Handbook*. New York: Hanser Publishers.
- Honggokusumo, Suharto. 1994(a). *Desain Kompon*, disajikan pada Kursus Teknologi Barang-Jadi Karet. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.
- Honggokusumo, Suharto. 1994(b). *Kimia dan Teknologi Vulkanisasi*, disajikan pada Kursus Teknologi Barang-Jadi Karet. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.
- Honggokusumo, Suharto. 1994(c). *Sistem vulkanisasi*, Dalam Kumpulan Makalah Kursus Pengolahan Barang-Jadi Karet. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.

- Hulu, Temali. 2013. *Pengaruh ekstrak nanas (Ananas sativus) sebagai koagulan terhadap kualitas lembaran karet* (Tesis). Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Indonesian Trade Promotion Center. 2012. *Panorama Perdagangan Karet Perancis Rubber* (40). Lyon. Kementerian Perdagangan Republik Indonesia.
- ISO 14409-2011, *Ships and Marine Technology-Ship Launching Air Bags*.
- Lee, K.S dan A.Whelan. 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.
- 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.
- Nuyah dan Eli Yulita. 2012. *Pengaruh Penggunaan NR dan EPDM Terhadap Karakteristik Kompon Karet Peredam Benturan Pada Pintu Kendaraan Roda Empat*. Palembang: Balai Riset dan Standarisasi Industri.
- Omafuma, F.E., Adeniye, S.A., Adeleke, A.E. 2001. *The Effect of Particle Sizes on the Performance of Filler: A Case Study of Rice Husk and Wood Flour*. *World Appl. Sci. J.*, 14(9): 1347-1352.
- Ompusunggu, M. 1987. *Pengetahuan Lateks Havea*. Sungai Putih, Medan: Lembaga Pendidikan Perkebunan (LPP).
- Pavia, Donald L., Gary M. Lampman., George S. Kriz dan James R Vyvyan. 2009. *Introduction to Spectroscopy*. 4th ed. USA. Cengage Learning.
- Prasetya, Hari Adi. 2012. *Arang Aktif Serbuk Gergaji Sebagai Bahan Pengisi Pembuatan Kompon Ban Luar Kendaraan Bermotor*. *Jurnal Riset Industri* Vol. VI No. 2, 2012, Hal. 165-173. Palembang: Balai Riset Standardisasi Industri.
- Rahmaniar., Amin Rejo, Gatot Priyanto, Basuni Hamzah. 2015. *Karakterisasi Kompon Karet Dengan Menggunakan Ekstrak Kayu Secang, Pasir Kuarsa*

- dan Kulit Kerang*. Palembang: Balai Riset Standardisasi Industri Palembang.
- Rihayat. 2007. *Sintesa dan Karakteristik Sifat Mekanik Karet Nanokomposit*. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan. Volume 6 Nomor 1, Hal 1-6 Tahun 2007.
- Sankari, G. 2010. *Analysis of Serum Immunoglobulins Using Fourier Transform Infrared Spectral Measurements*. Biol. Med. 2(3):42-48.
- 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, Proses Oil dan Accelerator* (Karya Ilmiah). Jakarta: Balai Besar Pendidikan dan Pelatihan Ekspor Indonesia Kementerian Perdagangan Republik Indonesia.
- 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.
- Sinurat, Maurits. 1994. *Pengenalan Mesin-Mesin Vulkanisasi Untuk Barang Karet*, disajikan pada Kursus Teknologi Barang-Jadi Karet. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet.
- Siswanto., Moh. Hamzah, Mahendra.A, Fausiah. 2012. *Perekayasaan Namosilika Berbahan Baku Silika Lokal Sebagai Filler Kompon Karet Rubber Airbag Peluncur Kapal Dari Galangan*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Siswanto. 2012. *Rekayasa Teknologi Proses Produksi "Rubber Airbag" untuk Transportasi Peluncuran Kapal dari Galangan*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Supratiningsih, A. 2005. *Pengaruh RSSI/SBR dan Filler CaCO3 terhadap Sifat Fisik Kompon Karpet Karet*. Yogyakarta: Majalah Kulit, Karet, Plastik.
- Wahyudi, T. 2005. *Kursus Teknologi Barang Jadi Karet Padat*. Bogor: Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.