

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
PENGARUH DUA JENIS *PROCESSING OIL* TERHADAP
SIFAT MEKANIK PADA KOMPON KARET UNTUK
TAPAK BAN PESAWAT TERBANG
DI PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL-BPPT
(1 Februari – 31 Maret 2016)



OLEH :

| | |
|--------------------------------|----------------|
| FRANSISKUS IRWAN HALAWA | 1512016 |
| CRISTINE AGNESI | 1512034 |

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
PENGARUH DUA JENIS *PROCESSING OIL* TERHADAP
SIFAT MEKANIK PADA KOMPON KARET UNTUK
TAPAK BAN PESAWAT TERBANG
DI PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL-BPPT
(1 Februari – 31 Maret 2016)

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



OLEH :

FRANSISKUS IRWAN HALAWA 1512016

CRISTINE AGNESI 1512034

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya kami dapat menyelesaikan Laporan Penelitian kami yang berjudul “Pengaruh Dua Jenis *Processing Oil* Terhadap Sifat Mekanik Pada Kompon Karet Untuk Tapak Ban Pesawat Terbang” di Pusat Teknologi Material-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi yang terletak di Serpong, Tangerang Selatan.

Penulisan laporan ini bertujuan guna memenuhi salah satu syarat kelulusan dari program studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.

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

1. Orang tua kami yang telah memberikan dukungan secara moril maupun materil.
2. Bapak Dr. Mustofa ST, MT., selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
3. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta dan selaku dosen pembimbing penelitian.
4. Ibu Indriasari, MSc, selaku selaku pembimbing selama penelitian di Pusat Teknologi Material-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi yang telah memberikan ilmu, arahan, dan masukan dalam melaksanakan penelitian.
5. Bapak Drs. Mahendra Anggaravidya, M.Si dan Ibu Ir. Lies A. Wisojodharmo yang telah memberikan ilmu selama penelitian.
6. Mba Riastuti Fidyarningsih, S.Si., Mba Diah Ayu Fitriani, S.T., Mba Novita Amie Lestari, S.Si, Mba Henny Purwati, S.Si, Mas Dita Adi Saputra, M.Si, Mas Najas dan karyawan-karyawan di Pusat Teknologi Material – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi yang telah banyak membantu selama penelitian
7. Subhi Fadhillah selaku rekan dalam pelaksanaan penelitian.

8. SUGARS, sahabat, dan teman-teman TKI SATU 2012 yang telah memberikan informasi, semangat, dan dukungan dalam menyelesaikan laporan ini.

Demikian laporan ini kami sampaikan, kritik dan saran dari semua pihak untuk kesempurnaan laporan ini kami harapkan. Semoga Laporan Penelitian ini dapat bermanfaat baik bagi kami maupun untuk para pembaca umumnya.

Jakarta, Juni 2016

Penulis

ABSTRAK

Processing oil merupakan bahan bantu proses yang digunakan untuk memudahkan proses pencampuran dengan cara menurunkan viskositas, sehingga memudahkan *filler* terdispersi dengan baik kedalam kompon karet. *Processing oil* yang biasa digunakan dalam pembuatan kompon karet mengandung *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) yang tinggi dan sudah dilarang penggunaannya di berbagai Negara, terutama di Uni Eropa. Salah satu alternatif pengganti adalah minyak *Residual Aromatic Extract* (Exdo 4) yang merupakan produk dalam negeri yang di produksi oleh Pertamina Kilang Cilacap. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi penggunaan *processing oil* yang mengandung PAH yang tinggi dengan *processing oil* yang mengandung PAH rendah terhadap pemrosesan dan sifat mekanik kompon karet yang dihasilkan. Jenis *processing oil* yang digunakan yaitu minyak Exdo-4 yang hasilnya dibandingkan dengan minyak minyak parafinik pada formulasi 4phr dan 8phr. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi *processing oil* yang mengandung PAH tinggi dengan PAH rendah menghasilkan nilai *tensile strength*, *rebound resilience*, *hardness*, *abrasion resistance*, dan *compression set* yang lebih rendah. Sifat mekanik kompon karet yang dihasilkan yang sesuai target standar teknis untuk tapak ban pesawat terbang adalah ketahanan kikis, pantul, dan pampatan tetap.

Kata kunci: *processing oil*, minyak parafinik, minyak *Residual Aromatic Extract* (Exdo-4), sifat mekanik kompon karet, *poly aromatic hydrocarbon*

ABSTRACT

Processing oil is a processing aid which is used to facilitate the mixing process by reducing the viscosity, thus enabling the dispersion of filler into the rubber compound easily. Processing oil used in the manufacture of rubber compounds contains a high Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) therefore the use of PAH oil has been banned in many countries, especially in the Uni Eropa. One of the alternative oils is a Residual Aromatic Extract (Exdo-4) which is a cosmetic product produced by Pertamina Cilacap refinery. The aim of this research is to determine the effect of substitution of the use of processing oil containing high PAH with processing oil containing PAH low on the processing and the mechanical properties of rubber compounds which are generated. The type of processing oil used is Exdo-4 that result compared with paraffinic oil at 4phr and 8phr. The results of research showed substitution of the use of processing oil containing high PAH with PAH low generate values of tensile strength, rebound resilience, hardness, abrasion resistance, and compression set lower. The mechanical properties of the resulting rubber compounds that meets the target of technical standard for aircraft tire tread is abrasion resistance, rebound resilience, and compression set.

Keywords: processing oil, paraffinic oil, Residual Aromatic Extract (Exdo-4) oil, mechanical properties rubber compound, poly aromatic hydrocarbon

DAFTAR ISI

Halaman

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING | |
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN | |
| LEMBAR PENGESAHAN | |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN | |
| KATA PENGANTAR | i |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR SINGKATAN | x |
| DAFTAR LAMBANG | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Kompon Karet | 5 |
| 2.1.1 Polimer | 5 |
| 2.1.1.1 Karet Alam (<i>Ribbed Smoked Sheet</i>) | 5 |
| 2.1.1.2 Karet Sintetik (<i>Butadiene Rubber</i>) | 7 |
| 2.1.2 Bahan Pelunak (<i>Peptizer</i>) | 8 |

| | |
|--|----|
| 2.1.3 Bahan Pemercepat (<i>Accelerator</i>)..... | 8 |
| 2.1.4 Bahan Penguat (<i>Activator</i>)..... | 9 |
| 2.1.5 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)..... | 9 |
| 2.1.6 <i>Antidegradant</i> | 10 |
| 2.1.7 <i>Processing Oil</i> | 11 |
| 2.1.7.1 Fungsi <i>Processing Oil</i> | 12 |
| 2.1.7.2 Karakteristik <i>Processing Oil</i> | 13 |
| 2.1.8 Bahan Pemvulkanisasi | 17 |
| 2.1.9 <i>Coupling Agent</i> | 17 |
| 2.2 Proses Pencampuran | 18 |
| 2.3 Reaksi Vulkanisasi..... | 19 |
| 2.4 Proses Pengusangan (<i>Aging</i>)..... | 20 |
| 2.5 Pengujian Sifat Mekanik Kompon Karet..... | 21 |
| 2.5.1 Pengujian Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength Test</i>)..... | 21 |
| 2.5.2 Pengujian Ketahanan Kikis (<i>Abrasion Resistance Test</i>)..... | 22 |
| 2.5.3 Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)..... | 22 |
| 2.5.4 Pengujian Pantul (<i>Rebound Resilience Test</i>) | 23 |
| 2.5.5 Pengujian Pampatan Tetap (<i>Compression Set Test</i>) | 23 |
| 2.6 Vulkanisir Ban | 23 |
| 2.7 Karakter Ban Pesawat Terbang..... | 24 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | |
|---|----|
| 3.1 Tempat dan Waktu..... | 27 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 27 |
| 3.2.1 Alat..... | 27 |
| 3.2.2 Bahan | 28 |
| 3.3 Variabel..... | 28 |
| 3.3.1 Variabel Tetap..... | 28 |
| 3.3.2 Variabel Berubah | 29 |
| 3.4 Skema Penelitian..... | 30 |
| 3.5 Prosedur Penelitian | 31 |
| 3.5.1 Tahap Pembuatan Kompon Karet..... | 31 |

| | |
|--|----|
| 3.5.2 Tahap Uji Waktu Kematangan dan Kekentalan Kompon | 32 |
| 3.5.2.1 Uji Waktu Kematangan (<i>Rheometer Test</i>) | 32 |
| 3.5.2.2 Uji Kekentalan (<i>Viscosity Test</i>)..... | 33 |
| 3.5.3 Tahap Pembuatan Sampel Untuk Uji Karakteristik..... | 34 |
| 3.5.4 Tahap Pengusangan (<i>Aging</i>)..... | 35 |
| 3.6 Pengujian Sampel Kompon Karet..... | 35 |
| 3.6.1 Pengujian Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength Test</i>)..... | 35 |
| 3.6.2 Pengujian Ketahanan Kikis (<i>Abrasion Resistance Test</i>)..... | 36 |
| 3.6.3 Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)..... | 36 |
| 3.6.4 Pengujian Pantul (<i>Rebound Resilience</i>)..... | 37 |
| 3.6.5 Pengujian Pampatan Tetap (<i>Compression Set Test</i>) | 37 |
| 3.7 Target Spesifikasi Teknis..... | 38 |
| 3.8 Matriks Penelitian | 38 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Formulasi Kompon Karet | 39 |
| 4.2 Hasil Karakterisasi | 40 |
| 4.2.1 Pengaruh variasi minyak terhadap viskositas kompon karet .. | 41 |
| 4.2.2 Pengaruh variasi minyak terhadap waktu matang kompon karet | 42 |
| 4.2.3 Hubungan antara variasi komposisi karet terhadap vulkanisat yang dihasilkan | 43 |
| 4.2.3.1 Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength</i>) | 43 |
| 4.2.3.2 Pantul (<i>Rebound Resilience</i>) | 44 |
| 4.2.3.3 Kekerasan (<i>Hardness</i>) | 45 |
| 4.2.3.4 Ketahanan Kikis (<i>Abrasion Resistance</i>)..... | 46 |
| 4.2.3.5 Pampatan Tetap | 48 |
| BAB V PENUTUP | |
| 5.1 Kesimpulan | 50 |
| 5.2 Saran | 50 |
| DAFTAR PUSTAKA | 50 |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel II.1 Karakteristik dan Sifat Mekanik Karet Alam..... | 6 |
| Tabel II.2 Standar Mutu <i>Ribbed Smoke Sheet</i> | 6 |
| Tabel II.3 Karakteristik dan Sifat Mekanik Karet <i>Butadiene</i> | 8 |
| Tabel II.4 Kode ASTM dan Aplikasi dari <i>Carbon Black</i> | 10 |
| Tabel II.5 Metode Pengujian <i>Processing Oil</i> | 13 |
| Tabel II.6 Spesifikasi Minyak Parafinik 95 | 16 |
| Tabel II.7 Spesifikasi Minyak Exdo-4 | 17 |
| Tabel II.8 Spesifikasi Teknis Kompon Karet untuk Tapak Ban Pesawat | 26 |
| Tabel III.1 Penamaan Kompon Karet | 31 |
| Tabel III.2 Matriks Penelitian | 38 |
| Tabel IV.1 Komposisi Formulasi Karet..... | 39 |
| Tabel IV.2 Perbandingan Hasil Keseluruhan Penguian Kompon Karet Sebelum dan Sesudah <i>Aging</i> dengan Standar Teknis Tapak Ban Pesawat Terbang | 41 |
| Tabel IV.3 Kekuatan Tarik sebelum dan sesudah <i>Aging</i> | 44 |
| Tabel IV.4 Kenaikan <i>Rebound Resilience</i> sesudah <i>aging</i> | 45 |
| Tabel IV.5 <i>Hardness loss</i> Sesudah <i>Aging</i> | 46 |
| Tabel IV.6 Ketahanan Kikis Sesudah <i>Aging</i> | 48 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar II.1. Struktur Kimia Karet Alam | 7 |
| Gambar II.2. Struktur Kimia <i>Butadiene Rubber</i> | 7 |
| Gambar II.3. Fungsi <i>Processing Oil</i> 1 | 12 |
| Gambar II.4. Fungsi <i>Processing Oil</i> 2 | 12 |
| Gambar II.5. Kelarutan <i>Processing Oil</i> | 13 |
| Gambar II.6. Mekanisme Vulkanisasi dengan Sulfur | 20 |
| Gambar II.7. Struktur Ban Pesawat Terbang | 25 |
| Gambar III.1. Diagram Proses Pembuatan Kompon Karet hingga Karakterisasi Sampel..... | 30 |
| Gambar IV.1. Pengaruh Variasi <i>Processing Oil</i> Terhadap Viskositas Kompon Karet..... | 41 |
| Gambar IV.2. Pengaruh Variasi <i>Processing Oil</i> Terhadap Waktu Matang Kompon Karet..... | 42 |
| Gambar IV.3. Hasil Uji Kekuatan Tarik Kompon Karet | 43 |
| Gambar IV.4. Hasil Uji <i>Rebound Resilience</i> Kompon Karet..... | 44 |
| Gambar IV.5. Hasil Uji Kekerasan | 45 |
| Gambar IV.6. Hasil Uji Ketahanan Kikis | 47 |
| Gambar IV.7. Hasil Uji Pampatan Tetap | 48 |

DAFTAR SINGKATAN

A

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

B

BIU : *The Biochemisches Institut Fur Umweltcarcinogene*
BPPT : *Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi*
BR : *Butadiene Rubber*

C

CBS : *n-Cyclohexyl-2-benzothiazole sulfenamide*
cP : *centipoise*
cSt : *centostoke*

E

ENR : *Expoxydized Natural Rubber*
EPDM : *Ethylene-propylene-diene*
Exdo-4 : *Residual Aromatic Extract*

I

IR : *Isoprene Rubber*

M

Mg : *Magnesium*
MPa : *Mega Pascal*
MU : *Mooney Unit*

N

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

P

6PPD : *N-(1,3-Dimethylbutyl)*
PAH : *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon*
PbO : *lead (II) oxide*
Phr : *Per hundred rubber merupakan satuan yang digunakan dalam*

ppm : *part per million*
PTM : Pusat Teknologi Material

R

RSS : *Ribbed Smoke Sheet*
RU : *Refinery Unit*

S

SBR : *Stirena Butadiena Rubber*

T

TMQ : *Trimethyl Dihydroquinoline*

V

VGC : *Viscosity Gravity Constant*

Z

ZnO : *Zinc Oxide*

DAFTAR LAMBANG

| | |
|----------------|---|
| A | : Berat sampel di udara (g) |
| A | : Luas contoh sampel (cm ²) |
| ARI | : <i>Abrasion Resistance Index</i> (%) |
| B | : Berat sampel dalam air (g) |
| C | : <i>Compression Set</i> (%) |
| d | : Densitas udara (0.0012 g/cm ³ , pada tekanan atmosferis) |
| Eb | : <i>Elongation</i> (%) |
| Fb | : Beban maksimum (N) |
| Fn | : Beban (N), pada n% <i>elongasi</i> |
| L | : Panjang contoh sampel setelah putus (cm) |
| Lo | : Panjang contoh sampel mula-mula (cm) |
| Mn | : <i>Tensile Strees</i> (N/cm ²) |
| N _D | : Indeks Bias |
| Tb | : <i>Tensile Strength</i> (N/cm ²) |
| Ti | : Tebal akhir sampel (mm) |
| Tn | : Tebal <i>spacer</i> (mm) |
| To | : Tebal awal sampel (mm) |
| Δmt | : Massa karet sampel yang terkikis (mm) |
| Δmr | : Massa karet standar yang terkikis (mm) |
| ΔV | : <i>DIN Abrasion Loss</i> (mm 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) |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kompon karet adalah karet mentah yang dicampur dengan bahan baku penunjang lainnya seperti *filler*, *accelerator*, *peptizer*, *processing oil* dan sebagainya. Salah satu bahan baku penunjang yang memiliki peranan penting dalam pemrosesan kompon karet adalah *processing oil*. Fungsi lain dari *processing oil* adalah untuk mengurangi viskositas dari campuran karet, meningkatkan dispersi *filler* dan meningkatkan kualitas kompon karet (Winarto. dkk, 2015). Selama ini *processing oil* yang biasa digunakan untuk pemrosesan kompon karet umumnya bersumber dari minyak bumi antara lain minyak aromatik, minyak naftanik, dan minyak parafinik. Namun, minyak tersebut umumnya masih mengandung kandungan aromatik yang tinggi.

Sejak tanggal 1 Januari 2010, penggunaan minyak aromatik yang mengandung *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) sudah dilarang penggunaannya di berbagai Negara, terutama di Uni Eropa. Legislasi Uni Eropa Directive No.2005/69/EC amandemen terbaru, menyatakan perusahaan pembuat/produksi ban untuk diekspor ke negara-negara Uni Eropa harus dinyatakan bersih dari bahan-bahan produksi yang bersifat karsinogenik. Sesuai legislasi tersebut, yang termasuk kategori *non* karsinogenik apabila memiliki kandungan Total PAH < 10 ppm (*part per million*) dan kandungan Benzo[a]pyrene < 1 ppm. Oleh karena itu, agar dapat mengekspor produk ke Uni Eropa, maka perusahaan di luar Eropa harus mencari minyak alternatif yang dapat memenuhi karakteristik dan parameter yang dipersyaratkan dalam legislasi Uni Eropa tersebut.

Salah satu alternatif pengganti adalah minyak nabati. Minyak nabati bersifat ramah lingkungan, relatif murah dan mudah ketersediannya. Pada tahun 2013, Clarke J. dkk telah meneliti minyak nabati sebagai pengganti *petroleum oils* dalam campuran elastomer. Minyak yang digunakan adalah minyak *rapeseed oil*, *castor oil* dan *palm oil*. Hasil menunjukkan bahwa tingkat ketidakjenuhan dalam minyak

memiliki efek sekunder terhadap elastomer, *natural rubber* (NR) dan *stirena butadiena rubber* (SBR) kompatibel dengan minyak non-polar sementara *exoxydized natural rubber* (ENR) kompatibel dengan minyak jarak polar, *nytril butadiene rubber* (NBR) sangat polar bahkan lebih polar daripada minyak jarak, sehingga NBR kurang kompatibel dengan semua jenis minyak nabati. Minyak nabati cenderung mempengaruhi waktu matang (torsi maksimum yang lebih rendah)

Penelitian lain, diantaranya menggunakan minyak kelapa, minyak sawit, minyak kedelai, minyak zaitun, dan minyak jarak, yang hasilnya dibandingkan dengan minyak parafinik. Hasil menunjukkan semua minyak nabati dapat digunakan untuk mensubsitisi penggunaan minyak konvensional (minyak parafinik) tanpa mengakibatkan efek negatif terhadap sifat mekanik vulkanisat yang dihasilkan. Dari sisi pemrosesan, minyak sawit sangat potensial untuk digunakan karena dapat menurunkan *mooney* viskositas yang nilainya sebanding dengan minyak parafinik serta dari sisi waktu matang tidak berpengaruh. (Winarto. Dkk, 2015)

Pada tanggal 27 Agustus 2014, PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap merilis produk minyak ban bernama *Residual Aromatic Extract* (Exdo-4). *Lead of Supply Chain & Distribution* Pertamina RU IV, Djoko Sulisty, mengatakan Exdo-4 merupakan minyak yang memiliki kemampuan dalam mengoptimisasi kegunaan minyak mentah sebagai bahan dasar pembuatan ban dengan kualitas yang lebih baik (detikFinance, 2016). Produk ini telah memenuhi dan memperoleh *laboratory approval* dari laboratorium The Biochemisches Institut Fur Umweltcarcinogene (BIU), Prof Dr. Gernot Grimmer Stiftung Jerman.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan minyak Exdo-4 (PAH rendah) dengan minyak konvensional yaitu minyak parafinik (PAH tinggi), dari segi pemrosesan dan sifat mekanik vulkanisat yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. bagaimana pengaruh substitusi penggunaan *processing oil* yang mengandung PAH tinggi dengan *processing oil* yang mengandung PAH rendah terhadap pemrosesan (viskositas dan waktu matang) dan sifat mekanik kompon karet yang dihasilkan?
2. bagaimana pengaruh pengusangan (*aging*) terhadap sifat mekanik kompon karet yang menggunakan *processing oil* Parafinik dan Exdo-4?
3. bagaimana sifat mekanik kompon karet yang dihasilkan yang memenuhi target standar teknis untuk tapak ban pesawat terbang?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Jenis *processing oil* yang digunakan adalah minyak parafinik dan minyak Exdo-4 yang diperoleh dari Pertamina.
2. Variasi minyak yaitu 4 phr dan 8 phr.
3. Polimer yang digunakan adalah *Rubber Smoked Sheet* 80 phr dan *Butadiene Rubber* 20 phr.
4. *Activator* yang digunakan adalah ZnO 5,0 phr, Asam Stearat 3,0 phr.
5. *Filler* yang digunakan Silika adalah 30,0 phr, *Carbon black* 20,0 phr, Chemisil 2,5 phr.
6. *Antioxidant* yang digunakan adalah TMQ 2,0 phr, 6PPD 3,0 phr, Wax 2,0 phr.
7. Resin yang digunakan adalah *Coumarone Resin* 4,0 phr.
8. *Curratives* yang digunakan adalah Sulfur 1,5 phr, dan CBS 1,5 phr.
9. Suhu proses pada *kneader* yaitu 80°C dan kecepatan *mixing* 32 rpm.
10. Suhu proses pada *oven Aging* 70°C dengan waktu 48 jam.

Keterangan : Phr (*per hundred rubber*) merupakan satuan yang digunakan dalam formulasi kompon.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. mengetahui pengaruh substitusi penggunaan *processing oil* yang mengandung PAH tinggi dengan *processing oil* yang mengandung PAH rendah terhadap pemrosesan (viskositas dan waktu matang) dan sifat mekanik kompon karet yang dihasilkan.
2. mengetahui pengaruh pengusangan (*aging*) terhadap sifat mekanik kompon karet yang menggunakan *processing oil* Parafinik dan Exdo-4.
3. mengetahui sifat mekanik kompon karet yang dihasilkan yang memenuhi target standar teknis untuk tapak ban pesawat terbang.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

Mengetahui pengaruh *processing oil* yang mengandung PAH rendah (kadar aromatik < 1 ppm) terhadap sifat pemrosesan dan sifat mekanik kompon karet yang dihasilkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kompon Karet

Menurut Abednego (1979), kompon karet adalah campuran karet mentah dengan bahan-bahan kimia yang belum divulkanisasi. Karet yang digunakan untuk kompon terdiri dari dua jenis, yaitu karet alam dan karet sintetis. Dari pengertian kompon, diketahui bahwa dalam proses pembuatannya digunakan bahan-bahan kimia yang ditambahkan pada bahan baku karet untuk memperoleh sifat fisik dan kimiawi dari kompon karet yang lebih baik. Bahan kimia kompon dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu bahan kimia utama dan bahan kimia pembantu proses. Bahan kimia utama adalah bahan kimia yang digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat fisik karet, sehingga produk karet yang dihasilkan akan memiliki sifat fisik dan kimiawi yang lebih stabil (SS.Sipahutar, 2011). Bahan-bahan kimia yang digunakan untuk pembuatan kompon karet adalah polimer, bahan pelunak (*peptizer*), bahan pemercepat (*accelerator*), bahan penggiat (*activator*), bahan pengisi (*filler*), *antidegradant*, *processing oil*, bahan pemvulkanisasi, dan *coupling agent*.

2.1.1 Polimer

2.1.1.1 Karet Alam (*Ribbed Smoked Sheet*)

RSS (*Ribbed Smoked Sheet*) dan karet krep (*crepe*) digolongkan sebagai karet konvensional, dibuat langsung dari lateks kebun, dengan terlebih dahulu menggumpalkannya kemudian digiling menjadi lembaran-lembaran tipis dan dikeringkan dengan cara pengasapan atau dengan cara pengeringan menggunakan udara panas untuk karet krep (struktur kimia karet alam dapat dilihat pada gambar II.1). Mutu karet konvensional dinilai berdasarkan analisis visual permukaan lembaran karet. Mutu karet akan semakin tinggi bila permukaannya makin seragam, tidak ada gelembung, tidak mulur, dan tidak ada kotoran serta teksturnya makin kekar/ kokoh. (SS. Sipahutar, 2011). Kandungan utamanya *polyisoprene* (*polimer of isoprene* – C_5H_8) yg didapat dari *Latex* (A.Nainggolan, 2014), rumus

bangun dapat dilihat pada Gambar II.1 Karakteristik dan sifat mekanik karet alam dapat dilihat pada pada Tabel II.1

Tabel II.1 Karakteristik dan Sifat Mekanik Karet Alam

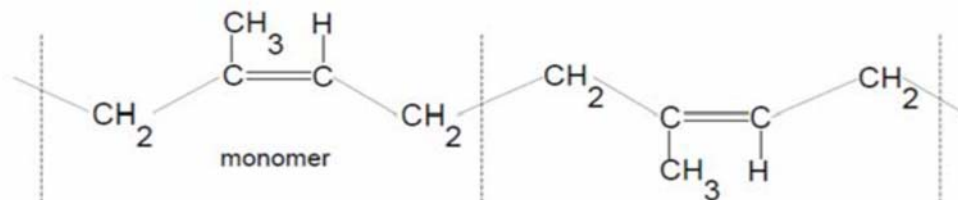
| <i>Polymer</i> | <i>Polyisoprene (C₅H₈)_n</i> |
|-------------------------------|--|
| <i>Modulus of elasticity</i> | 2500 lb/in. ² (18 MPa) |
| <i>Tensile Strength</i> | 3500 lb/in. ² (25 MPa) |
| <i>Elongation</i> | 700% at failure |
| <i>Abrasion Resistance</i> | Good to Excellent |
| <i>Compression Set</i> | Excellent |
| <i>Rebound Resilience</i> | Excellent |
| <i>Hardness</i> | 30-95 Shore A |
| <i>Specific Gravity</i> | 0.93 |
| <i>High-temperature limit</i> | 180°F (80°C) |
| <i>Low-temperature limit</i> | -60°F (-50°C) |

Sumber: Robinson *Rubber Product*, 2005

Tabel II.2 Standar Mutu *Ribbed Smoke Sheet*

| No. | Jenis Uji | Satuan | Persyaratan | | |
|-----|---------------------------------------|-------------------|---|-------------|-------------|
| | | | Mutu 1 | Mutu 2 | Mutu 2 |
| 1. | Organoleptis | | | | |
| | Keadaan dan kenampakan karet lembaran | - | Tidak cacat dan rusak yang berupa sobek, lubang, retak gosekan, serta karet lembaran harus tercetak penuh | | |
| | Nomor karet lembaran kanan dan kiri | - | Harus sama | | |
| 2. | Mekanik | | | | |
| | Tegangan Putus | N/mm ² | min 16 | min 11 | min 5,0 |
| | Perpanjangan Putus | - | min 250 | min 200 | min 150 |
| | Kekerasan | Shore A | 55-80 | 55-80 | 55-80 |
| | Ketahanan Sobek | N/mm ² | min 6,0 | min 4,0 | min 3,5 |
| | Perpanjangan Tetap 50% | - | maks 3 | maks 4 | maks 6 |
| | Bobot Jenis | g/cm ³ | maks 1,2 | maks 1,3 | maks 1,4 |
| | Ketahanan Kikis | mm ³ | maks 250 | maks 300 | maks 350 |
| | Ketahanan retak lentur 150 KCS | - | tidak retak | tidak retak | tidak retak |

Sumber : SNI (Standar Nasional Indonesia) 0778-2009



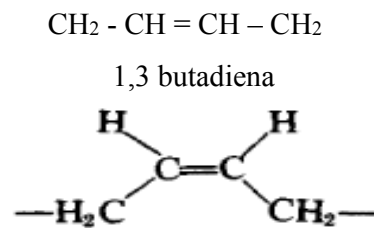
Gambar II.1. Struktur Kimia Karet Alam

Sumber : A.Nainggolan, 2014

2.1.1.2 Karet Sintetik (*Butadiene Rubber*)

Karet sintetik adalah karet yang berasal dari hasil samping pengolahan minyak bumi yang kemudian melalui reaksi polimerisasi menjadi suatu material baru yang sifat-sifatnya mendekati sifat-sifat karet alam. Karet sintetik merupakan karet tiruan yang dibuat untuk mengganti karet alam atau untuk keperluan lain, antara lain: *Isoprene Rubber* (IR), *Styrene Butadiene Rubber* (SBR), *Butadiene Rubber* (BR), dan sebagainya. (Zuhra, 2006).

Butadiene Rubber (BR) adalah homopolimer dari 1,3 *butadiena*, monomernya mengandung empat atom karbon, dan enam atom hidrogen (C_4H_6). Keempat atom karbon dalam rantai lurus memiliki dua ikatan ganda, dapat dilihat pada Gambar II.2



Gambar II.2. Struktur Kimia *Butadiene Rubber*

Sumber: Matondang, 2010

Butadiene Rubber dibuat dengan cara polimerisasi emulsi dan larutan, polimerisasi larutan menghasilkan karet BR, untuk keperluan pembuatan ban yang lebih tahan terhadap abrasi, lebih lentur dan resilien dibanding karet alam. Polimerisasi emulsi menghasilkan polimer campuran yang acak (*cis* dan *trans poli butadiene*). Kegunaan utamanya adalah sebagai bahan untuk pembuatan ban, karena dapat meningkatkan ketahanan abrasi. Digunakan secara mencampur dengan karet SBR maupun karet alam, kelebihan utamanya mengurangi terjadinya pemanasan dalam (*hysteresis*) pada produk ban (Matondang, 2010). Karakteristik dan sifat mekanik karet *butadiene* dapat dilihat pada Tabel II.3

Tabel II.3 Karakteristik dan Sifat Mekanik Karet *Butadiene*

| <i>Polymer</i> | <i>Polybutadiene (C₄H₆)_n</i> |
|---|--|
| <i>Tensile Strength (lb/in²)</i> | 2000 |
| <i>Elongation</i> | 500% at failure |
| <i>Abrasion Resistance</i> | Fair to Excellent |
| <i>Compression Set</i> | Good to Excellent |
| <i>Rebound Resilience</i> | Fair to Excellent |
| <i>Hardness (Shore A)</i> | 45-80 |
| <i>Specific Gravity</i> | 0,93 |
| <i>High-temperature limit (°F)</i> | 210 |
| <i>Low-temperature limit (°F)</i> | -60 |

Sumber : Robinson *Rubber Product*, 2005

2.1.2 Bahan Pelunak (*Peptizer*)

Karet alam memiliki sifat liat, kering, dan sulit dicampur dengan bahan lain pada proses pelunakan karet (mastikasi), untuk mempermudah proses tersebut digunakan *peptizer*. *Peptizer* merupakan bahan bantu proses yang digunakan untuk mempercepat pelunakan karet sebelum menerima bahan kimia karet (Ridha Arizal, 2015).

2.1.3 Bahan Pemecepat (*Accelerator*)

Accelerator 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.

Abednego (1979) mengatakan bahwa bahan pencepat adalah katalisator dalam proses vulkanisasi. Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan *accelerator* antara lain:

- Penggunaan panas alat dapat dikurangi
- Hasil akhir lebih seragam
- Dapat digunakan bahan dasar kualitas rendah
- Dapat memperbaiki sifat-sifat fisik barang jadinya
- Dapat memperbaiki performa dan kemampuan untuk diberi warna
- Meningkatkan daya tahan terhadap *aging*
- Mengurangi kecenderungan untuk memisahkan diri dari permukaan.

(Surya, 2009)

Secara umum, bahan pemercepat mengandung sulfur dan nitrogen, contohnya adalah sulfur dan *N-Cyclohexyl-2-benzothiazylsulfenamide* (CBS).

2.1.4 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 pengaktif yang paling umum digunakan adalah seng oksida (ZnO) dan asam stearat (Alfa, 2003). Penggunaan bahan penggiat pada umumnya berkisar 3-5 phr.

2.1.5 Bahan Pengisi (*Filler*)

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

- ***Reinforcing filler (bahan pengisi aktif)***: berfungsi meningkatkan kekerasan, ketahanan sobek, ketahanan kikis, dan kekuatan tarik barang jadi karet. Contoh: *carbon black*, ZnO, magnesium karbonat
- ***Inert filler (bahan pengisi tidak aktif)***: berfungsi sebagai penambah volume, menambah kekerasan dan kekakuan barang jadi karet. Contoh: CaCO₃, kaolin, BaSO₄. (Victor Tulus, 2014)

Tabel II.4 Kode ASTM dan Aplikasi dari Carbon Black

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

Sumber : Pendidikan dan Pelatihan Ekspor Indonesia, 2015

2.1.6 Antidegradant

Antidegradant adalah bahan kimia yang berfungsi sebagai anti ozon dan anti oksidan yang melindungi bahan jadi karet dari pengusangan dan peningkatan usia penggunaannya. Karet tanpa anti oksidan akan mudah teroksidasi sehingga menjadi lunak kemudian lengket dan akhirnya menjadi keras dan retak-retak (*aging*) (Pangestika et al, 2011).

Pemakaian anti oksidan harus memenuhi beberapa syarat, antara lain:

- Mudah terdispersi pada seluruh bagian karet
- *Inert* terhadap hasil-hasil vulkanisasi pada setiap jenis tegangan
- Tidak mempunyai pengaruh terhadap warna hasil vulkanisasi (Victor Tulus, 2014)

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

- a) Turunan amina. Antioksidan ini tergolong *staining*, biasanya anilin dan difenilamin karena dapat memudarkan warna bukan hitam bila diekspos didalam cahaya. Contoh: *phenyl-(alfa,beta)-naphthylamine*, keton-amin kondensat seperti *Flectol H*, *Permanax TQ*, substitusi *p-phenilenediamines* seperti *IDDS*, *Santoflex 13*, *Permanax 6PPD*.
- b) Turunan fenol. Antioksidan ini tergolong *non staining* yang tidak banyak mempengaruhi warna vulkanisat. Contoh: substitusi fenol seperti *Vulkanox DS*, *Ionol*, *Permanax SP*, *Montaclere fenil alkana* seperti *Vulkanox NKF*, *Naugawhite*, *Santowhite*.
- c) *Waxes*, dipakai terutama untuk mencegah proses *aging* yang disebabkan oleh sinar matahari dan ozon (Ridha Arizal, 2015)

2.1.7 Processing Oil

Processing oil merupakan bahan kimia karet yang ditambahkan pada kompon karet untuk meningkatkan efektifitas pengolahan kompon, tanpa atau sedikit mempengaruhi sifat fisik dan karakteristik vulkanisasi barang jadinya (Craig, 1969). Tujuan lainnya untuk meningkatkan performa/tampilan dari produk karet, dan untuk mempermudah proses *mixing*, *calendaring*, *ekstruder*, dan *molding*. Bahan-bahan ini ditambahkan pada kompon karet sesuai dengan kebutuhan atau tujuan. Berdasarkan sumber bahan baku atau jenis produknya, bahan bantu olah jenis pelunak (*softener*) digolongkan atas pelunak *petroleum*, bahan pelunak ester, resin, karet cair, asam lemak dan turunannya, lilin hidrokarbon dan polietilen, serta vulkanisat minyak nabati atau faktis (Alfa, 2003).

Ada 3 tipe utama *rubber process oil* yang berasal dari minyak bumi yang biasa digunakan sebagai *processing oil*, yaitu:

- Parafinik, sifatnya yg sangat stabil, digunakan untuk vulkanisat bewarna atau putih, senyawa bersifat *non polar* sehingga lebih cocok untuk karet yg *non polar* seperti NR, BR, EPDM.
- Naftenik, sifatnya hidrokarbon siklik, tetapi *flash point* lebih rendah dibanding parafinik.

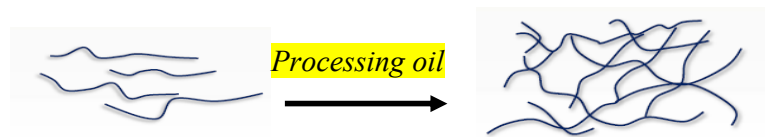
- Aromatik, sifatnya tidak begitu stabil, warnanya gelap, *low flash point*, dan tidak cocok digunakan untuk *mixing* pada suhu yang tinggi, dan digunakan untuk campuran karet yang berwarna gelap. Senyawa bersifat polar, sehingga lebih cocok untuk karet yang polar. (Ridha Arizal, 2015)

2.1.7.1 Fungsi *Processing Oil*

Fungsi utama *processing oil* adalah menurunkan viskositas dan elaktilitas polimer. Cara kerja *processing oil* dalam menurunkan viskositas dan elaktilitas polimer adalah sebagai berikut:

a) Menurunkan Berat Molekul Polimer

Proses kerja *processing oil* dalam menurunkan viskositas dan elaktilitas polimer dengan cara menurunkan ikatan polimer dengan memutuskan ikatan rantai polimer sehingga memudahkan aliran molekul minyak dalam rantai polimer.

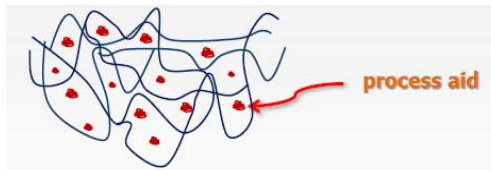


Gambar II.3. Fungsi *Processing Oil* 1

Sumber : Krisda Sucihva, 2015

b) Menurunkan Interaksi Antar Molekul Polimer

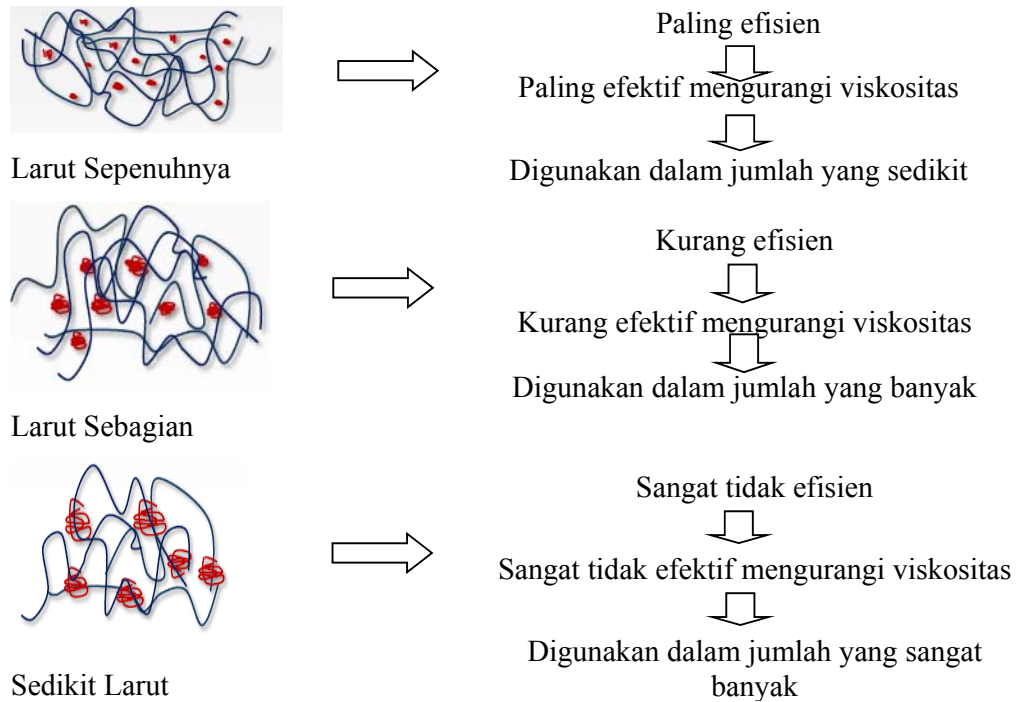
Dengan semakin mudahnya aliran minyak memasuki rantai polimer yang akan menurunkan interaksi yang terjadi antar molekul polimer dengan tidak menurunkan berat molekul polimer sehingga tidak mempengaruhi hasil akhir.



Gambar II.4. Fungsi *Processing Oil* 2

Sumber : Krisda Sucihva, 2015

Keberhasilan *processing oil* sangat tergantung pada tingkat *miscibility* dengan polimer atau kelarutan dalam polimer. Kelarutan *processing oil* dapat di gambarkan sebagai berikut :



Gambar II.5. Kelarutan *Processing Oil*

Sumber: Krisda Suciha, 2015

2.1.7.2 Karakteristik *Processing Oil*

Sifat-sifat senyawa karet tergantung pada komposisi dan karakteristik *processing oil* yang digunakan. Ada beberapa metode untuk mengidentifikasi karakteristik *processing oil* tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Tabel II.5 berikut:

Tabel II.5 Metode Pengujian *Processing Oil*

| Parameter | Metode Uji ASTM |
|--|-----------------|
| <i>Relative Density</i> | D1298 |
| <i>Viscosity</i> | D445 |
| <i>Aniline point</i> | D611 |
| <i>Refractive index</i> | D1218 |
| <i>Color</i> | D1500 or D156 |
| <i>Flash point</i> | D92 or D93 |
| <i>Pour point</i> | D97 |
| <i>Evaporative loss</i> | D972 |
| <i>Composition :</i> <i>Clay-gel analysis</i> | D2007 |
| <i>Carbon type</i> | D2140 |
| <i>Viscosity-gravity constant</i> | D2501 |

Sumber : Anida Petchkaew, 2015

Sifat-sifat dari *processing oil* dijelaskan sebagai berikut :

a) Relatif *Density*

Relatif densitas, bisa disebut juga dengan *Specific Gravity*, yaitu ukuran relatif densitas minyak terhadap densitas air. Relatif densitas biasanya diukur dan ditetapkan pada suhu 15,6°C. Relatif densitas pada minyak akan meningkat tergantung pada jenis aromatik dan berat molekul.

b) Viskositas

Viskositas menunjukkan kecepatan alir sebuah minyak. Jika viskositas nya tinggi, berat molekul umumnya tinggi dan kompatibilitas dengan karet kurang, sehingga membutuhkan lebih banyak waktu pencampuran untuk memaksimalkan kerja bahan *additives*. Minyak yang memiliki viskositas tinggi membutuhkan pemanasan untuk menurunkan viskositas sebelum ditambahkan ke dalam kompon karet.

Terdapat dua tipe viskositas yaitu viskositas dinamik dan viskositas kinematik. Viskositas dinamik adalah ukuran resistensi cairan untuk gerakan dan diukur dalam *centipoise* (cP). Viskositas kinematik adalah ukuran dari kecepatan cairan dan diperoleh dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk melewati pipa kapiler dengan jumlah cairan tertentu. Dapat diukur dalam *centistokes* (cSt), dimana 1 cSt = 1 mm²/ detik. Hubungan dari kedua tipe viskositas tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$\text{Viskositas Kinematik (T)} = \text{Viskositas Dinamis (T)} / \text{Densitas} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana T adalah temperatur dari viskositas dan densitas yang ditentukan.

c) Titik Anilin (*Aniline Point*)

Titik anilin diukur sesuai dengan ASTM D611 dan didasarkan pada pengukuran suhu di mana anilin larut dalam minyak. Titik anilin dapat diukur dari kelarutan minyak. Titik anilin rendah menunjukkan bahwa kelarutan minyak yang tinggi, dan juga memiliki aromatisitas yang tinggi. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai Konstan Viskositas *Gravity* (VGC). Titik anilin dapat digunakan untuk menentukan kompatibilitas minyak dengan polimer tertentu. Titik anilin tergantung pada berat molekul minyak, minyak dengan berat molekul yang lebih tinggi memiliki kelarutan yang lebih rendah dan begitu juga sebaliknya.

d) Indeks Bias (*Refractive Index*)

Indeks bias diukur menurut ASTM D1218 adalah ukuran dari rasio dari kecepatan cahaya di udara dengan kecepatan cahaya dalam zat yang sedang diuji. Hal ini dapat digunakan untuk mengukur konsistensi *batch-ke-batch*. Indeks bias menunjukkan relatif komposisi dari minyak. Pada berat molekul yang sama dan kepadatan, indeks bias meningkat dengan meningkatnya konten aromatik. Hal ini juga digunakan untuk menghitung *intercept* bias digunakan dalam perhitungan komposisi jenis karbon. *Intercept* Bias (RI) adalah hubungan antara indeks bias minyak pada 20°C dan densitasnya. Parameter ini juga digunakan untuk menunjukkan kandungan aromatis minyak proses, dan dihitung oleh rumus berikut ini :

$$RI = N_D^{20} - 0,5d^{20} \dots\dots\dots (2)$$

dimana N_D^{20} =indeks bias pada 20°C , dan d^{20} =densitas pada 20°C (g/cm³)

e) *Color*

Minyak aromatik biasanya berwarna gelap. Warna minyak proses dipengaruhi dengan adanya senyawa polar heterosiklik, umumnya kelompok aromatik yang termasuk: sulfur, nitrogen atau oksigen. Senyawa polar dapat mengurangi stabilitas oksidasi minyak sehingga menyebabkan warna menjadi hitam selama aksi UV *light*. Warna dapat diukur dengan membandingkan warna minyak dengan grafik warna preset. Warna dari minyak proses penting untuk memberikan warna yang cerah pada produk karet yang dihasilkan. Pada umumnya warna diukur berdasarkan ASTM D156 (*Saybolt* Warna) atau D1500.

f) Flash Point

Titik nyala minyak adalah suhu di mana cukup uap mudah terbakar di atas minyak yang mereka akan terbakar atau *flash* ketika dibawa dalam kontak dengan api terbuka. Titik nyala diukur sesuai dengan ASTM D92 dan D93. Titik nyala minyak ditentukan untuk alasan keamanan dan merupakan indikasi dari volatilitas minyak. Beberapa persen ringan dari minyak menentukan titik nyala. Sebuah korelasi antara titik 5% dalam rentang didih dan titik nyala. Pemantik produk, semakin rendah titik nyala. Jadi dua minyak dengan viskositas yang sama (50%

point) mungkin memiliki titik nyala yang berbeda , tergantung pada jumlah cahaya produk dalam minyak. (Anida Petchkaew, 2015)

2.1.7.2.1 Minyak Parafinik

Minyak parafinik diproduksi di Kilang Pertamina RU IV Cilacap yang memproses minyak mentah dari tipe parafinik dengan komposisi *Paraffinic Hydrocarbon*, *Napthenic* dan memiliki kandungan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* antara 1-10 ppm.

Minyak Parafinik yang dipasarkan oleh PERTAMINA terdiri dari dua jenis :

1. Parafinik-60
2. Parafinik-95

Parafinik-95 mempunyai fraksi lebih berat dibandingkan parafinik-60, sehingga warnanya lebih gelap.

Aplikasi / kegunaan minyak parafinik secara umum digunakan sebagai minyak pemrosesan akhir pada karet dengan warna cerah sebagai :

- pendukung material kimia pada produsen barang-barang karet seperti ban kendaraan, *fanbelt* dan *spareparts*.
- *processing oil* dan untuk pembuatan karet pembungkus kursi kendaraan dan serta sebagai bahan proses *ekstender* untuk karet alam dan karet sintetis polimer.
- *base oil* untuk minyak cetak.

Tabel II.6 Standar Minyak Parafinik 95

| No | Standar | Metode | Min | Max | |
|----|---|--------------------------------|-------------|--------|----|
| 1 | <i>Specific Gravity at 60/60°F</i> | ASTM D-1298 | 0,8760 | 0,8850 | |
| 2 | <i>Viscosity Kinematic at 210°F cSt</i> | ASTM D-445 | 6,900 | 7,600 | |
| 3 | <i>Viscosity Gravity Constant</i> | ASTM D-2501 | 0,8100 | 0,8330 | |
| 4 | <i>Refractive Index at 20°C</i> | ASTM D-1218 | 1,4800 | 1,4900 | |
| 5 | <i>Pour Point°F</i> | ASTM D-97 | - | 15 | |
| 6 | <i>Flash Point°F</i> | ASTM D-92 | 410 | - | |
| 7 | <i>Colour ASTM, 1% dilution</i> | ASTM D-1500 | - | 0.5 | |
| 8 | <i>Aniline Point°C</i> | ASTM D-611 | 100 | 109 | |
| 9 | <i>Aromatic content</i> | <i>Clay gel analysis, wt%</i> | ASTM D-2007 | 9,7 | 37 |
| | | <i>Carbon type analysis, %</i> | ASTM D-3238 | 2 | 9 |

Sumber: Pertamina, 2012

2.1.7.2.2 Minyak *Residual Aromatic Extract* (Exdo-4)

Exdo-4 adalah *processing oil* khusus yang dikategorikan sebagai *residual aromatic extract* yang memiliki kandungan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) kurang dari 1 ppm. Exdo-4 digunakan sebagai alat bantu dalam proses pelembutan karet dan juga sebagai penambah elastisitas dan untuk mengurangi ketebalan karet. Exdo-4 sudah mendapat persetujuan dan sertifikasi sebagai *Non Carcinogenic Rubber Processing Oil* dari BIU Laboratory, Jerman.

Tabel II.7 Standar Minyak Exdo-4

| No | Standar | Metode | Min | Max |
|----|-------------------------------------|----------------|--------|--------|
| 1 | <i>Specific Gravity at 60/60°F</i> | ASTM D-1298 | 0.75 | 0.925 |
| 2 | <i>Viscosity Kinematic at 40°C</i> | ASTM D-445 | 19 | 29 |
| 3 | <i>Viscosity Kinematic at 100°C</i> | ASTM D-445 | 460 | 760 |
| 4 | <i>Viscosity Gravity Constant</i> | ASTM D-2501 | 0.8479 | 0.9195 |
| 5 | <i>Refractive Index at 20°C</i> | ASTM D-1218 | 1.53 | 1.55 |
| 6 | <i>Sulfur Content</i> | ASTM D-2622 | - | 5 |
| 7 | <i>Pour Point Of</i> | ASTM D-97 | - | 15 |
| 8 | <i>Flash Point COC°C</i> | ASTM D-92 | 210 | - |
| 9 | <i>Aniline Poin t°C</i> | ASTM D-611 | 85 | - |
| 10 | <i>Benzo(a)Pyrene</i> | BIU Laboratory | - | <1 |
| 11 | Σ PAH | BIU Laboratory | - | <10 |
| 9 | <i>Aromatic content, ppm</i> | | | < 1 |

Sumber : Pertamina, 2012

2.1.7 Bahan Pemvulkanisasi

Bahan pemvulkanisasi adalah bahan kimia yang dapat bereaksi dengan gugus aktif pada molekul karet membentuk ikatan silang tiga dimensi. Bahan pemvulkanisasi yang pertama dan paling umum digunakan adalah belerang yang khusus digunakan untuk memvulkanisasi karet alam atau karet sintetis jenis SBR, NBR, IR, dan EPDM. Bahan-bahan lain yang dapat digunakan adalah selenium, peroksida, oksida logam, dinitro benzena, dan lain-lain. (Victor Tulus, 2014)

2.1.8 Coupling Agent

Coupling agent merupakan salah satu bahan tambahan guna meningkatkan adhesi serat terhadap matriknya. Penggabungan *filler* kedalam polimer dapat meningkatkan atau menurunkan kekuatan kompon karet. Penggunaan *coupling agent* pada komposit (kompon karet) menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi

dibandingkan komposit tanpa *coupling agent* untuk penggunaan jumlah serat yang sama. Ismail dkk (2002) menyatakan bahwa kehadiran/penambahan *coupling agent* meningkatkan adhesi antara serat dan matrik dan akibatnya meningkatkan sifat mekanik dari komposit. Lee (2006) di dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa *coupling agent* yang ditambahkan ke dalam komposit serat bambu mampu meningkatkan kekuatan komposit. Peningkatan kekuatan ini disebabkan oleh peningkatan adhesi antarmuka antara matrik polimer dan BF (*bamboo fibre*). (Prasetyo, 2013)

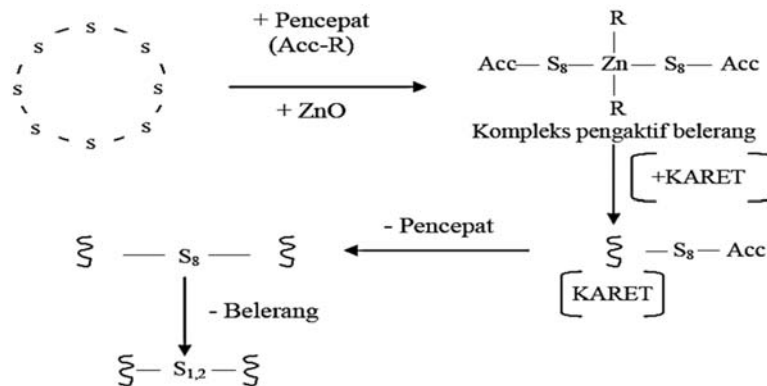
2.2 Proses Pencampuran

Pada penyusunan formulasi kompon karet yang paling penting adalah menentukan jenis atau campuran karet mentah. Kemudian baru ditentukan bahan pengisi, sistem vulkanisasi, bahan pencepat, *activator* dan *antidegradant*. Terakhir adalah penentuan *processing aids* yang diperlukan sesuai dengan standar teknis barang jadi karet yang akan dibuat. Secara garis besar, dimulai dengan pencampuran bahan karet di dalam *kneader*. NR, BR dan *peptizer* dimastikasi selama 5 menit, kemudian bahan tambahan lain seperti *filler*, *activator* dan *antidegradant* dimasukkan dan dicampur selama 6 menit, selanjutnya minyak dimasukkan dan dicampur selama 2 menit. Proses pencampuran berlangsung pada suhu 100°C. Kompon kemudian diistirahatkan selama 24 jam, untuk selanjutnya dilakukan penambahan akselerator dan sulfur. Kompon yang sudah jadi dibuat lembaran menggunakan *open mill* pada suhu 60°C. Mastikasi adalah proses awal dalam pembuatan kompon karet yang dilakukan dengan cara *mechanical shearing* di *open mill* atau didalam *internal mixer*. Proses mastikasi dapat dipercepat dengan penambahan *peptizer*. Mastikasi merupakan proses penurunan berat molekul karet yang ditunjukkan dengan penurunan viskositas karet sehingga pencampuran bahan kompon yang sebagian besarnya berupa serbuk padat, dapat bercampur dengan mudah dan merata dengan karet. Karet mengalami penurunan berat molekul akibat rantai-rantai utama dari karet diputus-putus yang berakibat viskositasnya menurun (Ompungssu, 1987).

2.3 Reaksi Vulkanisasi

Vulkanisasi adalah suatu proses kimia yang bersifat *irreversible* dengan menggunakan bahan pemvulkanisasi, seperti sulfur, bahan yang mengandung sulfur, dan peroksida organik. Proses vulkanisasi karet biasanya melibatkan pemanasan karet pada suhu 100°C – 180°C dengan bahan pemvulkanisasi sehingga membentuk produk yang disebut vulkanisat (Craig, 1969). Melalui vulkanisasi komponen karet, molekul karet yang semula lurus atau berupa struktur dua dimensi, berubah menjadi struktur tiga dimensi karena terbentuk ikatan silang oleh bahan pemvulkanisasi (Craig, 1969). Vulkanisasi belerang merupakan bahan vulkanisasi yang umum dan banyak digunakan. Menurut Long (1985), laju vulkanisasi dapat ditingkatkan melalui penambahan bahan pencepat dan penggiat.

Kombinasi antara bahan pemvulkanisasi, bahan pencepat, dan bahan penggiat disebut sistem vulkanisasi. Sistem vulkanisasi dapat didefinisikan sebagai jumlah aditif yang diperlukan untuk memvulkanisasi elastomer atau karet yang semula bersifat plastis, liat, dan tidak mantap terhadap suhu (*thermoplastis*) berubah menjadi elastis, kuat, dan mantap bentuknya terhadap perubahan suhu (*thermoset*). Menurut Lee dan Whelan (1997), sistem vulkanisasi yang digunakan akan menentukan jenis ikatan silang yang terbentuk. Sistem vulkanisasi karet dapat dibedakan atas tiga jenis, yaitu sistem konvensional, sistem efisien (EV), dan sistem semi efisien (semi EV). Mekanisme vulkanisasi belerang ditunjukkan pada Gambar II.6. Pada awal reaksi terjadi pemutusan molekul belerang (S₈) yang kemudian membentuk kompleks pengaktifan belerang dengan melibatkan bahan pencepat dan ZnO. Bahan pengaktif perantara ini melepaskan rantai belerang oligomer yang reaktif dan menyerang posisi atom C alisiklik dari molekul karet, dan membentuk ikatan silang. Ikatan silang yang terbentuk merupakan ikatan polisulfida yang mengandung banyak atom belerang dan mempunyai ikatan energi rendah. Selama proses pemanasan pada pemasakan, ikatan polisulfida dapat putus membentuk ikatan silang yang lebih pendek. Sebagai akibatnya monomolekuler belerang yang putus membentuk ikatan silang baru atau ikatan belerang intermolekular sepanjang molekul karet dan terbentuknya ikatan rangkap terkonjugasi (Honggokusumo, 1994).



Gambar II.6. Mekanisme Vulkanisasi dengan Sulfur

Sumber : Hanggokusumo, 1994

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

2.4 Proses Pengusangan (*Aging*)

Proses pengusangan adalah suatu proses untuk mengetahui keusangan dari vulkanisat yang disebabkan karena panas. Dan dilanjutkan dengan mengukur beberapa sifat-sifat fisiknya, yaitu: kekuatan tarik (*tensile strength*), perpanjangan (*elongation*), tegangan tarik (*tensile stress*), kekerasan (*hardness*) dan sifat-sifat mekanik lainnya. Serta diamati perubahan nilai yang diperoleh, dan dibandingkan dengan pengukuran sebelum dilakukan pemanasan.

Proses pengusangan vulkanisat (Maksum et al, 2015) dilakukan dengan menggunakan salah satu cara berikut :

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

2.5 Pengujian Sifat Mekanik Kompon Karet

Pengujian sifat mekanik kompon karet dilakukan untuk mengetahui sifat kompon karet tersebut, apakah kompon karet tersebut cocok atau tidak digunakan sebagai barang jadi karet yang dikehendaki, sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Adapun sifat-sifat mekanik kompon karet tersebut antara lain adalah :

2.5.1 Pengujian Kekuatan Tarik (*Tensile Strength Test*)

Pengujian kekuatan tarik dilakukan untuk mengukur tekanan maksimal atau dinyatakan sebagai tegangan putus pada saat dimana terjadi pemutusan dari karet vulkanisat, perpanjangan pada saat putus (*Elongation*) dan tegangan yang terjadi pada saat dicapai perpanjangan (*Tensile Stress*). Nilai *tensile stress* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$M_n = \frac{F_n}{A} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

M_n = *Tensile stress* (N/cm²)

F_n = Beban (N), pada n% *elongasi*

A = Luas contoh sampel (cm²)

Nilai *Tensile Strength* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$T_B = \frac{F_B}{A} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

T_B = *Tensile strength* (N/cm²)

F_B = Beban maksimum (N)

A = Luas contoh sampel (cm²)

Nilai *Elongation* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$E_B = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100 \% \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

E_B = *Elongation* (%)

L_0 = Panjang contoh sampel mula-mula (cm)

L = Panjang contoh sampel sesudah putus (cm) (Maksum et al, 2015)

2.5.2 Pengujian Ketahanan Kikis (*Abrasion Resistance Test*)

Pengujian ketahanan kikis (*Abrasion Resistance Test*) bertujuan untuk menentukan kehilangan volume dari karet vulkanisat yang mengalami pada satu kondisi tertentu. Pengikisan terjadi bila contoh sampel ditekan pada permukaan yang bersifat menggesek yang mengakibatkan volum sampel mengalami pengurangan atau disebut volume *loss*.

Nilai Volume *loss* (ΔV) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta V = \frac{\Delta m_t \times \Delta m_{const}}{\rho_{karet} \times \Delta m_r} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

- ΔV = DIN *Abrasion loss* (mm³)
- Δm_t = massa karet sampel yang terkikis (gr)
- Δm_r = rata-rata massa karet standar yang terkikis (gr)
- Δm_{const} = 200 (mg)
- ρ_{karet} = massa jenis karet (1.348 g/cm³)

Nilai *Abrasion resistance* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$ARI = \frac{\Delta m_r \times \rho_t}{\Delta m_t \times \rho_r} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

- ARI = *Abrasion resistance index* (%)
- Δm_r = rata-rata massa karet standar yang terkikis (gr)
- ρ_t = massa jenis karet (1.348 g/cm³)
- Δm_t = massa karet sampel yang terkikis (gr)
- ρ_r = massa jenis aktual karet (g/cm³) (Maksum et al, 2015)

2.5.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengukur kekerasan dari karet vulkanisat. Prinsip pengujiannya adalah dengan mengukur kekerasan dari sampel dengan cara mengukur kedalam penetrasi suatu jarum (*indentor*) yang masuk kedalam permukaan sampel yang disebabkan oleh suatu beban yang diberikan pada jarum tersebut. (Maksum et al, 2015)

2.5.4 Pengujian Pantul (*Rebound Resilience Test*)

Pengujian pantul (*Rebound Resilience Test*) dilakukan untuk mengetahui kemampuan kompon karet mengembalikan energi yang digunakan untuk merobahnya. Jika nilai pantul rendah, maka terjadi friksi internal yang berarti akan timbul terjadi kalor (*heat build-up*). (Maksum et al, 2015)

2.5.5 Pengujian Pampatan Tetap (*Compression Set Test*)

Pengujian ketahanan tekanan dilakukan untuk mengukur perubahan bentuk karena kompresi, yang disebabkan karena pemanasan dari karet vulkanisasi yang dikenakan pampatan tetap.

Nilai *Compression Set* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C = \frac{T_o - T_i}{T_o - T_n} \times 100 \% \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

C = Nilai *compression test* (%)

To = Rata-rata tebal awal sampel (mm)

Ti = Rata-rata tebal akhir sampel (mm)

Tn = Tebal *spacer* alat (9,5 mm) (Maksum et al, 2015)

2.6 Vulkanisir Ban

Ban vulkanisir adalah ban bekas yang semula sudah aus kemudian digunakan kembali dengan cara memperbaharui bagian telapak-nya. Pembaharuan tersebut bisa dilakukan berkali-kali, biasanya 2-3 kali jika ban bekas yang akan divulkanisir masih dinilai baik. seperti tidak retak, kawat/nilon penguat termasuk kawat lingkaran induknya (*bead*) masih utuh, tidak berlobang besar dan geometrinya masih simetris. Proses produksi vulkanisir terdiri dari 2 macam, yaitu:

a. Vulkanisir panas

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

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

b. Vulkanisir dingin

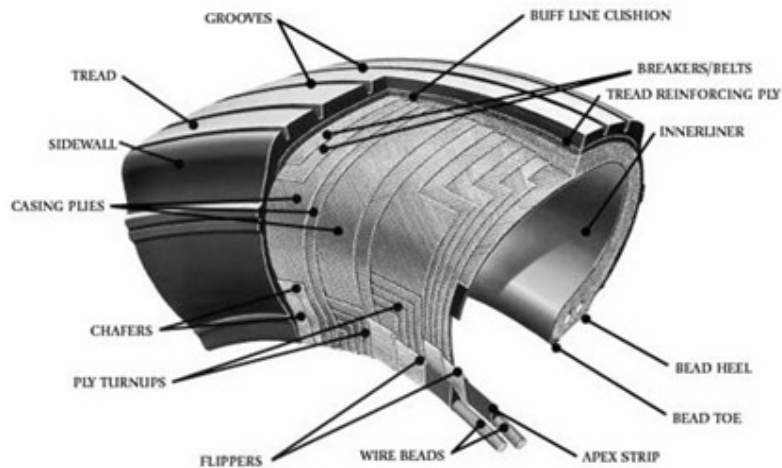
Pada proses dingin bagian telapak ban gundul/*casing* hasil pamarutan terlebih dulu dilapisi kompon perekat (*cushion gum*), selanjutnya ke permukaan *cushion gum* ditempelkan potongan-potongan karet matang (vulkanisat) yang sudah berkembang, disusun melingkar memenuhi seluruh permukaan ban. Tahap berikutnya adalah vulkanisasi yang dilakukan didalam otoklap pada suhu relatif rendah, sekitar 95°C-99°C, sehingga prosesnya disebut proses dingin.

Bahan utama untuk pembuatan ban vulkanisir adalah kompon karet, yang merupakan paduan karet alam, karet sintetik dan bahan-bahan aditif. (Putrawan et al, 2014)

2.7 Karakter Ban Pesawat Terbang

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

Ban pesawat terbang dirancang secara khusus untuk mampu menahan beban yang berat, dan bertahan ketika pesawat bergerak dilandasan dengan kecepatan yang cukup tinggi. (Putra, Arthadi. dkk., 2013)



Gambar II.7 Struktur Ban Pesawat Terbang

Sumber : Nadjah, 2012

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

Ban pesawat terbang bukan ban yang padat. Di dalamnya ada gas/udara dengan tekanan yang cukup besar, sekitar enam kali lebih besar dari tekanan ban mobil. Tekanan sebesar ini dibutuhkan untuk menahan berat pesawat yang besar. Ban pesawat terbang dirancang untuk pemakaian kasar sebagai akibat dari operasionalnya berulang-ulang mulai dari ketika pesawat tinggal landas sampai mendarat, membawa awak pesawat yang bebannya sangat berat dengan tingkat kecepatan paling tinggi. Kecepatan pesawat sejak tinggal landas sampai mendarat mencapai lebih dari 370 km/h, ditambah lagi berat pesawat ketika tinggal landas lebih dari 560 ton (Putra, Arthadi et al., 2013).

Target standar teknis dari kompon karet untuk tapak ban diambil dari beberapa sumber referensi yang ada seperti patent, standar pengujian ban pesawat

dan literatur. Hal ini dilakukan karena sulitnya mencari informasi mengenai standar teknis untuk tapak ban pesawat. Standar teknis kompon karet untuk ban merupakan rahasia dapur dari pabrikan ban.

Tabel II.8 Standar Teknis Kompon Karet untuk Tapak Ban Pesawat

| Parameter | Spesifikasi teknis | Sumber |
|--|--|---|
| Hardness shore A | 60 - 65 | EP 0370664B1 |
| Relative abrasion resistance or relative volume loss | At least 120% ARI or ΔV Less than 80 mm ³ | EP 0370664B1 US 20060063878 |
| Hot rebound value (DIN 53512) @100°C @50°C | 45 - 75% 60 - 75% | EP 0370664B1 US 20060063878 |
| Tan δ @100°C (10% strain, 1Hertz) | 0.07 - 0.17 | US 20060063878 |
| Storage modulus G' @100°C (10% strain, 1Hertz) | 750 - 2000 KPa | US 20060063878 |
| Elastic Modulus | At least 12 MPa | Technical report from North Carolina A&T state university |
| Tear strength (ASTM D624 die B) | 260 - 300 N | EP 0370664B1 |
| Heat build up | At least above 140°F (60°C) | TSOC62e |
| Glass transition temperature (Tg) | At least -40°F (-40°C) or below | TSOC62e |

Sumber: Indriasari, 2016

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Karet, Pusat Teknologi Material (PTM)-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Serpong, Tangerang Selatan. Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan pada bulan Februari–Maret 2016.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. *Rubber Cutting Machine*
2. Neraca Analitik AND GR-200
3. *Kneader Machine*
4. *Open Mill Machine*
5. *Hot Press 300 P/M*
6. Cetakan Vulkanisasi (*Vulcanizing Mold*)
7. *Oven Aging AG-1110*
8. *Oven Universal*
9. *MonTech Moving Die Rheometer MDR-3000*
10. *MonTech Rheometer Volume Sample Cutter R-VS-3000*
11. *MonTech V-MV 3000 Variable Mooney Viscometer*
12. *Montech Mooney Volume Sample Cutter M-VS-3000*
13. *GOTECH AI-7000-S Tensile Strength Tester*
14. *Density Determination Kit*
15. *DIN Abrasion Tester AT150*
16. *Gibitre Instrument Rebound Tester*
17. *Mitutoyo Shore A Hardness Tester*
18. Alat Pemampat (*Compression Device*)
19. *Digital Calliper*

20. *Press Hydraulic*
21. Pipet ukur 20 ml
22. *Aluminium foil*
23. Spatula

Gambar peralatan utama dapat dilihat pada Lampiran A.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. *Rubber Smoked Sheet*
2. *Butadiene Rubber*
3. *Aktiplast 8*
4. *Zinc Oxide (ZnO)*
5. Asam Stearat
6. Silika
7. *Carbon Black*
8. *TriMethylQuinon (TMQ)*
9. 6PPD
10. *Wax*
11. *Coumarone Resin*
12. Minyak Parafinik
13. Minyak Exdo-4
14. Sulfur
15. CBS
16. *Aquadest*

Gambar bahan-bahan dapat dilihat pada Lampiran B.

3.3 Variabel

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang dibuat tidak berubah selama penelitian berlangsung. Variabel tetap yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Variabel massa bahan baku sebagai berikut :

- *Rubber Smoked Sheet* : 80,0 phr
- *Butadiene Rubber* : 20,0 phr
- *Aktioplast 8* : 0,5 phr
- *ZnO* : 5,0 phr
- *Asam Stearat* : 3,0 phr
- *Silika* : 32,5 phr
- *Carbon Black (N220)* : 20,0 phr
- *TMQ* : 2,0 phr
- *6PPD* : 3,0 phr
- *Wax* : 2,0 phr
- *Coumarone Resin* : 3,0 phr
- *Sulfur* : 1,5 phr
- *CBS* : 1,5 phr

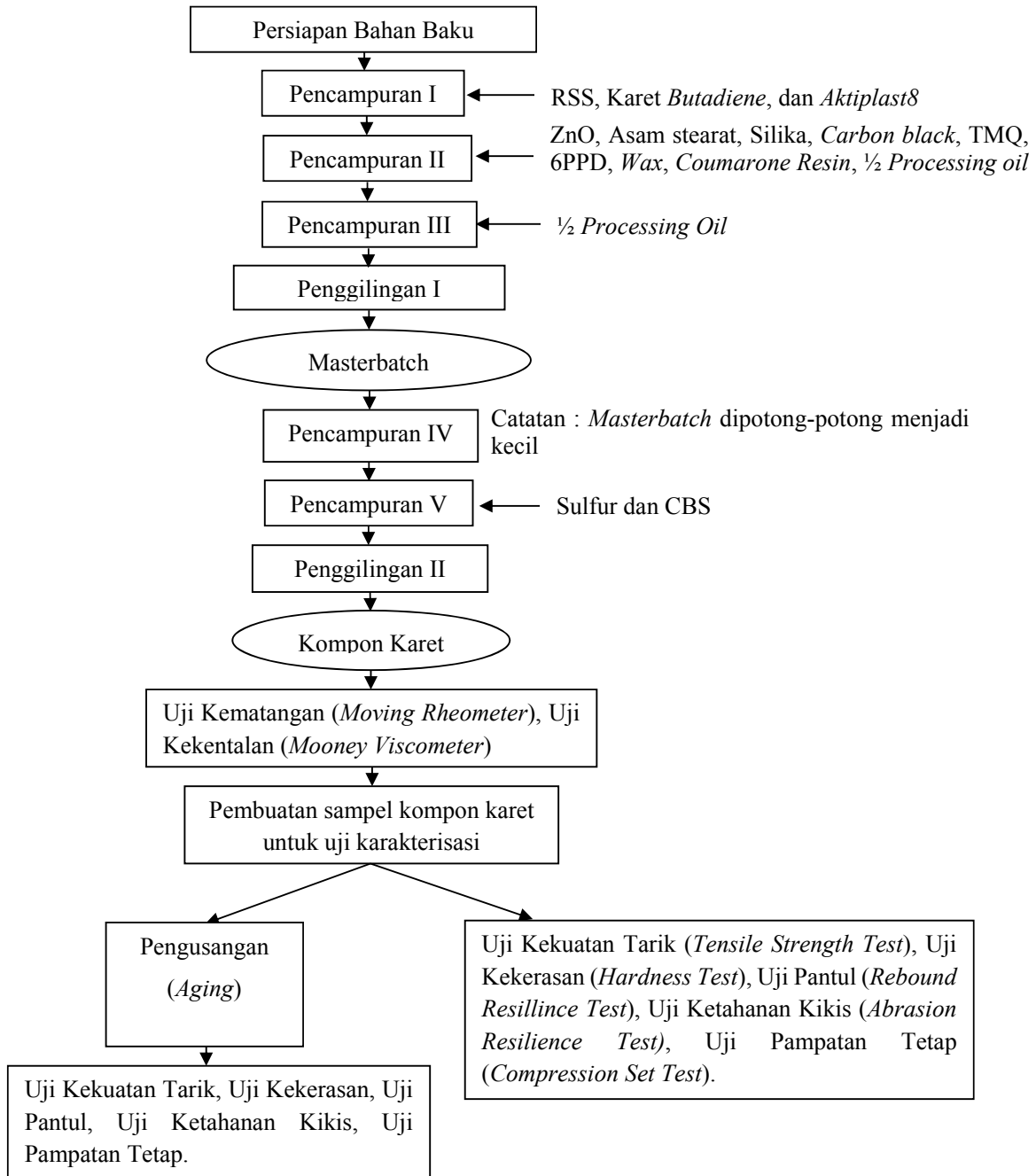
3.3.2 Variabel Berubah

Variabel berubah adalah variabel yang divariasikan pada penelitian agar diperoleh hasil yang diinginkan. Pada penelitian ini variabel berubah yang digunakan yaitu Variabel massa *processing oil* sebagai berikut:

- Minyak Parafinik : 4,0 phr ; 8,0 phr
- Minyak Exdo-4 : 4,0 phr ; 8,0 phr

3.4 Skema Penelitian

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



Gambar III.1 Diagram Proses Pembuatan Kompon Karet Hingga Karakterisasi Sampel

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Tahap Pembuatan Kompon Karet

Pada penelitian ini, kompon karet yang dibuat sebanyak 4 macam, dengan penamaan kompon karet berdasarkan jenis dan komposisi massa *processing oil* yang digunakan, seperti dapat dilihat pada Tabel III.1

Tabel III.1 Penamaan Kompon Karet

| Jenis <i>Processing Oil</i> | Komposisi massa (phr) | Nama Kompon |
|-----------------------------|-----------------------|-------------|
| Minyak Parafinik | 4 | FCO1 |
| Minyak Parafinik | 8 | FCO2 |
| Minyak Exdo-4 | 4 | FEO1 |
| Minyak Exdo-4 | 8 | FEO2 |

Tahap pembuatan kompon karet adalah sebagai berikut :

a. Persiapan bahan baku

RSS dan Karet *Butadiene* di potong menggunakan alat potong, dan di timbang menggunakan timbangan. Serta persiapan bahan-bahan lain seperti : Aktiplast 8, ZnO, Asam Stearat, *Carbon Black* (N220), Silika, TMQ, 6PPD, *Wax*, *Coumarone Resin*, Minyak Parafinik, Minyak Exdo-4, Sulfur, CBS, ditimbang sesuai dengan komposisi formulasi pembuatan kompon karet menggunakan timbangan digital.

b. Pencampuran (*Mixing*) I

RSS, *Butadiene Rubber*, dan Aktiplast-8 sebagai *homogenizer* dimasukan kedalam alat *kneader* dengan *set* suhu 100°C, kecepatan 60 rpm dan waktu 5 menit. *Mixing* dimulai pada suhu 80°C.

c. Pencampuran (*Mixing*) II

Menambahkan bahan-bahan lain seperti : ZnO, asam stearat, *carbon black* (N220), silika, TMQ, 6PPD, *wax*, *coumarone resin*, dan ½ dari *processing oil* kedalam *kneader*. *Mixing* dilakukan selama 6 menit.

d. Pencampuran (*Mixing*) III

Menambahkan ½ dari *processing oil* kedalam *kneader*. *Mixing* dilakukan selama 2 menit.

e. Penggilingan (*Milling*) I

Menggiling hasil *mixing* dari *kneader* dengan menggunakan *openmill* dengan suhu 70°C sebanyak 5 kali penggilingan sehingga terbentuk lembaran kompon karet yang disebut juga sebagai *masterbatch*.

f. Pencampuran (*Mixing*) IV

Masterbatch dipotong-potong menggunakan alat potong hingga menjadi potongan-potongan yang lebih kecil kemudian dimasukkan kedalam *kneader* dengan *setting* suhu 100°C, kecepatan 60 rpm dan waktu 2 menit. *Mixing* dimulai pada suhu 70°C.

g. Pencampuran (*Mixing*) V

Menambahkan bahan-bahan *curatives* seperti : sulfur dan CBS kedalam *kneader*. *Mixing* dilakukan selama 2 menit.

h. Penggilingan (*Milling*) II

Menggiling hasil *mixing* dari *kneader* dengan menggunakan *open mill* dengan suhu 70°C sebanyak 5 kali penggilingan sehingga terbentuk lembaran kompon karet yang selanjutnya akan diuji waktu kematangan (*Rheometer*) terlebih dahulu untuk menentukan waktu matang karet untuk dilakukan pembuatan sampel pada alat *hotpress*.

3.5.2 Tahap Uji Waktu Kematangan dan Kekentalan Kompon Karet

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

3.5.2.1 Uji Waktu Kematangan (*Rheometer Test*)

Pada pengujian waktu kematangan ini menggunakan alat MonTech *Moving Die Rheometer* MDR-3000. Berikut ini merupakan tahapan pengujian waktu kematangan:

- Hidupkan peralatan kompresor dan *rheometer*.

- Persiapkan sampel dengan menggunakan Volume *Sample Cutter* R-VS 3000. Gambar sampel dapat dilihat pada Lampiran C. Letakan kompon pada sampel *cutter*, lalu potong sampel dengan menekan tombol merah di kanan dan di 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 *film*.
- Sampel yang sudah terpotong dapat langsung digunakan dengan terlebih dahulu melapisinya menggunakan plastik *film* di kedua sisinya.
- Persiapkan program pengujian pada layar komputer untuk memberi nama sampel dan mengatur suhu menjadi 170°C
- Temperatur pelat stator dinaikkan hingga tercapai temperatur pengujian 170°C yang artinya alat sudah *standby* (warna garis hijau pada layar komputer).
- Pelat stator atas dibuka dan diletakkan rotor pada pelat stator bawah
- Tekan tombol START warna hijau pada alat *Moving Die Rheometer* lalu tunggu selama 40 menit.
- Setelah selesai, lihat hasil pengujian pada layar komputer.

3.5.2.2 Uji Kekentalan (*Viscosity Test*)

Pada pengujian kekentalan ini menggunakan alat MonTech V-MV 3000 *Variable Mooney Viscometer*. Berikut ini merupakan tahapan pengujian kekentalan:

- Hidupkan peralatan kompresor dan *Mooney Viscometer*.
- Persiapkan sampel dengan menggunakan Volume *Sample Cutter* VS 3000. Letakan kompon pada sampel *cutter*, lalu potong sampel dengan menekan tombol merah di kanan dan di 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 *film* dan satu buah rotor.
- Letakkan satu buah sampel pada bagian bawah rotor kemudian lapisi dengan menggunakan satu buah plastik *film*, dan letakkan satu buah sampel lainnya pada bagian atas rotor, lapisi dengan plastik *film* lainnya.

- Siapkan program pengujian pada layar komputer untuk memberi nama sampel, menset suhu menjadi 100°C.
- Temperatur pelat stator dinaikkan hingga tercapai temperatur pengujian 100°C yang artinya alat sudah *standby* (warna garis hijau pada layar komputer).
- Pelat stator atas dibuka dan diletakkan rotor pada pelat stator bawah.
- Tekan tombol START warna hijau pada alat *Moving Die Rheometer* lalu tunggu selama 6 menit (1 menit *pre-heating*, 4 menit pengujian, 1 menit *cooling down*).
- Setelah selesai, lihat hasil pengujian pada layar komputer.

3.5.3 Tahap Pembuatan Sampel Untuk Uji Karakteristik

Proses pencetakan kompon karet dilakukan menggunakan *hot press*. Setelah kompon karet dilakukan pengujian terhadap waktu matang, kompon karet yang akan dibuat sampel dimatangkan terlebih dahulu pada alat *hotpress* ini. Suhu, waktu dan tekanan sangat penting terhadap pematangan karet. Berikut ini merupakan tahapan pematangan kompon karet pada *hotpress* :

- Kompon karet terlebih dahulu dipotong kecil-kecil hingga pas dengan ukuran *vulcanizing mold* kemudian dimasukkan ke *vulcanizing mold* hingga tidak ada lagi ruang kosong pada cetakan. Kedua permukaan *mold* ditutupi dengan *glossing pelate* yaitu logam datar yang terbuat dari aluminium. Cetakan disesuaikan dengan keperluan pengujian karakterisasi yang akan dilakukan.
- Alat *hot press* diset tekanan 60 atm, sedangkan suhu dan waktu mengikuti suhu dan waktu *curing* pada alat *Rheometer* untuk sampel pengujian *tensile*, sedangkan untuk pengujian *hardness*, abrasi, *compression*, dan *rebound* diset pada tekanan 35 atm dan waktu mengikuti waktu *Rheometer* ditambah 2 menit untuk setiap kelipatan tebal 2 mm.
- Tekan *prepare program*.
- Ketika sudah *ready*, masukan *mold* yang sudah berisi kompon karet ke dalam alat *hotpress* yang sudah di *prepare program*, lalu tekan *run program*.
- Tunggu hingga alat berbunyi dan sampel siap untuk dikeluarkan dan dilepas dari cetakan.

Sampel dari *hot press* untuk pengujian kekerasan, abrasi, tekan, dan pantul dapat langsung dilakukan pengujian, sedangkan untuk uji tarik harus terlebih dahulu di potong bentuk *dumbell* menggunakan pisau *dumbell type C* sesuai standar ASTM D412 dengan bantuan *press* hidrolik. Berikut ini merupakan tahapan pencetakan sampel uji tarik :

- Sampel diletakan pada alat *press* hidrolik dengan beralaskan papan
- Cetakan di letakan di atas sampel kemudian di beri tekanan
- Hasil diperoleh di dalam cetakan *tensile*.

3.5.4 Tahap Pengusangan (*Aging*)

Pada penelitian ini, sampel yang akan dikarakterisasi setelah dimatangkan akan dibuat menjadi 2 jenis sampel yaitu sebelum dan sesudah proses pengusangan (*aging*). Berikut ini merupakan tahapan proses pengusangan (*aging*) :

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

3.6 Pengujian Sampel Kompon Karet

3.6.1 Pengujian Kekuatan Tarik (*Tensile Strength Test*)

Pada pengujian kekuatan tarik ini menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) GotechA1-7000-S. Berikut ini merupakan tahapan kerja alat *Universal Testing Machine* (UTM) GotechA1-7000-S :

- Mengukur sampel yang akan diuji dari mulai ketebalannya (*thickness*), lebar sampel (*widht*), panjang total sampel, dan *Grip* (jarak antar jepit bawah dan atas ditandai dengan pulpen) dengan menggunakan *Caliper* (jangka sorong).
- Pasangkan sampel di tempat sampel dengan cara posisikan sampel agar tepat di tengah atau seimbang.
- Pasangkan penjepit sampel pada bagian atas dan bawah sampel sesuai dengan *grip*.

- Atur pembatas atas dan bawah untuk menghindari terjadinya penempelan antara tempat sampel dengan bagian atas alat.
- Buka *software* UTM pada perangkat lunak komputer, kemudian masukkan data yang sudah diukur.
- Tekan tombol START pada alat dan tunggu hingga sampel putus.

3.6.2 Pengujian Ketahanan Kikis (*Abrasion Resistance Test*)

Pada pengujian ketahanan kikis menggunakan alat *Abrasion Resistance Test* DIN-53516. Berikut ini merupakan tahapan kerja alat *Abrasion Resistance Test* DIN-53516 :

- Sebelum diuji ketahanan kikis sampel ditimbang berat kering dan basahnya pada neraca digital.
- Letakan sampel pada tempat penjepit sampel dan kencangkan sekrupnya hingga pas.
- Tekan tombol RESET hingga muncul angka 840, kemudian RUN pada alat.
- Tunggu mesin hingga berhenti berputar.
- Timbang kembali sampel pada neraca kemudian catat.

3.6.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pada pengujian kekerasan ini menggunakan alat *Durometer Hardness* tipe Mitutoyo *Shore A*. Berikut ini merupakan tahapan kerja pengujian kekerasan :

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

3.6.4 Pengujian Pantul (*Rebound Resilience Test*)

Pada pengujian pantul (*Rebound Resilience Test*) ini menggunakan alat *Gibitre Instrument Rebound Tester*. Berikut ini merupakan tahapan kerja alat Pengujian Pantul *Gibitre Instrument Rebound Tester*:

- Masukkan sampel ke tempat sampel kemudian kencangkan setiap mur agar sampel tidak lepas.
- Pastikan *encoder* sebesar ± 0.05 dan $\pm 90^{\circ}\text{C}$.
- Lakukan pengujian dengan enam kali pengukuran, yang terdiri dari tiga kali pengukuran adalah *conditioning*, dan tiga kali pengukuran berikutnya data yang harus dicatat.

3.6.5 Pengujian Pampatan Tetap (*Compression Set Test*)

Pada pengujian pampatan tetap ini menggunakan alat pemampat (*compression device*) dan membutuhkan tiga buah sampel. Berikut ini merupakan tahapan kerja pengujian pemampatan:

- Ukur sampel yang akan diuji mulai dari ketebalan samping kanan, tengah, samping kiri dengan menggunakan *Caliper* (jangka sorong).
- Memasukkan sampel ke dalam alat pemampat.
- Masukkan spacer 0,95 mm dan pelat penampat nya.
- Kencangkan semua bautnya.
- Masukkan alat pemampat yang sudah di isi sampel ke dalam *oven* selama 24 jam dengan suhu 40°C .
- Setelah 24 jam, sampel dikeluarkan dari alat pemampat dan didiamkan selama 30 menit.
- Ukur sampel dan catat sebagai hasil uji.

3.7 Target Standar Teknis

Pada pembuatan kompon karet untuk vulkanisat tapak ban pesawat terbang, hasilnya diharapkan mencapai target standar teknis yang telah di tentukan. Berikut ini adalah target yang inginkan :

- Kekerasan : 60-65 *Shore A*

- *Tensile Strength* : >20 Mpa
- *Elongation at Break* : 500 % max
- *Abrasion Resistance* : >120 % ARI
- *Compression set Loss* : 20 % max
- *Rebound Resilience* : 45-70 %
- *Aging Loss (H, TS, Abrasion, Rebound)*
at 70°C, 48 jam : 20% max

(BPPT-PTM, 2016)

3.8 Matriks Penelitian

Tabel III.2 Matriks Penelitian

| <i>Jenis Processing Oil</i> | <i>Massa (phr)</i> | <i>Run (Triplo Sampling)</i> |
|-----------------------------|--------------------|------------------------------|
| Minyak Parafinik | 4 | 1 |
| | 8 | 2 |
| Minyak Exdo-4 | 4 | 3 |
| | 8 | 4 |

Keterangan : phr = *per hundred rubber*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan kompon karet dengan bahan-bahan seperti Tabel IV.1 dengan memvariasikan jenis dan massa *processing oil* pada kompon karet dengan tujuan membandingkan sifat mekanik yang dihasilkan dari kompon karet yang mengandung minyak parafinik yang memiliki kandungan aromatik tinggi dengan minyak EXDO-4 yang mengandung kadar aromatik rendah. Hasil penelitian ini diharapkan bahwa kompon karet yang menggunakan minyak EXDO-4 dapat menghasilkan sifat mekanik yang setara dengan kompon karet yang menggunakan minyak parafinik serta dapat memenuhi target standar teknis yang telah ditetapkan.

4.1 Formulasi Kompon Karet

Formulasi kompon karet dapat dilihat pada Tabel IV.1 dibawah ini.

Tabel IV.1 Komposisi Formulasi Karet

| No | | Nama Bahan | Massa (phr) | Densitas (g/cm ³) | Volume (cm ³) | Total massa (gram) |
|-------|-----------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1. | Polymer: | • RSS | 80,0 | 0,95 | 84,21 | 1084,4 |
| | | • Karet <i>Butadiene</i> | 20,0 | 0,92 | 21,74 | 271,1 |
| 2. | Homogeniser: | • Aktiplast-8 | 0,5 | 0,95 | 0,53 | 6,8 |
| 3. | Activator: | • ZnO | 5,0 | 5,61 | 0,89 | 67,8 |
| | | • Asam stearat | 3,0 | 0,85 | 3,53 | 40,7 |
| 4. | Filler: | • Silika | 30,0 | 2,65 | 11,33 | 406,7 |
| | | • <i>Carbon black</i> | 20,0 | 1,4 | 13,89 | 271,1 |
| | | • <i>Chemisil</i> | 2,5 | 1,0 | 2,43 | 33,9 |
| 5. | Antiox/oz: | • TMQ | 2,0 | 1,1 | 1,90 | 27,1 |
| | | • 6PPD | 3,0 | 1,0 | 3,00 | 40,7 |
| | | • <i>Wax</i> | 2,0 | 0,9 | 2,22 | 27,1 |
| 6. | Curatives: | • <i>Coumarone resin</i> | 3,0 | 1,1 | 2,73 | 40,7 |
| | | • Sulfur | 1,5 | 2,1 | 0,73 | 20,3 |
| 7. | Processing Oil | • CBS | 1,5 | 1,3 | 1,15 | 20,3 |
| | | • Parafinik (FCO1) | 4,0 | 0,86 | 4,6 | 54,2 |
| Total | | • Parafinik (FCO2) | 8,0 | 0,86 | 9,3 | 108,4 |
| | | • Exdo-4 (FEO1) | 4,0 | 0,9 | 4,4 | 54,2 |
| | | • Exdo-4 (FEO2) | 8,0 | 0,9 | 8,9 | 108,4 |
| | | • Parafinik | 4 | 23,87 | 154,92 | 2412,8 |
| | | | 8 | 23,87 | 159,58 | 2467,0 |

| | | | | | | |
|--|--|----------|---|-------|--------|--------|
| | | • Exdo-4 | 4 | 23,91 | 154,72 | 2412,8 |
| | | | 8 | 23,91 | 159,16 | 2467,0 |

Keterangan :

Massa (phr) = (berat bahan/berat karet) × 100

Berat bahan = (berat karet/100) × phr

Volume = berat bahan (gram)/berat jenis (gram/cm³)

Densitas = berat awal (gram)/Total volume (cm³)

Phr (*per hundred rubber*) merupakan satuan yang digunakan dalam formulasi kompon karet.

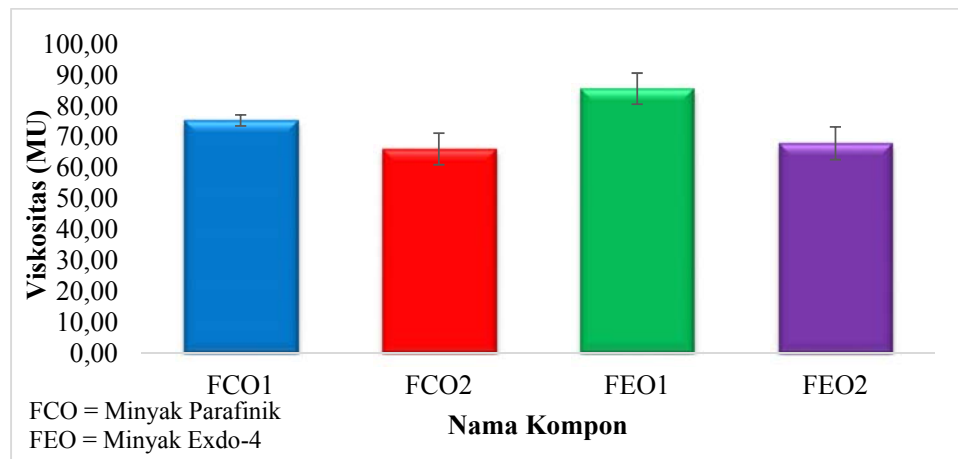
4.2 Hasil Karakterisasi

Karakterisasi kompon karet dibagi menjadi dua, yang pertama adalah karakterisasi pemrosesan kompon karet meliputi pengujian *Rheometer* dan *Mooney Viscometer*. Sedangkan yang kedua adalah karakterisasi karet vulkanisat meliputi *rebound resilience*, *hardness*, *abrasion resistance*, *compression set* dan *tensile strength*. Pengujian kompon karet dilakukan sebelum dan sesudah *aging* berupa gambar bentuk diagram dan grafik dimana hasil sebelum *aging* terletak disebelah kiri dan hasil setelah *aging* terletak disebelah kanan. Hasil data perhitungan dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel IV.2 Perbandingan Hasil Keseluruhan Pengujian Kompon Karet Sebelum dan Setelah *Aging* dengan Standar Teknis Tapak Ban Pesawat Terbang

| Sifat Mekanik | Standar Teknis Tapak Ban Pesawat Terbang | Sebelum <i>Aging</i> | | | | Sesudah <i>Aging</i> | | | |
|------------------------------|--|----------------------|--------|------------|--------|----------------------|--------|------------|--------|
| | | PAH tinggi | | PAH rendah | | PAH tinggi | | PAH rendah | |
| | | FCO1 | FCO2 | FEO1 | FEO2 | FCO1 | FCO2 | FEO1 | FEO2 |
| Viskositas (MU) | | 75,28 | 66,04 | 85,59 | 67,87 | | | | |
| Waktu Matang (s) | | 119 | 148 | 149 | 140 | | | | |
| Kekuatan Tarik (MPa) | >20 | 18,88 | 18,01 | 19,44 | 19,12 | 20,89 | 18,72 | 18,62 | 18,78 |
| Pantul (%) | 45-70 | 49,52 | 52,00 | 46,55 | 47,88 | 53,82 | 54,69 | 49,01 | 49,71 |
| Kekerasan (<i>Shore A</i>) | 60-65 | 64,20 | 59,10 | 62,43 | 57,50 | 60,90 | 50,73 | 47,37 | 41,70 |
| Ketahanan Kikis (% ARI) | >100 | 185,01 | 162,24 | 145,78 | 119,63 | 170,13 | 132,83 | 125,37 | 101,30 |
| Pampatan Tetap (%) | >20 | 14,57 | 14,88 | 17,87 | 16,88 | 12,31 | 8,37 | 12,01 | 11,61 |

4.2.1 Pengaruh variasi minyak terhadap viskositas kompon karet

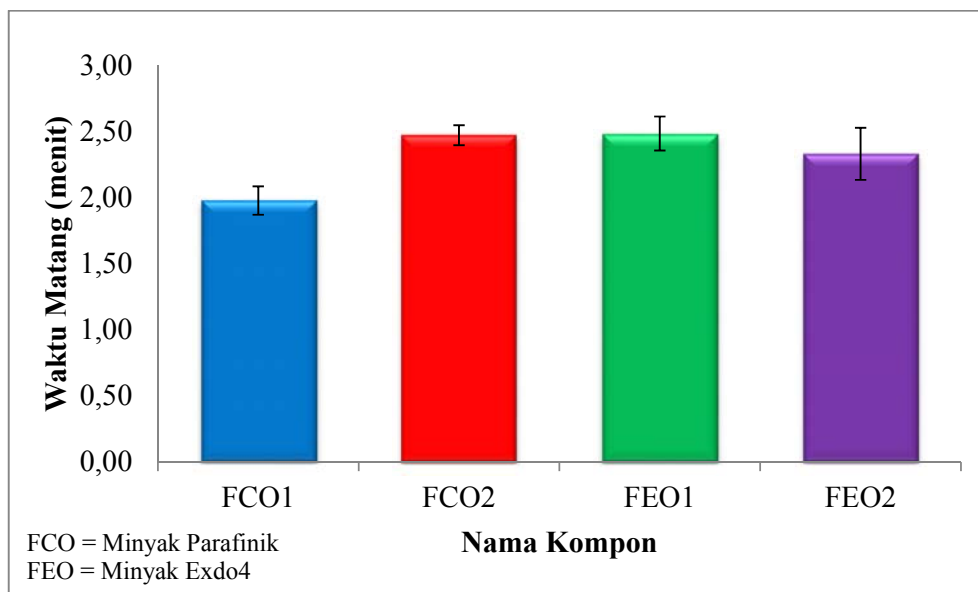


Gambar IV.1. Pengaruh Variasi *Processing Oil* Terhadap Viskositas Kompon Karet

Dari Gambar IV.1. terlihat bahwa substitusi minyak parafinik dengan minyak Exdo-4 pada 4 dan 8 phr menghasilkan nilai viskositas yang lebih tinggi. Peningkatan nilai viskositas ini kemungkinan diakibatkan oleh viskositas minyak Exdo-4 yang lebih tinggi daripada minyak parafinik. Viskositas minyak yang tinggi menyebabkan aliran minyak kedalam rantai polimer karet agar dapat menurunkan

interaksi rantai polimer membutuhkan waktu yang lebih lama. Namun pada penelitian ini, waktu pencampuran yang digunakan baik untuk minyak parafinik maupun minyak Exdo-4 sama yaitu 17 menit, sehingga kemungkinan besar waktu pencampuran untuk kompon karet yang mengandung minyak Exdo-4 belum optimal dikarenakan viskositasnya yang tinggi. Sedangkan semakin tinggi massa minyak yang digunakan maka semakin rendah viskositas kompon yang dihasilkan, hal ini dikarenakan minyak berfungsi untuk menurunkan interaksi rantai sehingga semakin banyak minyak yang ditambahkan maka semakin memaksimalkan pencampuran karet dengan bahan *additives* lainnya.

4.2.2 Pengaruh variasi jenis minyak terhadap waktu matang (*curing time*) kompon karet



Gambar IV.2. Pengaruh Variasi *Processing Oil* Terhadap Waktu Matang Kompon Karet

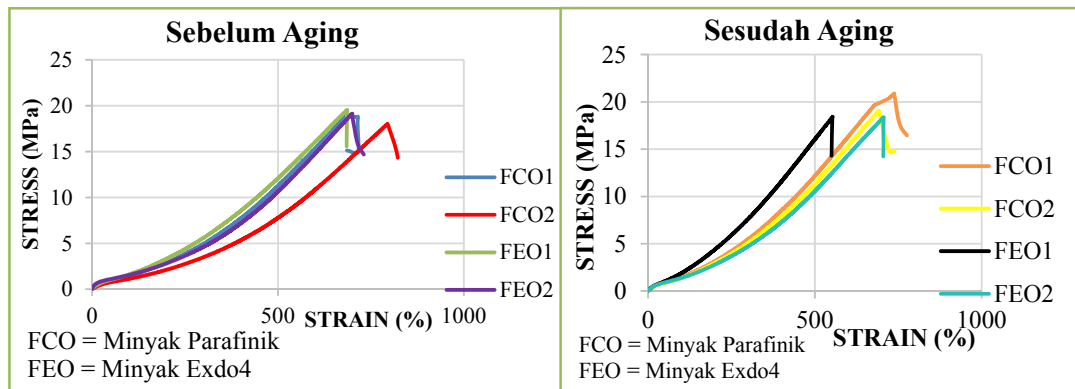
Dari Gambar IV.2 dapat dilihat bahwa substitusi minyak parafinik dengan minyak Exdo-4 pada 4 dan 8 phr tanpa mengganti bahan lain (Tabel IV.1) tidak mempengaruhi waktu matang secara signifikan. Hal ini dikarenakan yang dapat mempengaruhi waktu matang adalah jumlah pencepat (*accelerator*) yang digunakan, sedangkan minyak dalam hal ini berfungsi sebagai bahan bantu

pemrosesan untuk memudahkan karet bercampur dengan bahan kimia karet lainnya.

4.2.3 Hubungan antara variasi jenis minyak terhadap vulkanisat yang dihasilkan

4.2.3.1 Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik merupakan kekuatan maksimum material untuk dapat menahan ketika sedang diregangkan atau ditarik sebelum putus. Hasil uji kekuatan tarik yang diperoleh, berupa grafik hubungan tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*) dari masing-masing spesimen uji baik sebelum dan sesudah *aging*.



Gambar IV.3. Hasil Uji

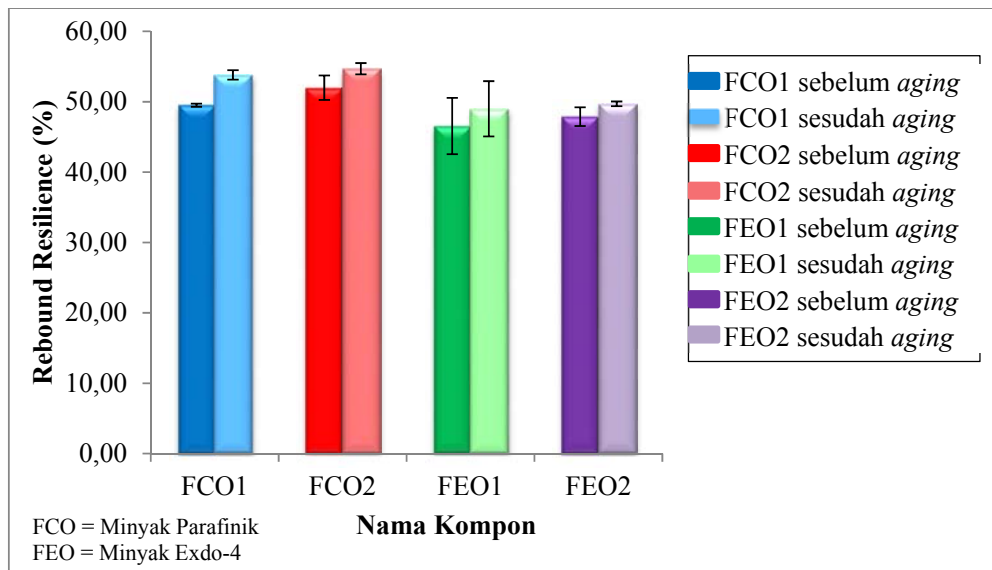
Kekuatan Tarik Kompon Karet

Dari Gambar IV.3 terlihat bahwa nilai kekuatan tarik sebelum *aging* dari kompon karet yang mengandung minyak Exdo-4 dengan kompon karet yang mengandung minyak parafinik tidak berpengaruh secara signifikan namun sesudah *aging* dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik kompon karet yang mengandung Exdo-4 turun secara signifikan, sedangkan kekuatan tarik minyak parafinik sesudah *aging* justru mengalami peningkatan. Walaupun *aging loss* untuk nilai kekuatan tarik yang mengandung minyak parafinik dan Exdo-4 kurang dari 20% (Tabel IV.3), namun nilai kekuatan tarik dari kompon karet pada penelitian ini masih kurang dari 20 MPa, sehingga belum memenuhi target standar teknis yang telah ditetapkan.

Tabel IV.3 Kekuatan Tarik Sebelum dan Sesudah Aging

| SAMPSEL | STRESS | |
|--------------|---------------|---------------|
| | Sebelum Aging | Sesudah Aging |
| FCO1 – 4 phr | 18,8838 | 20,8888 |
| FCO2 – 8 phr | 18,0127 | 18,7210 |
| FEO1 – 4 phr | 19,4376 | 18,6191 |
| FEO2 – 8 phr | 19,1243 | 18,7786 |

4.2.3.2 Pantul (*Rebound Resilience*)



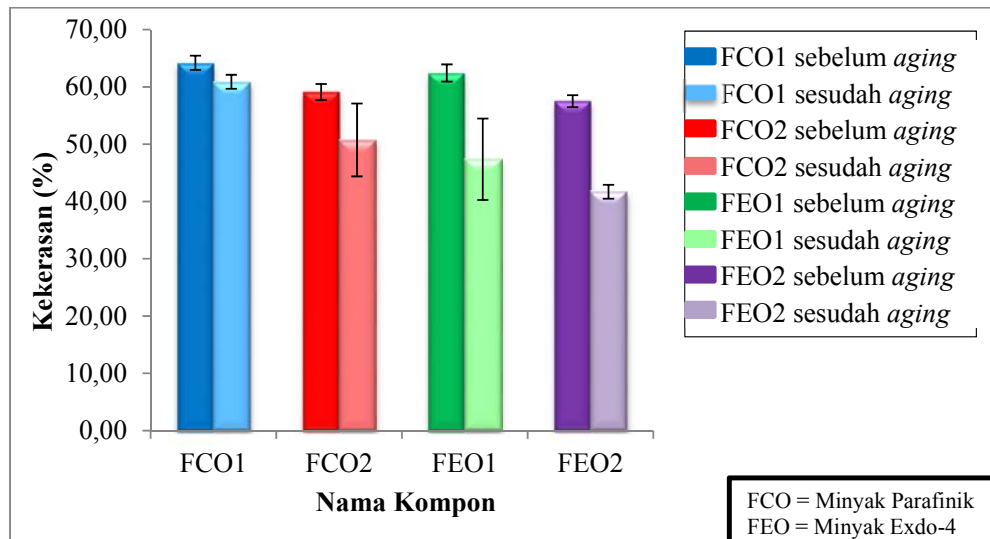
Gambar IV.4. Hasil Uji *Rebound Resilience* Kompon Karet

Dari Gambar IV.4. dapat dilihat bahwa substitusi minyak parafinik dengan minyak exdo-4 pada 4 dan 8 phr menghasilkan nilai *rebound resilience* yang lebih kecil. Kompon karet untuk vulkanisir tapak ban pesawat hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh formulasi yang diteliti memenuhi persyaratan target standar teknis, yang mensyaratkan nilai *rebound resilience* yaitu 45-70%. Nilai *rebound resilience* yang dihasilkan sebelum *aging* adalah 46,55% – 52,00% dan sesudah *aging* adalah 49,71% – 54,69%. Pada penelitian ini tidak ada *rebound loss* setelah *aging* namun justru terjadi kenaikan nilai *rebound*, dapat dilihat pada Tabel IV.4.

Tabel IV.4 Kenaikan *Rebound Resilience* Sesudah *Aging*

| NAMA KOMPON | Kenaikan <i>Rebound Resilience</i> |
|-------------|------------------------------------|
| FCO1 | 9% |
| FCO2 | 5% |
| FEO1 | 5% |
| FEO2 | 4% |

4.2.3.3 Kekerasan (*Hardness Shore A*)



Gambar IV.5. Hasil Uji Kekerasan

Dari Gambar IV.5. dapat dilihat bahwa substitusi minyak parafinik dengan minyak Exdo-4 pada 4 dan 8 phr mengakibatkan nilai kekerasan kompon karet yang dihasilkan turun sekitar 2 unit *hardness shore A* sebelum *aging*. Penurunan nilai kekerasan kompon secara signifikan terjadi sesudah *aging* untuk kompon Exdo-4 hingga sampai 15 unit *hardness shore A* dibandingkan dengan kompon yang mengandung minyak parafinik. Massa *processing oil* juga mempengaruhi nilai kekerasan, dimana kompon karet yang menggunakan *processing oil* (parafinik dan Exdo-4) lebih kecil menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kompon yang mengandung minyak parafinik) dan minyak Exdo-4 yang

menggunakan komposisi massa *processing oil* yang lebih tinggi, baik sebelum dan sesudah *aging*.

Dari hasil penelitian, hanya kompon karet yang mengandung minyak parafinik (sebelum dan sesudah *aging*) dan minyak Exdo-4 (sebelum *aging*) sebanyak 4 phr yang telah memenuhi target standar teknis untuk tapak ban pesawat. Penggunaan minyak lebih dari 4 phr, pada penelitian ini akan mengurangi nilai kekerasan kompon yang dihasilkan, hal dikarenakan fungsi minyak sebagai bahan bantu proses dimana semakin banyak minyak yang digunakan akan semakin cepat dan mudah pencampuran karet dengan bahan kimia karet lainnya, menurunkan interaksi rantai polimernya dan viskositasnya semakin turun sehingga pada akhirnya akan menurunkan kekerasan kompon yang dihasilkan.

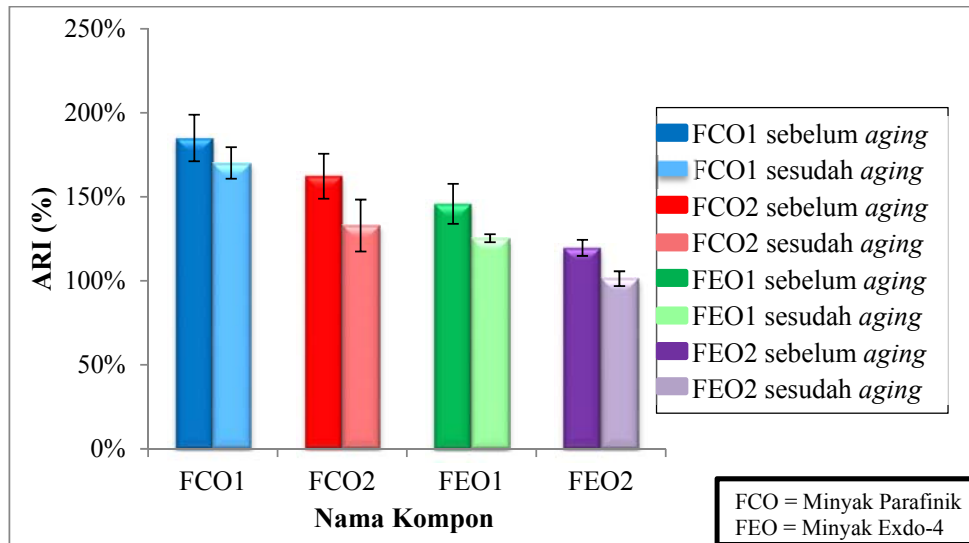
Dari hasil uji *aging* pada suhu 70°C dan waktu 48 jam pada Tabel IV.5, didapat bahwa *hardness loss* kompon yang mengandung minyak parafinik masih memenuhi target standar teknis yang dipersyaratkan karena masih dibawah 20%.

Tabel IV.5 *Hardness Loss* Sesudah *Aging*

| NAMA KOMPON | <i>HARDNESS</i> <i>LOSS</i> |
|------------------------|--|
| FCO1 | 5% |
| FCO2 | 14% |
| FEO1 | 24% |
| FEO2 | 27% |

4.2.3.4 Ketahanan Kikis (*Abrasion Resistance*)

Pengujian ketahanan kikis dilakukan dengan cara penggesekan karet pada suatu permukaan pengikis. Ketahanan kikis dari vulkanisat karet yang di gesekkan pada sebuah ampelas kikis dengan mutu tertentu, dengan tekanan dan area tertentu (Basseri, 2005).



Gambar IV.6. Hasil Uji Ketahanan Kikis

Dari Gambar IV.6. dapat dilihat bahwa massa *processing oil* mempengaruhi nilai ketahanan kikis, dimana kompon karet yang menggunakan *processing oil* baik parafinik maupun Exdo-4 pada 4 phr menghasilkan nilai ketahanan kikis yang lebih tinggi dibandingkan dengan kompon karet yang menggunakan *processing oil* 8 phr.

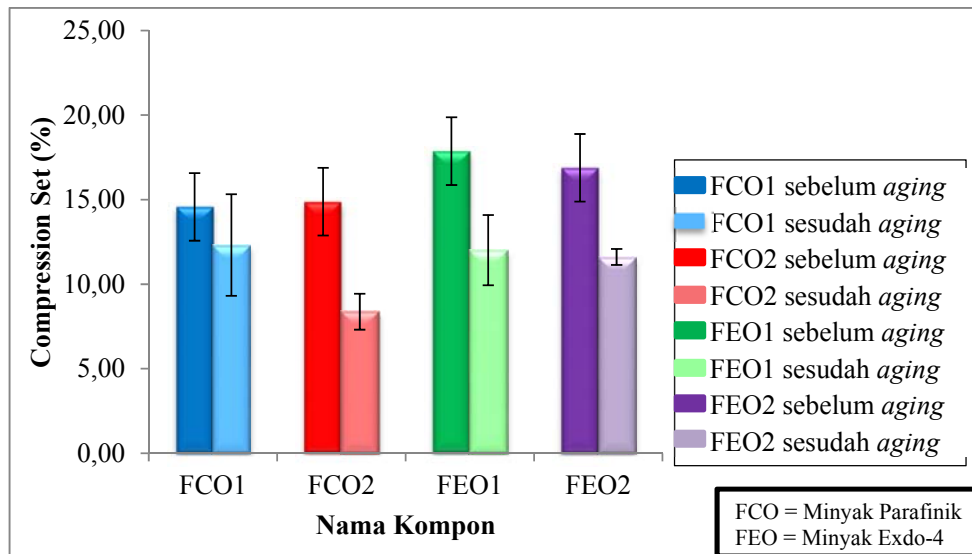
Substitusi minyak parafinik dengan minyak Exdo-4 menghasilkan kompon karet dengan ketahanan kikis yang lebih rendah baik sebelum dan sebelum *aging*, hal ini kemungkinan disebabkan karena viskositas minyak Exdo-4 lebih tinggi dibandingkan minyak parafinik sehingga perlu waktu pencampuran yang lebih lama dibandingkan minyak parafinik. Kurang optimalnya waktu pencampuran mengakibatkan kurangnya interaksi yang terjadi baik secara fisika dan kimia antara gugus fungsional bahan pengisi dengan karet (Marlina Popy et al, 2014) yang pada akhirnya akan mempengaruhi ketahanan kikis.

Dari gambar diatas dapat pula dilihat kompon karet yang mengandung minyak parafinik pada 4 dan 8 phr dan minyak Exdo-4 pada 4 phr telah memenuhi persyaratan target standar teknis, yaitu dengan mensyaratkan nilai ketahanan kikis >120% ARI. *Aging loss* untuk ketahanan kikis juga telah memenuhi persyaratan target standar teknis, yang mensyaratkan *aging loss* untuk ketahanan kikis pada suhu 70°C dan waktu 48 jam sebesar 20% *max* yang dapat dilihat pada Tabel IV.6

Tabel IV.6 Ketahanan Kikis Sesudah Aging

| NAMA KOMPON | AGING LOSS |
|-------------|------------|
| FCO1 | 8% |
| FCO2 | 18% |
| FEO1 | 14% |
| FEO2 | 15% |

4.2.3.5 Pampatan Tetap (*Compression Set*)



Gambar IV.7. Hasil Uji Pampatan Tetap

Dari Gambar IV.7. dapat dilihat bahwa substitusi minyak parafinik dengan minyak Exdo-4 pada 4 dan 8 phr menghasilkan kenaikan nilai pampatan tetap baik sebelum dan sesudah *aging*. Namun massa *processing oil* yang digunakan pada penelitian ini yaitu sampai 8 phr, tidak mempengaruhi nilai pampatan tetap secara signifikan, karena nilai pampatan tetap yang dihasilkan dari setiap variasi komposisi massa *processing oil* tidak jauh berbeda.

Dari hasil penelitian terlihat bahwa pampatan tetap baik untuk kompon karet yang mengandung minyak parafinik maupun minyak Exdo-4 sesudah *aging* justru lebih baik dibandingkan sebelum *aging* (pada pampatan tetap, nilai pampatan tetap semakin kecil maka berarti kemampuan karet untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami penekanan semakin baik). Hal ini kemungkinan disebabkan karena saat *aging* pada suhu 70°C dan waktu 48 jam yang terjadi bukan proses

degradasi rantai polimer, namun justru terjadi proses pematangan kompon karet lanjutan, sehingga masih terbentuk ikatan silang diantara rantai polimernya. Semakin banyak ikatan silang yang terbentuk, semakin baik nilai pampatan tetapnya.

Hasil keseluruhan dari pengujian yang dilakukan, bahwa :

- Pada pemrosesan, nilai viskositas kompon karet yang menggunakan komposisi *processing oil* 4 phr naik yaitu dari 75,28 MU menjadi 85,59 MU tetapi waktu matang tidak berubah secara signifikan yaitu sekitar 139 detik.
- Sifat mekanik (*tensile strength*, *rebound resilience*, *hardness*, dan *abrasion resistance*) turun.
- Proses pengusangan yang dilakukan memberikan pengaruh penurunan sifat mekanik pada kompon karet yang menggunakan *processing oil* minyak Exdo-4, khususnya *tensile strength* (19,44 ke 18,72), *hardness* (62,43 ke 60,90), dan *abrasion resistance* (145,78 ke 125,37). Sedangkan pengusangan memberikan pengaruh kenaikan sifat mekanik pada kompon karet yang menggunakan *processing oil* minyak parafinik, yaitu *tensile strength* (18,88 ke 20,89), dan *rebound resilience* 49,52 ke 53,82).
- Sifat mekanik kompon karet yang dihasilkan yang memenuhi target standar teknis untuk tapak ban pesawat terbang adalah ketahanan kikis, pantul, dan pampatan tetap.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Substitusi *processing oil* yang mengandung PAH tinggi (parafinik) dengan PAH rendah (Exdo-4) terhadap pemrosesan (viskositas dan waktu matang) dan sifat mekanik kompon karet untuk tapak ban pesawat terbang memberikan pengaruh sebagai berikut:
 - pada pemrosesan, nilai viskositas kompon karet yang menggunakan komposisi *processing oil* 4 phr naik yaitu dari 75,28 MU menjadi 85,59 MU tetapi waktu matang tidak berubah secara signifikan yaitu sekitar 139 detik.
 - sifat mekanik (*tensile strength*, *rebound resilience*, *hardness*, dan *abrasion resistance*) turun.
2. Pengusangan (*aging*) memberikan pengaruh penurunan sifat mekanik pada kompon karet yang menggunakan *processing oil* minyak Exdo-4, khususnya *tensile strength*, *hardness*, dan *abrasion resistance*. Sedangkan pengusangan memberikan pengaruh kenaikan sifat mekanik pada kompon karet yang menggunakan *processing oil* minyak parafinik, yaitu *tensile strength*, dan *rebound resilience*.
3. Sifat mekanik kompon karet yang dihasilkan yang memenuhi target standar teknis untuk tapak ban pesawat terbang adalah ketahanan kikis, pantul, dan pampatan tetap.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut maka penulis memberikan saran agar dapat membantu memudahkan peneliti melakukan penelitian selanjutnya :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai waktu dan suhu proses pengusangan (*aging*) terhadap kompon karet.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan bahan kimia yang berfungsi sebagai bahan penguat untuk memenuhi sifat mekanik kekuatan tarik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abednego, J. G., 1979, "*Pengetahuan Rubber Compound*" Direktor Standarisasi, Normalisasi dan Pengendalian Mutu, Departemen Perdagangan Mutu, Departemen Perdagangan dan Koperasi: Sembawa.
- Alfa. A. A, I. Sailah dan Y. Syamsu., 2003, "*Pengaruh Perlakuan Lateks Karet Alam dengan H₂O₂-NaCl Terhadap Karakter Lates dan Kelarutan Karet Silko dari Lateks*", Simposium Nasional Polimer: Jakarta.
- Anonym., 2005, "*Robinson Rubber Products-Polybutadiene Rubber*", Robinson Rubber Products Company, Inc: Amerika Serikat.
- Anonym., 2005, "*Rubber Material Selection Guide NR or Natural Rubber Polyisoprene*", Robinson Rubber Products Company, Inc: Amerika Serikat.
- Anonym., 2014, "*Pertamina Ekspor Minyak Ban ke Malaysia*", Detik: Jakarta.
- Arizal, Ridha., 2015, "*Pelatihan Desain Kompon Barang Jadi Karet (Specialty Rubber)*", Balai Besar Pendidikan dan Pelatihan Ekspor Indonesia: Jakarta.
- Basseri, A., 2005, "*Teori Praktek Barang Jadi Karet*", Balai Penelitian dan Teknologi Karet: Bogor.
- Clarke.J., Zhou. Z., Dollah. F.B., Fleming., A., Shi. J., 2013, "*Vegetable oils as a replacement for petroleum oils in elastomer compounds*", The Institute of Materials: Loughborough University.
- Craig. A. S., 1969, "*Dictionary of Rubber Technology*", Philosophical Library : London.
- Gibson, R.F., 1994, "*Principle of Composite Material Mechanic*", McGraw-Hill International Book Company: New York.

Hanggukusumo, Suharto., 1994, "*Teknologi Vulkanisasi*", Balai Besar Pendidikan dan Pelatihan Ekspor Indonesia: Jakarta.

Indriasari. 2016. *Desain Pemilihan Bahan untuk Kompon Tapak Ban Pesawat*. Tangerang: PTM-BPPT

Ismail, H., Suhelmy S., Edyham M.R., 2002, "*The Effect of Silane Coupling Agent On Curing Characteristics an Mechanical Properties Of Bamboo Fibre Filled Natural Rubber Composite*", European Polymer Journal Vol.38 39-47, Universiti Sains Malaysia, Penang: Malaysia.

Lee. K.S, Whellan. A., 1997. "*Development In Rubber Technology: Improving Product Performance*", App Sci Pub Ltd: London.

Lee., S.H., Siquan W., 2006, "*Biodegradable Polymers/Bamboo Fiber Biocomposite With Bio-Based Coupling Agent*" Composite Part A Vol. 37 80-91, University of Tennessee., Knoxville: Amerika Serikat.

Long, Harry., 1985, "*Basic Compounding and Processing of Rubber*", University of Akron: Ohio.

Maksum, R. Bambang Suriyadi, Victor Tulus. PS., 2015, "*Petunjuk Praktikum*", Balai Besar Pendidikan dan Pelatihan Ekspor Indonesia: Jakarta.

Marlina, Popy. Filli Pratama. Basuni Hamzah. Dan Rindit Pambayun., 2014, "*Pengaruh Suhu Dan Lama Penyimpanan Terhadap Karakteristik Kompon Karet Dengan Bahan Pengisi Arang Aktif Tempurung Kelapa Dan Nano Silika Sekam Padi*", Universitas Sriwijaya: Palembang.

Matondang, Winny Mustika., 2010., "*Penentuan kadar amoniak (NH₃) pada lateks kompon terhadap benang karet di PT. Industri Karet Nusantara*", Universitas Sumatera Utara: Medan.

Nadjah., 2012, "*Sistem Suspensi (Pegas dan ban) pada Pesawat Terbang*", Jakarta

Nainggolan, Awaluddin., 2014, "*Pengaruh Penambahan Surfaktan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) Terhadap Sifat Mekanik Dan Thermal Nanokomposit Karet Organobentonit*", Universitas Sumatera Utara: Medan.

Ompungssu, M., 1987, "*Pengetahuan Lateks Havea. Sungei Putih*", Lembaga Pendidikan Perkebunan: Medan.

Pangestika Putri, Valian, Reni Retnowati, Astrid Dianka Pratiwi, Puji Lestari, Titik Kurniawati, Monariska Situmorang, Candra Irna Purnawatiningsih, Cahyani Kartikawati, Erika Nurseptiani., 2011, "*Tugas Teknologi Karet Dan Tembakau Kompon Karet*", Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.

Pertamina., 2012, "*Material Safety Data Sheet Exdo-4*", Pertamina: Indonesia.

Pertamina., 2012, "*Material Safety Data Sheet Paraffinic Oil*", Pertamina: Indonesia.

Petchkaew, Anida., 2015, "*Implications of Non-Carcinogenic PAH-free Extender Oils in Natural Rubber Based Tire Compounds*", University of Twente, Enschede, the Netherlands, and Prince of Songkla University, Pattani Campus : Thailand.

Putra, Anna Arthdi., Cecep Poety., Rezki Deritani., Sisri Gustiyeni., 2013, "*(Komponen Pesawat Terbang) Ban Pesawat dan Strukturnya*", Jakarta.

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

Prasetyo. Dwi., Wijang Wisnu Raharjo., Ubaidillah., 2013, "*Pengaruh Penambahan Coupling Agent Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Polyester-Cantula Dengan Anyaman Serat 3D Angle Interlock*", Mekanika Volume 12 Nomor 1: Solo.

Sasongko, Atur Riga., 2012, “*Studi Pengaruh Ukuran Partikel Dan Jumlah PHR Carbon Black Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Sifat Mekanik Produk Karet Alam*”, Universitas Indonesia: Depok.

Sidabutar, Victor Tulus Pangapoi., 2014, “*Kajian Literatur Modifikasi Kekerasan Kompon Ditinjau Dari Elastomer, Bahan Pengisi, Process Oil dan Accelerator*”, Balai Besar Pendidikan dan Pelatihan Ekspor Indonesia: Jakarta.

Sipahutar, Siti Soriani., 2011, “*Pengaruh Pengisi Kalsium Karbonat dan Waktu Vulkanisasi terhadap Kekuatan Tarik dan Sweling Index Filel Lateks Karet Alam*”, Universitas Sumatera Utara: Medan.

Standar Nasional Indonesia, 2009, “*SNI 0778-2009 Sol Karet Cetak*”, Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.

Suchiva, Krisda., 2015, “*Introduction To Process Oil*”, Resear/h and Development Centre for Thai Rubber Industry, Mahidol University: Thailand.

Surya., 2009, “*Laporan Praktikum Pembuatan Kompon Sol Sepatu dan Adhesive*”, Akademi Teknologi Kulit Yogyakarta: Yogyakarta.

Winarto. D.A., Indriasari., S. Rahayu., H. Susanto., 2015, “*Pengaruh Berbagai Jenis Minyak Nabati terhadap Pemrosesan dan Sifat Mekanik Kompon Karet*”, Simposium Nasional Polmer X-2015: Surabaya.

Zuhra, Cut Fatimah., 2006, “*Karet*”, Karya Ilmiah, Universitas Sumatera Utara: Medan.

LAMPIRAN A

PERALATAN UTAMA



Gambar.1. *Rubber Cutting Machine* untuk memotong karet



Gambar.2. *Kneader machine* untuk proses pencampuran



Gambar.3. *Open Mill Machine* untuk penggilingan



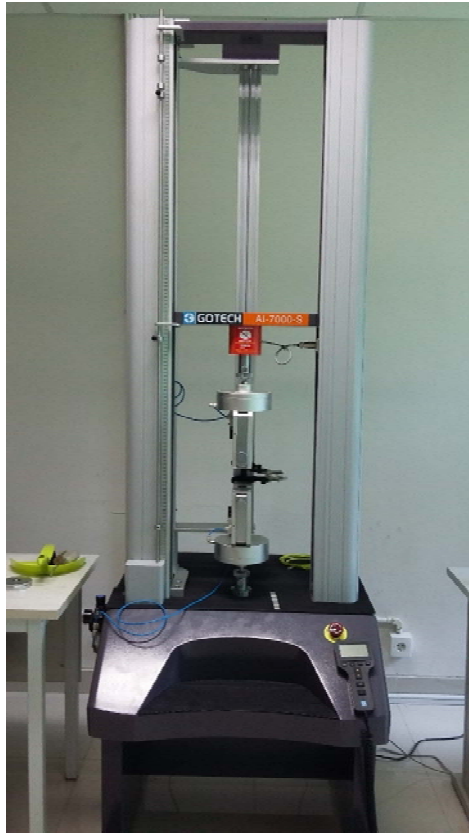
Gambar.4. *Hot Press 300P/M* untuk proses pematangan karet



Gambar.5. MonTech *Moving Die Rheometer* MDR-3000 untuk pengujian waktu matang kompon karet



Gambar.6. MonTech *V-MV 3000 Variable Mooney Viscometer* untuk pengujian viskositas kompon karet



(a)



(b)

Gambar.7. (a) GOTECH AI-7000-S *Tensile Strenght Tester* untuk pengujian kekuatan tarik, (b) Cetakan untuk sampel uji kekuatan tarik ASTM D412



Gambar.8. DIN *Abrasion Tester* AT150 untuk Pengujian Ketahanan Kikis



Gambar.9. *Gibitre Instrument Rebound Resilience Tester* untuk Pengujian Pantul



Gambar.10. *Durometer Hardness Tipe Mitutoyo Shore A* untuk Pengujian Kekerasan



Gambar.11. *Compression Set* untuk Pengujian Pampatan Tetap



Gambar.12. *Oven Aging* untuk Pengujian Pengusangan

LAMPIRAN B

BAHAN-BAHAN



Gambar.13. Polimer yaitu karet alam (*Rubber Smoked Sheet*) dan karet sintetik (*Butadiene Rubber*)



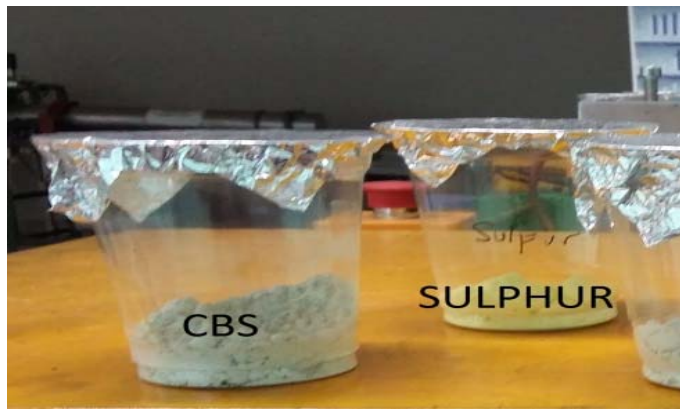
Gambar.14. Aktiplast 8



Gambar.15. *Carbon Black N220*



Gambar.16. Bahan-bahan kimia



Gambar.17. Sulfur dan CBS

LAMPIRAN C

HASIL PENGAMATAN



Gambar.18. Kompon Karet



(a)



(b)

Gambar.19. (a) Sampel Hasil Uji Waktu Kematangan (*Rheometer*),

(b) Sampel Hasil Uji Viskositas (*Viscometer*)



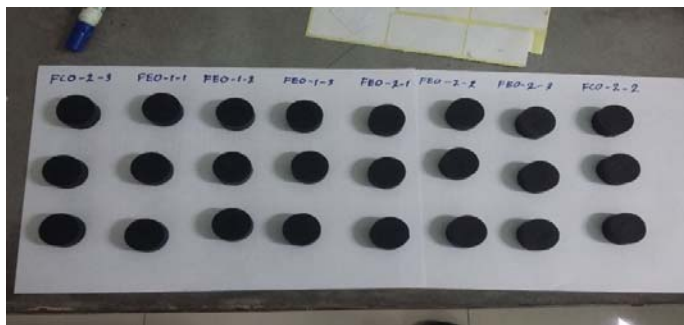
Gambar.20. Sampel di dalam *Oven Aging*



(a)



(b)



(c)

Gambar.21. (a) Sampel Hasil Uji Ketahanan Kikis, (b) Sampel Hasil Uji Kekuatan Tarik, (c) Sampel Hasil Uji Kekerasan, Pantul, dan Pampatan Tetap

LAMPIRAN D

PENGOLAHAN DATA

Tabel 1. Hasil Uji Waktu Matang

| Kompon | No Kompon | ts2 | Avg ts2 | t90 (menit) | Avg t90 | stdev t90 | S' min | Avg S'min | S' max | Avg S'max | $\Delta S'$ | Avg $\Delta S'$ | ts1 | t90 - ts1 |
|--------|--------------|------|------------|----------------|------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|-------------|--------------------|------|--------------|
| FCO1 | 1 | 0,71 | 0,77 | 1,90 | 1,98 | 0,11 | 2,67 | 2,61 | 14,79 | 14,83 | 12,12 | 12,22 | 0,39 | 1,51 |
| | 2 | 0,76 | | 1,93 | | | 2,54 | | 15,21 | | 12,67 | | 0,46 | 1,47 |
| | 3 | 0,83 | | 2,10 | | | 2,62 | | 14,48 | | 11,86 | | 0,51 | 1,59 |
| FCO2 | 1 | 1 | 1,01 | 2,39 | 2,47 | 0,08 | 2,53 | 2,36 | 12,96 | 12,65 | 10,43 | 10,30 | 0,55 | 1,84 |
| | 2 | 1,01 | | 2,48 | | | 2,22 | | 12,30 | | 10,08 | | 0,44 | 2,04 |
| | 3 | 1,02 | | 2,54 | | | 2,32 | | 12,70 | | 10,38 | | 0,42 | 2,12 |
| FEO1 | 1 | 0,82 | 0,87 | 2,43 | 2,48 | 0,13 | 2,89 | 2,81 | 15,53 | 15,41 | 12,64 | 12,60 | 0,26 | 2,17 |
| | 2 | 0,73 | | 2,39 | | | 2,98 | | 16,47 | | 13,49 | | 0,17 | 2,22 |
| | 3 | 1,05 | | 2,63 | | | 2,56 | | 14,24 | | 11,68 | | 0,47 | 2,16 |
| FEO2 | 1 | 1,17 | 1,06 | 2,54 | 2,33 | 0,20 | 2,14 | 2,28 | 11,47 | 12,32 | 9,33 | 10,04 | 0,82 | 1,72 |
| | 2 | 1 | | 2,30 | | | 2,31 | | 12,84 | | 10,53 | | 0,63 | 1,67 |
| | 3 | 1 | | 2,15 | | | 2,38 | | 12,64 | | 10,26 | | 0,7 | 1,45 |

Tabel 2. Hasil Uji Viskositas

| No | Kompon | No sampel | ML 1+4 (MU) | Average ML 1+4 | Avg ML (MU) | Stdev ML |
|----|--------|-----------|-------------|----------------|-------------|----------|
| 1 | FCO1 | 1 | 77,38 | 77,18 | 75,28 | 1,77 |
| | | | 77,18 | | | |
| | | | 76,98 | | | |
| | | 2 | 73,59 | 73,67 | | |
| | | | 73,61 | | | |
| | | | 73,82 | | | |
| | | 3 | 74,54 | 74,99 | | |
| | | | 75,14 | | | |
| | | | 75,29 | | | |
| 2 | FCO2 | 1 | 68,70 | 67,75 | 66,04 | 5,11 |
| | | | 69,71 | | | |
| | | | 64,83 | | | |
| | | 2 | 69,71 | 70,07 | | |
| | | | 70,33 | | | |
| | | | 70,18 | | | |
| | | 3 | 69,71 | 60,29 | | |
| | | | 70,35 | | | |
| | | | 40,82 | | | |
| 3 | FEO1 | 1 | 86,52 | 86,97 | 85,59 | 5,04 |
| | | | 87,27 | | | |
| | | | 87,11 | | | |
| | | 2 | 89,63 | 89,79 | | |
| | | | 90,08 | | | |
| | | | 89,67 | | | |
| | | 3 | 79,85 | 80,00 | | |
| | | | 80,18 | | | |
| | | | 79,97 | | | |
| 4 | FEO2 | 1 | 61,99 | 61,92 | 67,87 | 5,28 |
| | | | 61,90 | | | |
| | | | 61,88 | | | |
| | | 2 | 72,44 | 72,03 | | |
| | | | 71,59 | | | |
| | | | 72,05 | | | |
| | | 3 | 69,70 | 69,66 | | |
| | | | 69,69 | | | |
| | | | 69,58 | | | |

Tabel 3. Hasil Uji Kekuatan Tarik

a. Sebelum Aging

| Kompon | Sampel No | Max Load (N) | Area (mm ²) | Max Stress = Tensile Strength (N/mm ² = Mpa) | AVERAGE per sampel | Rata-rata Tensile Strength (N/mm ² = Mpa) | Keterangan | Standar Deviasi | Max |
|--------|-----------|--------------|-------------------------|---|--------------------|--|---|-----------------|-------|
| FCO1 | FCO1-1.1 | 411,644 | 20,06562 | 20,51 | 18,44 | 18,88 | Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strength adalah sampel FCO1-2.3 | 0,46 | 20,51 |
| | FCO1-1.2 | 392,712 | 22,22829 | 17,67 | | | | | 21,10 |
| | FCO1-1.3 | 386,386 | 22,52713 | 17,15 | | | | | 20,63 |
| | FCO1-2.1 | 413,190 | 21,13788 | 19,55 | 18,84 | | | | 19,55 |
| | FCO1-2.2 | 379,869 | 21,10905 | 18,00 | | | | | 22,22 |
| | FCO1-2.3 | 415,532 | 21,88888 | 18,98 | | | | | 18,81 |
| | FCO1-3.1 | 443,689 | 22,82236 | 19,44 | 19,36 | | | | 19,44 |
| | FCO1-3.2 | 461,635 | 23,14480 | 19,95 | | | | | 19,95 |
| | FCO1-3.3 | 425,383 | 22,73958 | 18,71 | | | | | 18,71 |
| FCO2 | FCO2-1.1 | 360,541 | 19,35467 | 18,63 | 17,12 | 18,01 | Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strength adalah sampel FCO2-2.1 | 0,78 | 18,63 |
| | FCO2-1.2 | 335,389 | 20,93955 | 16,02 | | | | | 17,55 |
| | FCO2-1.3 | 371,737 | 22,23645 | 16,72 | | | | | 16,72 |
| | FCO2-2.1 | 388,963 | 21,58345 | 18,02 | 18,38 | | | | 18,02 |
| | FCO2-2.2 | 376,944 | 20,17972 | 18,68 | | | | | 18,68 |
| | FCO2-2.3 | 357,741 | 19,41400 | 18,43 | | | | | 18,43 |
| | FCO2-3.1 | 390,647 | 20,55743 | 19,00 | 18,54 | | | | 19,00 |
| | FCO2-3.2 | 371,647 | 21,69461 | 17,13 | | | | | 17,13 |

| Kompon | Sampel No | Max Load (N) | Area (mm ²) | Max Stress = Tensile Strength (N/mm ² = Mpa) | AVERAGE per sampel | Rata-rata Tensile Strength (N/mm ² = Mpa) | Keterangan | Standar Deviasi | Max |
|--------|-----------|--------------|-------------------------|---|--------------------|--|---|-----------------|-------|
| FEO1 | FCO2-3.3 | 409,520 | 21,01180 | 19,49 | | | | | 19,49 |
| | FEO1-1.1 | 428,288 | 21,24066 | 20,16 | 19,53 | 19,44 | Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strength adalah sampel FEO1-2.3 | 0,22 | 20,16 |
| | FEO1-1.2 | 388,277 | 20,78700 | 18,68 | | | | | 19,59 |
| | FEO1-1.3 | 414,327 | 20,97025 | 19,76 | | | | | 19,76 |
| | FEO1-2.1 | 410,453 | 20,56646 | 19,96 | 19,18 | | | | 20,02 |
| | FEO1-2.2 | 370,349 | 20,50664 | 18,06 | | | | | 22,87 |
| | FEO1-2.3 | 423,130 | 21,66255 | 19,53 | | | | | 19,53 |
| | FEO1-3.1 | 428,167 | 21,51127 | 19,90 | 19,60 | | | | 19,90 |
| | FEO1-3.2 | 407,223 | 21,53829 | 18,91 | | | | | 18,91 |
| | FEO1-3.3 | 388,916 | 19,46873 | 19,98 | | | | | 19,98 |
| FEO2 | FEO2-1.1 | 368,915 | 19,29375 | 19,12 | 18,24 | | | | 19,12 |
| | FEO2-1.2 | 345,421 | 20,70496 | 16,68 | | 16,68 | | | |
| | FEO2-1.3 | 377,140 | 19,92402 | 18,93 | | 18,93 | | | |
| | FEO2-2.1 | 413,856 | 20,18888 | 20,50 | 19,70 | 21,21 | | | |
| | FEO2-2.2 | 417,399 | 21,08255 | 19,80 | | 19,80 | | | |
| | FEO2-2.3 | 383,944 | 20,40611 | 18,82 | | 18,82 | | | |
| | FEO2-3.1 | 422,259 | 21,36800 | 19,76 | 19,42 | 19,74 | | | |
| | FEO2-3.2 | 425,340 | 22,23395 | 19,13 | | 19,13 | | | |
| | FEO2-3.3 | 413,676 | 21,34406 | 19,38 | | 19,38 | | | |

b. Sesudah Aging

| No | Sampel No | Max Load (N) | Area (mm ²) | Max Stress = Tensile Strength (N/mm ² = Mpa) | AVERAGE per sampel | Rata-rata Tensile Strength (N/mm ² = Mpa) | Keterangan | Standar Deviasi | Max |
|-------------|-----------|--------------|-------------------------|---|--------------------|--|---|-----------------|-------|
| FCO1 | FCO1-1.1 | 456,066 | 21,75459 | 20,96 | 19,92 | 20,89 | Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strength adalah sampel FCO1-1.3 | 0,84 | 20,94 |
| | FCO1-1.2 | 417,042 | 21,82010 | 19,11 | | | | | 19,11 |
| | FCO1-1.3 | 429,939 | 21,82967 | 19,70 | | | | | 20,89 |
| | FCO1-2.1 | 486,756 | 22,03106 | 22,09 | 21,41 | | | | 22,09 |
| | FCO1-2.2 | 450,185 | 21,47193 | 20,97 | | | | | 20,95 |
| | FCO1-2.3 | 450,261 | 21,27040 | 21,17 | | | | | 21,17 |
| | FCO1-3.1 | 460,460 | 21,47855 | 21,44 | 21,33 | | | | 21,44 |
| | FCO1-3.2 | 441,216 | 21,22120 | 20,79 | | | | | 20,79 |
| | FCO1-3.3 | 466,726 | 21,43980 | 21,77 | | | | | 21,77 |
| FCO2 | FCO2-1.1 | 345,766 | 17,37586 | 19,90 | 19,55 | 18,72 | Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strength adalah sampel FCO2-2.3 | 0,72 | 19,90 |
| | FCO2-1.2 | 355,977 | 18,30507 | 19,45 | | | | | 19,45 |
| | FCO2-1.3 | 366,558 | 18,97600 | 19,32 | | | | | 19,32 |
| | FCO2-2.1 | 401,839 | 20,97854 | 19,15 | 18,30 | | | | 19,15 |
| | FCO2-2.2 | 351,850 | 21,09728 | 16,68 | | | | | 16,68 |
| | FCO2-2.3 | 403,812 | 21,17631 | 19,07 | | | | | 19,07 |
| | FCO2-3.1 | 315,083 | 19,58658 | 16,09 | 18,31 | | | | 16,09 |
| | FCO2-3.2 | 408,703 | 21,17162 | 19,30 | | | | | 19,30 |

| No | Sampel No | Max Load (N) | Area (mm ²) | Max Stress = Tensile Strength (N/mm ² = Mpa) | AVERAGE per sampel | Rata-rata Tensile Strength (N/mm ² = Mpa) | Keterangan | Standar Deviasi | Max |
|----------|-----------|--------------|-------------------------|---|--------------------|--|---|-----------------|-------|
| FEO1 | FCO2-3.3 | 381,386 | 19,52467 | 19,53 | | | | | 19,53 |
| | FEO1-1.1 | 333,112 | 20,67639 | 16,11 | 17,87 | 18,62 | Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strength adalah sampel FEO1-2.3 | 0,65 | 16,11 |
| | FEO1-1.2 | 404,262 | 21,94513 | 18,42 | | | | | 18,42 |
| | FEO1-1.3 | 404,256 | 21,17846 | 19,09 | | | | | 19,09 |
| | FEO1-2.1 | 391,521 | 20,54570 | 19,06 | 18,89 | | | | 19,06 |
| | FEO1-2.2 | 408,558 | 21,27751 | 19,20 | | | | | 19,20 |
| | FEO1-2.3 | 382,734 | 20,77400 | 18,42 | | | | | 18,42 |
| | FEO1-3.1 | 381,077 | 20,24963 | 18,82 | 19,09 | | | | 18,82 |
| | FEO1-3.2 | 414,480 | 20,96862 | 19,77 | | | | | 19,77 |
| FEO1-3.3 | 403,717 | 21,60703 | 18,68 | 18,68 | | | | | |
| FEO2 | FEO2-1.1 | 405,252 | 21,01029 | 19,29 | 17,77 | 18,78 | Grafik yang mendekati rata-rata Tensile Strength adalah sampel FEO2-2.1 | 0,88 | 16,69 |
| | FEO2-1.2 | 350,571 | 21,76408 | 16,11 | | | | | 16,11 |
| | FEO2-1.3 | 409,931 | 22,86907 | 17,93 | | | | | 17,93 |
| | FEO2-2.1 | 420,624 | 22,86907 | 18,39 | 19,40 | | | | 18,39 |
| | FEO2-2.2 | 408,021 | 20,60400 | 19,80 | | | | | 19,80 |
| | FEO2-2.3 | 402,185 | 20,09680 | 20,01 | | | | | 20,01 |
| | FEO2-3.1 | 444,517 | 22,78341 | 19,51 | 19,16 | | | | 19,51 |
| | FEO2-3.2 | 428,121 | 21,30100 | 20,10 | | | | | 20,10 |
| | FEO2-3.3 | 388,836 | 21,76060 | 17,87 | | | | | 17,87 |

Tabel 4. Hasil Uji Ketahanan Kikis

a. Sebelum Aging

| Kompon | No. Sampel | m awal (gr) | m akhir (gr) | Δ mt (gr) | densitas (g/cm ³) | Δ V (mm ³) | Avg Δ V per sampel | Avg Δ V | St dev Δ V | ARI (%) | Avg ARI per sampel | Avg ARI | stdev ARI |
|--------|------------|-------------|--------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|-----------|
| FCO1 | FCO1.1 | 3,4760 | 3,2722 | 0,2038 | 1,1353 | 79,27 | 77,76 | 81,64 | 7,51 | 187% | 191% | 185% | 14% |
| | | 3,6378 | 3,4427 | 0,1951 | 1,1361 | 75,83 | | | | 196% | | | |
| | | 3,6392 | 3,4463 | 0,1929 | 1,1341 | 75,11 | | | | 198% | | | |
| | | 3,6528 | 3,4425 | 0,2103 | 1,1360 | 81,75 | | | | 181% | | | |
| | | 3,6623 | 3,4650 | 0,1973 | 1,1336 | 76,86 | | | | 193% | | | |
| | FCO1.2 | 3,5931 | 3,2979 | 0,2952 | 1,1349 | 114,86 | 90,30 | | | 129% | | | |
| | | 3,5751 | 3,3608 | 0,2143 | 1,1338 | 83,46 | | | | 178% | | | |
| | | 3,5711 | 3,3907 | 0,1804 | 1,1341 | 70,24 | | | | 211% | | | |
| | | 3,6044 | 3,3467 | 0,2577 | 1,1328 | 100,46 | | | | 148% | | | |
| | | 3,5952 | 3,3830 | 0,2122 | 1,1363 | 82,46 | | | | 180% | | | |
| | FCO1.3 | 3,5769 | 3,3556 | 0,2213 | 1,1384 | 85,84 | 76,85 | | | 173% | | | |
| | | 3,5466 | 3,3788 | 0,1678 | 1,1388 | 65,07 | | | | 228% | | | |
| | | 3,5756 | 3,3885 | 0,1871 | 1,1384 | 72,57 | | | | 204% | | | |
| | | 3,5682 | 3,3601 | 0,2081 | 1,1383 | 80,73 | | | | 184% | | | |

| Kompon | No. Sampel | m awal (gr) | m akhir (gr) | Δm (gr) | densitas (g/cm ³) | ΔV (mm ³) | Avg ΔV per sampel | Avg ΔV | St dev ΔV | ARI (%) | Avg ARI per sampel | Avg ARI | stdev ARI |
|--------|------------|-------------|--------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|-----------|
| | | 3,5514 | 3,3450 | 0,2064 | 1,1385 | 80,06 | | | | 185% | | | |
| FCO2 | FCO2.1 | 3,5263 | 3,3156 | 0,2107 | 1,1239 | 82,78 | 85,33 | 92,72 | 8,59 | 179% | 174% | 162% | 13% |
| | | 3,5394 | 3,3216 | 0,2178 | 1,1280 | 85,26 | | | | 174% | | | |
| | | 3,5144 | 3,2898 | 0,2246 | 1,1250 | 88,16 | | | | 168% | | | |
| | | 3,5481 | 3,3269 | 0,2212 | 1,1251 | 86,82 | | | | 171% | | | |
| | | 3,5458 | 3,3328 | 0,2130 | 1,1250 | 83,60 | | | | 177% | | | |
| | FCO2.2 | 3,5448 | 3,3142 | 0,2306 | 1,1254 | 90,48 | 90,68 | | | 164% | | | |
| | | 3,5460 | 3,3031 | 0,2429 | 1,1223 | 95,57 | | | | 155% | | | |
| | | 3,5428 | 3,3163 | 0,2265 | 1,1237 | 89,00 | | | | 167% | | | |
| | | 3,5252 | 3,3310 | 0,1942 | 1,1226 | 76,39 | | | | 194% | | | |
| | | 3,5500 | 3,2909 | 0,2591 | 1,1222 | 101,95 | | | | 146% | | | |
| | FCO2.3 | 3,5523 | 3,3106 | 0,2417 | 1,1251 | 94,87 | 102,14 | | | 156% | | | |
| | | 3,5350 | 3,2201 | 0,3149 | 1,1247 | 123,64 | | | | 120% | | | |
| | | 3,5253 | 3,2550 | 0,2703 | 1,1255 | 106,05 | | | | 140% | | | |
| | | 3,5163 | 3,3022 | 0,2141 | 1,1235 | 84,15 | | | | 176% | | | |
| | | 3,5491 | 3,2895 | 0,2596 | 1,1237 | 102,01 | | | | 145% | | | |
| FEO1 | FEO1.1 | 3,5478 | 3,3112 | 0,2366 | 1,1460 | 91,17 | 98,18 | 102,49 | 8,69 | 163% | 152% | 146% | 12% |
| | | 3,5708 | 3,2897 | 0,2811 | 1,1415 | 108,74 | | | | 136% | | | |
| | | 3,5726 | 3,3095 | 0,2631 | 1,1457 | 101,40 | | | | 146% | | | |

| Kompon | No. Sampel | m awal (gr) | m akhir (gr) | Δ mt (gr) | densitas (g/cm ³) | Δ V (mm ³) | Avg Δ V per sampel | Avg Δ V | St dev Δ V | ARI (%) | Avg ARI per sampel | Avg ARI | stdev ARI | | |
|--------|------------|-------------|--------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|-----------|--|--------|
| | | 3,5595 | 3,3152 | 0,2443 | 1,1458 | 94,15 | | | | 158% | | | | | |
| | | 3,5409 | 3,2931 | 0,2478 | 1,1463 | 95,46 | | | | 155% | | | | | |
| | FEO1.2 | | 3,6477 | 3,3749 | 0,2728 | 1,1497 | 104,77 | 112,48 | | | 142% | 132% | | | |
| | | | 3,6277 | 3,3319 | 0,2958 | 1,1509 | 113,49 | | | | 131% | | | | |
| | | | 3,6365 | 3,3386 | 0,2979 | 1,1504 | 114,35 | | | | 130% | | | | |
| | | | 3,6475 | 3,3507 | 0,2968 | 1,1490 | 114,07 | | | | 130% | | | | |
| | | | 3,6265 | 3,3247 | 0,3018 | 1,1516 | 115,73 | | | | 128% | | | | |
| | | | 3,6150 | 3,3697 | 0,2453 | 1,1335 | 95,56 | | | | 155% | | | | |
| | FEO1.3 | | 3,6572 | 3,4112 | 0,2460 | 1,1349 | 95,72 | 96,79 | | | 155% | 154% | | | |
| | | | 3,6283 | 3,3595 | 0,2688 | 1,1353 | 104,55 | | | | 142% | | | | |
| | | | 3,6430 | 3,3945 | 0,2485 | 1,1359 | 96,61 | | | | 154% | | | | |
| | | | 3,6219 | 3,3866 | 0,2353 | 1,1354 | 91,51 | | | | 162% | | | | |
| | | | 3,5866 | 3,3089 | 0,2777 | 1,1307 | 108,45 | | | | 119,26 | | | | 124,69 |
| | FEO2.1 | | 3,6153 | 3,3150 | 0,3003 | 1,1310 | 117,25 | 127% | | | | | | | |
| | | | 3,5830 | 3,2532 | 0,3298 | 1,1302 | 128,85 | 115% | | | | | | | |
| 3,6131 | | | 3,2889 | 0,3242 | 1,1287 | 126,84 | 117% | | | | | | | | |
| 3,6137 | | | 3,3197 | 0,2940 | 1,1297 | 114,92 | 129% | | | | | | | | |
| 3,5993 | | | 3,2656 | 0,3337 | 1,1339 | 129,95 | 114% | | | | | | | | |
| FEO2.2 | | 3,6203 | 3,3369 | 0,2834 | 1,1333 | 110,42 | 125,98 | 134% | 118% | | | | | | |

| Kompon | No. Sampel | m awal (gr) | m akhir (gr) | Δ mt (gr) | densitas (g/cm ³) | Δ V (mm ³) | Avg Δ V per sampel | Avg Δ V | St dev Δ V | ARI (%) | Avg ARI per sampel | Avg ARI | stdev ARI |
|--------|------------|-------------|--------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|-----------|
| | | 3,6192 | 3,3063 | 0,3129 | 1,1328 | 121,97 | 128,82 | | | 122% | 116% | | |
| | | 3,6032 | 3,2539 | 0,3493 | 1,1336 | 136,07 | | | | 109% | | | |
| | | 3,6175 | 3,2798 | 0,3377 | 1,1341 | 131,48 | | | | 113% | | | |
| | FEO2.3 | 3,5849 | 3,2660 | 0,3189 | 1,1286 | 124,77 | | | | 119% | | | |
| | | 3,5644 | 3,2211 | 0,3433 | 1,1282 | 134,37 | | | | 110% | | | |
| | | 3,5824 | 3,2677 | 0,3147 | 1,1298 | 123,00 | | | | 121% | | | |
| | | 3,5840 | 3,2752 | 0,3088 | 1,1288 | 120,80 | | | | 123% | | | |
| | | 3,5881 | 3,2279 | 0,3602 | 1,1266 | 141,18 | | | | 105% | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

b. Sesudah Aging

| Kompon | No. Sampel | m awal (gr) | m akhir (gr) | Δ mt (gr) | densitas (g/cm ³) | Δ V (mm ³) | Avg Δ V per sampel | Avg Δ V | St dev Δ V | ARI (%) | Avg ARI per sampel | Avg ARI | stdev ARI |
|--------|------------|-------------|--------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|-----------|
| FCO1 | FCO1.1 | 3,6400 | 3,4438 | 0,1962 | 1,1364 | 76,24 | 86,40 | 87,81 | 4,76 | 195% | 174% | 170% | 9% |
| | | 3,6545 | 3,4503 | 0,2042 | 1,1352 | 79,43 | | | | 187% | | | |
| | | 3,6388 | 3,4060 | 0,2328 | 1,1350 | 90,58 | | | | 164% | | | |
| | | 3,6556 | 3,3893 | 0,2663 | 1,1339 | 103,71 | | | | 143% | | | |
| | | 3,6470 | 3,4361 | 0,2109 | 1,1351 | 82,04 | | | | 181% | | | |

| Kompon | No. Sampel | m awal (gr) | m akhir (gr) | Δmt (gr) | densitas (g/cm ³) | ΔV (mm ³) | Avg ΔV per sampel | Avg ΔV | St dev ΔV | ARI (%) | Avg ARI per sampel | Avg ARI | stdev ARI | | | | | | |
|--------|------------|-------------|--------------|----------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|--------|-----------|---------|--------------------|---------|-----------|-------|--|------|------|--|--|
| | FCO1.2 | 3,5887 | 3,3699 | 0,2188 | 1,1328 | 85,29 | 83,92 | | | 174% | 177% | | | | | | | | |
| | | 3,5574 | 3,3408 | 0,2166 | 1,1303 | 84,62 | | | | 175% | | | | | | | | | |
| | | 3,5811 | 3,3812 | 0,1999 | 1,1329 | 77,92 | | | | 190% | | | | | | | | | |
| | | 3,5566 | 3,3434 | 0,2132 | 1,1292 | 83,38 | | | | 178% | | | | | | | | | |
| | | 3,5522 | 3,3249 | 0,2273 | 1,1354 | 88,40 | | | | 168% | | | | | | | | | |
| | FCO1.3 | 3,5333 | 3,2804 | 0,2529 | 1,1368 | 98,24 | | | | 151% | | | | 93,12 | | | 159% | | |
| | | 3,5437 | 3,3048 | 0,2389 | 1,1381 | 92,69 | | | | 160% | | | | | | | | | |
| | | 3,5376 | 3,3039 | 0,2337 | 1,1380 | 90,69 | | | | 164% | | | | | | | | | |
| | | 3,5368 | 3,3021 | 0,2347 | 1,1381 | 91,07 | | | | 163% | | | | | | | | | |
| | | 3,5565 | 3,3175 | 0,2390 | 1,1357 | 92,93 | | | | 160% | | | | | | | | | |
| FCO2 | FCO2.1 | 3,5112 | 3,2525 | 0,2587 | 1,1212 | 101,89 | 109,43 | 113,56 | 14,41 | 146% | 136% | 133% | 15% | | | | | | |
| | | 3,5050 | 3,2279 | 0,2771 | 1,1223 | 109,03 | | | | 136% | | | | | | | | | |
| | | 3,5009 | 3,1890 | 0,3119 | 1,1233 | 122,61 | | | | 121% | | | | | | | | | |
| | | 3,4957 | 3,2445 | 0,2512 | 1,1219 | 98,87 | | | | 150% | | | | | | | | | |
| | | 3,5303 | 3,2383 | 0,2920 | 1,1234 | 114,78 | | | | 129% | | | | | | | | | |
| | FCO2.2 | 3,5180 | 3,2496 | 0,2684 | 1,1247 | 105,38 | | | | 101,66 | | | | | | 141% | 146% | | |
| | | 3,5100 | 3,2464 | 0,2636 | 1,1235 | 103,61 | | | | | | | | | | 143% | | | |
| | | 3,5084 | 3,2468 | 0,2616 | 1,1237 | 102,80 | | | | | | | | | | 144% | | | |
| | | 3,5277 | 3,2666 | 0,2611 | 1,1225 | 102,72 | | | | | | | | | | 144% | | | |

| Kompon | No. Sampel | m awal (gr) | m akhir (gr) | Δmt (gr) | densitas (g/cm ³) | ΔV (mm ³) | Avg ΔV per sampel | Avg ΔV | St dev ΔV | ARI (%) | Avg ARI per sampel | Avg ARI | stdev ARI |
|--------|------------|-------------|--------------|----------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|--------|-----------|---------|--------------------|---------|-----------|
| | FCO2.3 | 3,5199 | 3,2812 | 0,2387 | 1,1234 | 93,82 | 129,58 | | | 158% | 116% | | |
| | | 3,5318 | 3,2525 | 0,2793 | 1,1249 | 109,64 | | | | 135% | | | |
| | | 3,5214 | 3,2122 | 0,3092 | 1,1235 | 121,53 | | | | 122% | | | |
| | | 3,5890 | 3,1994 | 0,3896 | 1,1235 | 153,13 | | | | 97% | | | |
| | | 3,5402 | 3,1981 | 0,3421 | 1,1238 | 134,43 | | | | 110% | | | |
| | | 3,4890 | 3,1604 | 0,3286 | 1,1234 | 129,16 | | | | 115% | | | |
| FEO1 | FEO1.1 | 3,5227 | 3,2142 | 0,3085 | 1,1455 | 118,93 | 121,21 | 118,50 | 2,40 | 125% | 123% | 125% | 2% |
| | | 3,5447 | 3,2228 | 0,3219 | 1,1449 | 124,16 | | | | 119% | | | |
| | | 3,5249 | 3,2067 | 0,3182 | 1,1442 | 122,81 | | | | 121% | | | |
| | | 3,5343 | 3,2012 | 0,3331 | 1,1448 | 128,48 | | | | 115% | | | |
| | | 3,5190 | 3,2297 | 0,2893 | 1,1438 | 111,69 | | | | 133% | | | |
| | FEO1.2 | 3,6173 | 3,3113 | 0,3060 | 1,1521 | 117,29 | 116,66 | | | 126% | | | |
| | | 3,6101 | 3,3051 | 0,3050 | 1,1473 | 117,40 | | | | 126% | | | |
| | | 3,6027 | 3,2967 | 0,3060 | 1,1508 | 117,42 | | | | 126% | | | |
| | | 3,6100 | 3,3110 | 0,2990 | 1,1493 | 114,88 | | | | 129% | | | |
| | FEO1.3 | 3,5824 | 3,2794 | 0,3030 | 1,1502 | 116,33 | 117,64 | | | 128% | | | |
| | | 3,6154 | 3,3119 | 0,3035 | 1,1343 | 118,15 | | | | 126% | | | |
| | | 3,6285 | 3,3406 | 0,2879 | 1,1357 | 111,94 | | | | 133% | | | |
| | | 3,6350 | 3,3373 | 0,2977 | 1,1358 | 115,74 | | | | 128% | | | |

| Kompon | No. Sampel | m awal (gr) | m akhir (gr) | Δm (gr) | densitas (g/cm ³) | ΔV (mm ³) | Avg ΔV per sampel | Avg ΔV | St dev ΔV | ARI (%) | Avg ARI per sampel | Avg ARI | stdev ARI |
|--------|------------|-------------|--------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------|---------|--------------------|---------|-----------|
| | | 3,6024 | 3,2909 | 0,3115 | 1,1358 | 121,10 | | | | 123% | | | |
| | | 3,6135 | 3,3029 | 0,3106 | 1,1312 | 121,25 | | | | 122% | | | |
| FEO2 | FEO2.1 | 3,5583 | 3,1529 | 0,4054 | 1,1306 | 158,34 | 154,53 | 147,17 | 6,39 | 94% | 96% | 101% | 4% |
| | | 3,5963 | 3,2070 | 0,3893 | 1,1300 | 152,13 | | | | 98% | | | |
| | | 3,5881 | 3,1556 | 0,4325 | 1,1287 | 169,21 | | | | 88% | | | |
| | | 3,5957 | 3,2201 | 0,3756 | 1,1284 | 146,99 | | | | 101% | | | |
| | | 3,5811 | 3,2090 | 0,3721 | 1,1254 | 146,00 | | | | 102% | | | |
| | FEO2.2 | 3,5988 | 3,2583 | 0,3405 | 1,1308 | 132,97 | 143,01 | | | 112% | 104% | | |
| | | 3,6150 | 3,2913 | 0,3237 | 1,1320 | 126,28 | | | | 117% | | | |
| | | 3,5954 | 3,2040 | 0,3914 | 1,1315 | 152,75 | | | | 97% | | | |
| | | 3,6103 | 3,2241 | 0,3862 | 1,1308 | 150,81 | | | | 98% | | | |
| | | 3,5652 | 3,1748 | 0,3904 | 1,1324 | 152,24 | | | | 97% | | | |
| | FEO2.3 | 3,5543 | 3,2063 | 0,3480 | 1,1265 | 136,42 | 143,97 | | | 109% | 103% | | |
| | | 3,5607 | 3,2024 | 0,3583 | 1,1248 | 140,67 | | | | 105% | | | |
| | | 3,5325 | 3,1688 | 0,3637 | 1,1241 | 142,87 | | | | 104% | | | |
| | | 3,5602 | 3,1792 | 0,3810 | 1,1255 | 149,48 | | | | 99% | | | |
| | | 3,5315 | 3,1476 | 0,3839 | 1,1269 | 150,44 | | | | 99% | | | |

Tabel 5. Hasil Uji Kekerasan

| Kompon | No. Sampel | <i>hardness shore A</i> sebelum <i>aging</i> | Avg ΔV per sampel | Avg ΔV | St dev ΔV | <i>hardness shore A</i> sesudah <i>aging</i> | Avg ΔV per sampel | Avg ΔV | St dev ΔV |
|--------|------------|--|---------------------------|----------------|-------------------|--|---------------------------|----------------|-------------------|
| FCO1 | 1 | 65,00 | 64,60 | 64,20 | 1,25 | 58,00 | 60,40 | 60,90 | 1,23 |
| | | 64,00 | | | | 61,00 | | | |
| | | 62,00 | | | | 61,00 | | | |
| | | 67,00 | | | | 60,00 | | | |
| | | 65,00 | | | | 62,00 | | | |
| | 2 | 64,00 | 64,20 | | | 58,00 | 60,00 | | |
| | | 65,00 | | | | 62,00 | | | |
| | | 63,00 | | | | 62,5 | | | |
| | | 64,00 | | | | 61,5 | | | |
| | | 65,00 | | | | 62,5 | | | |
| | 3 | 63,00 | 63,80 | | | 60,00 | 62,30 | | |
| | | 63,00 | | | | 63,00 | | | |
| | | 63,50 | | | | 62,50 | | | |
| | | 65,50 | | | | 63,00 | | | |
| | | 64,00 | | | | 63,00 | | | |
| FCO2 | 1 | 60,00 | 59,00 | 59,10 | 1,40 | 55,50 | 56,30 | 50,73 | 6,36 |
| | | 58,50 | | | | 56,50 | | | |
| | | 58,00 | | | | 56,50 | | | |
| | | 60,00 | | | | 56,50 | | | |
| | | 58,50 | | | | 56,50 | | | |
| | 2 | 60,00 | 60,60 | | | 54,00 | 52,10 | | |
| | | 61,00 | | | | 51,00 | | | |
| | | 61,50 | | | | 50,00 | | | |
| | | 60,00 | | | | 53,00 | | | |
| | | 60,50 | | | | 52,50 | | | |
| | 3 | 57,00 | 57,70 | | | 44,50 | 43,80 | | |
| | | 57,50 | | | | 43,00 | | | |
| | | 58,00 | | | | 43,50 | | | |
| | | 57,50 | | | | 44,00 | | | |
| | | 58,50 | | | | 44,00 | | | |
| FEO1 | 1 | 62,50 | 62,60 | 62,43 | 1,51 | 46,00 | 45,90 | 47,37 | 7,11 |
| | | 61,50 | | | | 47,00 | | | |
| | | 63,50 | | | | 45,50 | | | |

| Kompon | No. Sampel | <i>hardness shore A</i> sebelum <i>aging</i> | Avg ΔV per sampel | Avg ΔV | St dev ΔV | <i>hardness shore A</i> sesudah <i>aging</i> | Avg ΔV per sampel | Avg ΔV | St dev ΔV | |
|--------|------------|--|---------------------------|----------------|-------------------|--|---------------------------|----------------|-------------------|-------|
| | | 62,00 | | | | 46,00 | | | | |
| | | 63,50 | | | | 45,00 | | | | |
| | 2 | 64,00 | 64,00 | | | 56,00 | 55,10 | | | |
| | | 63,50 | | | | 54,00 | | | | |
| | | 64,00 | | | | 53,00 | | | | |
| | | 64,50 | | | | 55,00 | | | | |
| | | 64,00 | | | | 57,50 | | | | |
| | 3 | 61,00 | 60,70 | | | 41,00 | 41,10 | | | |
| | | 60,00 | | | | 41,50 | | | | |
| | | 61,00 | | | | 40,50 | | | | |
| | | 60,50 | | | | 41,00 | | | | |
| | | 61,00 | | | | 41,50 | | | | |
| | FEO2 | 1 | 56,00 | | | 56,30 | 41,50 | | | 41,90 |
| | | | 56,50 | | | | 42,00 | | | |
| | | | 56,50 | | | | 41,50 | | | |
| 55,50 | | | 42,00 | | | | | | | |
| 57,00 | | | 42,50 | | | | | | | |
| 2 | | 57,00 | 57,80 | 40,50 | 40,40 | | | | | |
| | | 57,50 | | 40,50 | | | | | | |
| | | 58,50 | | 41,50 | | | | | | |
| | | 58,00 | | 39,50 | | | | | | |
| | | 58,00 | | 40,00 | | | | | | |
| 3 | | 58,50 | 58,40 | 43,00 | 42,80 | | | | | |
| | | 58,00 | | 43,00 | | | | | | |
| | | 58,50 | | 43,50 | | | | | | |
| | | 59,00 | | 42,50 | | | | | | |
| | | 58,00 | | 42,00 | | | | | | |

Tabel 6. Hasil Uji Pantul
a. Sebelum Aging

| Kompon | Sampel | I | II | III | Rebound | Avg Rebound | Rebound Resilience | Stdev Rebound |
|---------------|---------------|----------|-----------|------------|----------------|--------------------|---------------------------|----------------------|
| FCO1 | 1 | 49,30 | 48,50 | 48,50 | 48,77 | 49,31 | 49,52 | 0,22 |
| | | 51,00 | 48,00 | 49,60 | 49,53 | | | |
| | | 49,10 | 51,80 | 48,00 | 49,63 | | | |
| | 2 | 48,80 | 50,10 | 50,10 | 49,67 | 49,49 | | |
| | | 47,40 | 47,40 | 51,80 | 48,87 | | | |
| | | 50,40 | 48,20 | 51,20 | 49,93 | | | |
| | 3 | 48,50 | 49,10 | 50,10 | 49,23 | 49,76 | | |
| | | 48,80 | 48,50 | 52,60 | 49,97 | | | |
| | | 49,60 | 49,60 | 51,00 | 50,07 | | | |
| FCO2 | 1 | 49,10 | 52,90 | 49,60 | 50,53 | 51,21 | 52,00 | 1,75 |
| | | 49,30 | 51,80 | 52,30 | 51,13 | | | |
| | | 51,80 | 51,80 | 52,30 | 51,97 | | | |
| | 2 | 53,20 | 56,00 | 56,20 | 55,13 | 54,00 | | |
| | | 55,40 | 52,30 | 53,20 | 53,63 | | | |
| | | 53,40 | 52,90 | 53,40 | 53,23 | | | |
| | 3 | 52,30 | 49,10 | 53,20 | 51,53 | 50,78 | | |
| | | 52,30 | 48,80 | 51,50 | 50,87 | | | |
| | | 51,20 | 49,30 | 49,30 | 49,93 | | | |
| FEO1 | 1 | 44,80 | 45,10 | 43,80 | 44,57 | 45,00 | 46,55 | 4,00 |
| | | 46,10 | 46,90 | 45,30 | 46,10 | | | |
| | | 43,20 | 46,60 | 43,20 | 44,33 | | | |
| | 2 | 44,00 | 44,30 | 42,20 | 43,50 | 43,56 | | |
| | | 43,00 | 44,80 | 44,50 | 44,10 | | | |
| | | 42,70 | 44,80 | 41,70 | 43,07 | | | |
| | 3 | 52,30 | 52,30 | 53,60 | 52,73 | 51,10 | | |
| | | 49,10 | 52,30 | 50,70 | 50,70 | | | |
| | | 48,50 | 52,30 | 48,80 | 49,87 | | | |
| FEO2 | 1 | 46,40 | 47,70 | 45,80 | 46,63 | 46,58 | 47,88 | 1,32 |
| | | 45,80 | 43,80 | 45,80 | 45,13 | | | |
| | | 48,20 | 49,60 | 46,10 | 47,97 | | | |
| | 2 | 47,70 | 45,60 | 49,10 | 47,47 | 47,83 | | |
| | | 48,50 | 45,80 | 49,30 | 47,87 | | | |
| | | 47,20 | 48,20 | 49,10 | 48,17 | | | |
| | 3 | 48,50 | 49,90 | 48,50 | 48,97 | 49,22 | | |
| | | 50,10 | 49,10 | 49,90 | 49,70 | | | |
| | | 49,90 | 48,00 | 49,10 | 49,00 | | | |

b. Sesudah Aging

| Kompon | Sampel | I | II | III | Rebound | Avg Rebound | Rebound Resilience | Stdev Rebound |
|---------------|---------------|----------|-----------|------------|----------------|--------------------|---------------------------|----------------------|
| FCO1 | 1 | 52,90 | 57,90 | 55,10 | 55,30 | 54,56 | 53,82 | 0,68 |
| | | 53,40 | 56,00 | 53,70 | 54,37 | | | |
| | | 52,30 | 53,70 | 56,00 | 54,00 | | | |
| | 2 | 52,90 | 51,80 | 52,30 | 52,33 | 53,22 | 53,69 | 0,68 |
| | | 54,80 | 55,40 | 53,70 | 54,63 | | | |
| | | 54,00 | 51,80 | 52,30 | 52,70 | | | |
| | 3 | 54,30 | 54,30 | 51,80 | 53,47 | 53,69 | 53,69 | 0,68 |
| | | 53,40 | 51,80 | 53,70 | 52,97 | | | |
| | | 54,80 | 52,90 | 56,20 | 54,63 | | | |
| FCO2 | 1 | 53,40 | 54,30 | 55,40 | 54,37 | 53,96 | 54,69 | 0,80 |
| | | 53,70 | 54,80 | 54,30 | 54,27 | | | |
| | | 53,20 | 52,10 | 54,40 | 53,23 | | | |
| | 2 | 53,20 | 55,70 | 54,60 | 54,50 | 55,54 | 54,57 | 0,80 |
| | | 55,70 | 56,20 | 54,60 | 55,50 | | | |
| | | 54,60 | 57,10 | 58,20 | 56,63 | | | |
| | 3 | 54,00 | 56,20 | 52,60 | 54,27 | 54,57 | 54,57 | 0,80 |
| | | 52,90 | 54,30 | 54,00 | 53,73 | | | |
| | | 56,00 | 55,70 | 55,40 | 55,70 | | | |
| FEO1 | 1 | 45,60 | 48,00 | 48,50 | 47,37 | 49,03 | 49,01 | 3,92 |
| | | 50,10 | 47,20 | 50,40 | 49,23 | | | |
| | | 50,40 | 51,00 | 50,10 | 50,50 | | | |
| | 2 | 43,00 | 43,00 | 46,40 | 44,13 | 45,08 | 52,92 | 3,92 |
| | | 46,40 | 46,90 | 46,10 | 46,47 | | | |
| | | 45,10 | 43,20 | 45,60 | 44,63 | | | |
| | | 56,50 | 55,40 | 53,40 | 55,10 | 52,92 | 52,92 | 3,92 |
| | | 51,50 | 53,40 | 51,00 | 51,97 | | | |
| | | 51,20 | 52,10 | 51,80 | 51,70 | | | |
| FEO2 | 1 | 50,10 | 51,80 | 48,50 | 50,13 | 49,62 | 49,71 | 0,33 |
| | | 48,80 | 49,60 | 51,00 | 49,80 | | | |
| | | 48,50 | 48,20 | 50,10 | 48,93 | | | |
| | 2 | 48,00 | 50,10 | 47,70 | 48,60 | 49,44 | 50,08 | 0,33 |
| | | 50,10 | 48,00 | 52,30 | 50,13 | | | |
| | | 51,20 | 49,60 | 48,00 | 49,60 | | | |
| | 3 | 49,30 | 49,30 | 48,80 | 49,13 | 50,08 | 50,08 | 0,33 |
| | | 48,50 | 49,90 | 48,20 | 48,87 | | | |
| | | 53,40 | 53,70 | 49,60 | 52,23 | | | |

Tabel 7. Hasil Uji Pampatan Tetap

a. Sebelum Aging

| Kompon | No. Sampel | Tebal awal (To) (mm) | | | Rata-rata (To) (mm) | Tebal spacer (Tn) (mm) | Tebal akhir (Ti) (mm) | | | Rata-rata Ti (mm) | Compression Set C (%) | Compression set (%) per sampel | AVG Compression set (%) | STDEV per sampel | STDEV |
|--------|------------|----------------------|-------|-------|---------------------|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|-------|
| | | I | II | III | | | I | II | III | | | | | | |
| FCO1 | 1 | 14,32 | 14,16 | 14,14 | 14,21 | 9,5 | 13,66 | 13,40 | 13,60 | 13,55 | 13,88 | 12,31 | 14,57 | 1,39 | 1,96 |
| | | 14,20 | 14,15 | 14,27 | 14,21 | 9,5 | 13,73 | 13,80 | 13,50 | 13,68 | 11,26 | | | | |
| | | 14,12 | 14,09 | 14,12 | 14,11 | 9,5 | 13,72 | 13,48 | 13,50 | 13,57 | 11,79 | | | | |
| | 2 | 13,86 | 13,77 | 13,77 | 13,80 | 9,5 | 13,05 | 12,92 | 13,10 | 13,02 | 18,06 | 15,68 | 3,10 | | |
| | | 14,15 | 13,72 | 13,67 | 13,85 | 9,5 | 13,28 | 13,02 | 13,05 | 13,12 | 16,79 | | | | |
| | | 13,79 | 13,73 | 13,71 | 13,74 | 9,5 | 13,64 | 12,98 | 13,06 | 13,23 | 12,18 | | | | |
| | 3 | 14,11 | 14,08 | 14,18 | 14,12 | 9,5 | 13,93 | 13,26 | 13,29 | 13,49 | 13,63 | 15,73 | 3,24 | | |
| | | 14,10 | 13,99 | 14,03 | 14,04 | 9,5 | 13,55 | 13,34 | 13,31 | 13,40 | 14,10 | | | | |
| | | 14,65 | 14,16 | 14,34 | 14,38 | 9,5 | 13,45 | 13,33 | 13,52 | 13,43 | 19,45 | | | | |
| FCO2 | 1 | 14,26 | 14,56 | 14,64 | 14,49 | 9,5 | 13,57 | 13,57 | 13,54 | 13,56 | 18,58 | 17,15 | 14,88 | 1,25 | 2,03 |
| | | 14,80 | 14,47 | 14,23 | 14,50 | 9,5 | 13,55 | 14,09 | 13,37 | 13,67 | 16,60 | | | | |
| | | 14,87 | 14,31 | 14,20 | 14,46 | 9,5 | 13,65 | 13,63 | 13,68 | 13,65 | 16,26 | | | | |
| | 2 | 14,02 | 13,96 | 13,90 | 13,96 | 9,5 | 13,48 | 13,32 | 13,36 | 13,39 | 12,86 | 13,25 | 0,36 | | |
| | | 13,92 | 14,04 | 13,96 | 13,97 | 9,5 | 13,34 | 13,37 | 13,42 | 13,38 | 13,34 | | | | |
| | | 13,92 | 13,98 | 13,95 | 13,95 | 9,5 | 13,31 | 13,30 | 13,43 | 13,35 | 13,56 | | | | |
| | 3 | 13,54 | 13,57 | 13,50 | 13,54 | 9,5 | 13,04 | 12,95 | 12,96 | 12,98 | 13,71 | 14,24 | 0,47 | | |
| | | 13,57 | 13,60 | 13,53 | 13,57 | 9,5 | 12,99 | 12,96 | 12,98 | 12,98 | 14,51 | | | | |
| | | 13,58 | 13,58 | 13,60 | 13,59 | 9,5 | 13,01 | 12,94 | 13,03 | 12,99 | 14,52 | | | | |
| FEO1 | 1 | 13,50 | 13,55 | 13,51 | 13,52 | 9,5 | 12,80 | 12,87 | 12,78 | 12,82 | 17,50 | 18,01 | 17,87 | 0,64 | 2,87 |
| | | 13,49 | 13,59 | 13,56 | 13,55 | 9,5 | 12,70 | 12,86 | 12,92 | 12,83 | 17,79 | | | | |

| Kompon | No. Sampel | Tebal awal (To) (mm) | | | Rata-rata (To) (mm) | Tebal spacer (Tn) (mm) | Tebal akhir (Ti) (mm) | | | Rata-rata Ti (mm) | Compression Set C (%) | Compression set (%) per sampel | AVG Compression set (%) | STDEV per sampel | STDEV | |
|--------|------------|----------------------|-------|-------|---------------------|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|-------|------|
| | | I | II | III | | | I | II | III | | | | | | | |
| FEO2 | 2 | 13,62 | 13,66 | 13,50 | 13,59 | 9,5 | 12,84 | 12,80 | 12,84 | 12,83 | 18,73 | 20,66 | 16,88 | 0,68 | 0,40 | |
| | | 13,85 | 13,85 | 13,90 | 13,87 | 9,5 | 12,99 | 12,90 | 13,00 | 12,96 | 20,69 | | | | | |
| | | 13,83 | 13,85 | 13,84 | 13,84 | 9,5 | 12,98 | 12,91 | 13,03 | 12,97 | 19,97 | | | | | |
| | | 13,96 | 13,90 | 13,91 | 13,92 | 9,5 | 13,01 | 12,93 | 13,00 | 12,98 | 21,33 | | | | | |
| | 3 | 13,43 | 13,45 | 13,42 | 13,43 | 9,5 | 12,85 | 12,81 | 12,83 | 12,83 | 15,34 | 14,93 | 16,88 | 0,36 | 0,40 | |
| | | 13,45 | 13,54 | 13,49 | 13,49 | 9,5 | 12,92 | 12,91 | 12,88 | 12,90 | 14,77 | | | | | |
| | | 13,44 | 13,47 | 13,44 | 13,45 | 9,5 | 12,84 | 12,88 | 12,89 | 12,87 | 14,68 | | | | | |
| | FEO2 | 1 | 13,64 | 13,68 | 13,60 | 13,64 | 9,5 | 12,87 | 12,88 | 12,99 | 12,91 | 17,55 | 17,26 | 16,88 | 0,27 | 0,40 |
| | | | 13,68 | 13,67 | 13,69 | 13,68 | 9,5 | 12,94 | 12,93 | 13,01 | 12,96 | 17,22 | | | | |
| 13,65 | | | 13,69 | 13,68 | 13,67 | 9,5 | 12,91 | 12,95 | 13,03 | 12,96 | 17,01 | | | | | |
| 2 | | 13,58 | 13,55 | 13,55 | 13,56 | 9,5 | 12,82 | 12,92 | 12,98 | 12,91 | 16,09 | 16,46 | 16,88 | 0,69 | 0,40 | |
| | | 13,54 | 13,58 | 13,55 | 13,56 | 9,5 | 12,80 | 12,88 | 12,89 | 12,86 | 17,26 | | | | | |
| | | 13,58 | 13,55 | 13,47 | 13,53 | 9,5 | 12,89 | 12,88 | 12,89 | 12,89 | 16,03 | | | | | |
| 3 | | 13,62 | 13,66 | 13,66 | 13,65 | 9,5 | 12,93 | 12,96 | 13,04 | 12,98 | 16,16 | 16,93 | 16,88 | 0,67 | 0,40 | |
| | | 13,69 | 13,68 | 13,63 | 13,67 | 9,5 | 12,93 | 12,91 | 12,99 | 12,94 | 17,36 | | | | | |
| | | 13,57 | 13,63 | 13,52 | 13,57 | 9,5 | 12,91 | 12,82 | 12,88 | 12,87 | 17,27 | | | | | |

b. Sesudah Aging

| Kompon | No. Sampel | Tebal awal (To) (mm) | | | Rata-rata (To) (mm) | Tebal spacer (Tn) (mm) | Tebal akhir (Ti) (mm) | | | Rata-rata Ti (mm) | Compression Set C (%) | Compression set (%) per sampel | AVG Compression set (%) | STDEV per sampel | STDEV |
|--------|------------|----------------------|-------|-------|---------------------|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|-------|
| | | I | II | III | | | I | II | III | | | | | | |
| FCO1 | 1 | 13,96 | 14,06 | 14,42 | 14,15 | 9,5 | 13,64 | 13,53 | 13,54 | 13,57 | 12,41 | 12,17 | 12,31 | 1,75 | 3,00 |

| Kompon | No. Sampel | Tebal awal (To) (mm) | | | Rata-rata (To) (mm) | Tebal spacer (Tn) (mm) | Tebal akhir (Ti) (mm) | | | Rata-rata Ti (mm) | Compression Set C (%) | Compression set (%) per sampel | AVG Compression set (%) | STDEV per sampel | STDEV |
|--------|------------|----------------------|-------|-------|---------------------|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|-------|
| | | I | II | III | | | I | II | III | | | | | | |
| FCO2 | 2 | 14,18 | 14,19 | 14,56 | 14,31 | 9,5 | 13,61 | 13,66 | 13,67 | 13,65 | 13,79 | 15,39 | 8,37 | 0,87 | 1,06 |
| | | 13,98 | 13,98 | 14,31 | 14,09 | 9,5 | 13,57 | 13,58 | 13,70 | 13,62 | 10,31 | | | | |
| | | 14,02 | 13,56 | 14,03 | 13,87 | 9,5 | 13,13 | 13,18 | 13,16 | 13,16 | 16,32 | | | | |
| | | 13,71 | 13,60 | 14,20 | 13,84 | 9,5 | 13,14 | 13,19 | 13,20 | 13,18 | 15,22 | | | | |
| | | 13,63 | 14,16 | 13,64 | 13,81 | 9,5 | 13,15 | 13,18 | 13,21 | 13,18 | 14,62 | | | | |
| | | 13,97 | 14,04 | 13,88 | 13,96 | 9,5 | 13,53 | 13,54 | 13,56 | 13,54 | 9,41 | | | | |
| | 3 | 14,00 | 13,95 | 13,92 | 13,96 | 9,5 | 13,53 | 13,59 | 13,60 | 13,57 | 8,60 | 9,39 | 8,37 | 0,77 | 1,06 |
| | | 14,03 | 14,09 | 14,08 | 14,07 | 9,5 | 13,57 | 13,59 | 13,65 | 13,60 | 10,15 | | | | |
| | | 13,99 | 14,07 | 14,04 | 14,03 | 9,5 | 13,63 | 13,66 | 13,74 | 13,68 | 7,87 | | | | |
| | | 14,16 | 14,16 | 14,08 | 14,13 | 9,5 | 13,76 | 13,76 | 13,73 | 13,75 | 8,27 | | | | |
| | | 14,05 | 14,12 | 14,16 | 14,11 | 9,5 | 13,65 | 13,72 | 13,73 | 13,70 | 8,89 | | | | |
| | | 13,95 | 13,92 | 13,84 | 13,90 | 9,5 | 13,47 | 13,56 | 13,62 | 13,55 | 8,02 | | | | |
| FCO2 | 2 | 13,90 | 13,90 | 13,79 | 13,86 | 9,5 | 13,55 | 13,57 | 13,57 | 13,56 | 6,88 | 7,32 | 8,37 | 0,62 | 1,06 |
| | | 13,92 | 13,97 | 13,92 | 13,94 | 9,5 | 13,66 | 13,62 | 13,59 | 13,62 | 7,06 | | | | |
| | | 13,61 | 13,63 | 13,60 | 13,61 | 9,5 | 13,26 | 13,27 | 13,25 | 13,26 | 8,59 | | | | |
| | 3 | 13,52 | 13,56 | 13,55 | 13,54 | 9,5 | 13,15 | 13,16 | 13,17 | 13,16 | 9,48 | 9,44 | 8,37 | 0,84 | 1,06 |
| | | 13,52 | 13,61 | 13,55 | 13,56 | 9,5 | 13,11 | 13,16 | 13,16 | 13,14 | 10,26 | | | | |
| | | 13,45 | 13,59 | 13,50 | 13,51 | 9,5 | 13,02 | 13,10 | 13,03 | 13,05 | 11,54 | | | | |
| FEO1 | 1 | 13,60 | 13,66 | 13,61 | 13,62 | 9,5 | 13,06 | 13,19 | 13,11 | 13,12 | 12,21 | 11,88 | 12,01 | 0,33 | 2,08 |
| | | 13,53 | 13,68 | 13,66 | 13,62 | 9,5 | 13,08 | 13,15 | 13,17 | 13,13 | 11,88 | | | | |
| | | 13,81 | 13,80 | 13,79 | 13,80 | 9,5 | 13,13 | 13,15 | 13,21 | 13,16 | 14,81 | | | | |
| | 2 | 13,90 | 13,90 | 13,94 | 13,91 | 9,5 | 13,23 | 13,26 | 13,29 | 13,26 | 14,80 | 14,15 | 12,01 | 1,13 | 2,08 |
| | | 13,84 | 13,88 | 13,86 | 13,86 | 9,5 | 13,22 | 13,35 | 13,33 | 13,30 | 12,84 | | | | |

| Kompon | No. Sampel | Tebal awal (To) (mm) | | | Rata-rata (To) (mm) | Tebal spacer (Tn) (mm) | Tebal akhir (Ti) (mm) | | | Rata-rata Ti (mm) | Compression Set C (%) | Compression set (%) per sampel | AVG Compression set (%) | STDEV per sampel | STDEV | | | | |
|--------|------------|----------------------|-------|-------|---------------------|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|-------|-------|-------|------|------|
| | | I | II | III | | | I | II | III | | | | | | | | | | |
| FEO2 | 3 | 13,44 | 13,52 | 13,50 | 13,49 | 9,5 | 12,96 | 13,16 | 13,11 | 13,08 | 10,28 | 10,00 | 11,61 | 0,33 | 0,47 | | | | |
| | | 13,40 | 13,43 | 13,40 | 13,41 | 9,5 | 12,99 | 13,05 | 13,06 | 13,03 | 9,63 | | | | | | | | |
| | | 13,44 | 13,55 | 13,50 | 13,50 | 9,5 | 13,07 | 13,15 | 13,06 | 13,09 | 10,09 | | | | | | | | |
| | 1 | 13,51 | 13,61 | 13,52 | 13,55 | 9,5 | 13,14 | 13,10 | 13,12 | 13,12 | 10,54 | 11,60 | 11,61 | 1,08 | 0,47 | | | | |
| | | 13,61 | 13,65 | 13,63 | 13,63 | 9,5 | 13,09 | 13,17 | 13,2 | 13,15 | 11,54 | | | | | | | | |
| | | 13,64 | 13,62 | 13,52 | 13,59 | 9,5 | 13,12 | 13,09 | 13,01 | 13,07 | 12,70 | | | | | | | | |
| | | 2 | 13,45 | 13,55 | 13,47 | 13,49 | 9,5 | 12,94 | 13,07 | 13,03 | 13,01 | | | | | 11,95 | 11,14 | 1,29 | 0,19 |
| | | | 13,48 | 13,42 | 13,42 | 13,44 | 9,5 | 12,97 | 13,17 | 13,04 | 13,06 | | | | | 9,64 | | | |
| | | | 13,51 | 13,50 | 13,50 | 13,50 | 9,5 | 13,03 | 13,03 | 13,03 | 13,03 | | | | | 11,82 | | | |
| | 3 | 13,59 | 13,55 | 13,55 | 13,56 | 9,5 | 13,01 | 13,11 | 13,07 | 13,06 | 12,31 | 12,08 | 0,19 | 0,19 | | | | | |
| | | 13,64 | 13,61 | 13,61 | 13,62 | 9,5 | 13,18 | 13,12 | 13,08 | 13,13 | 11,97 | | | | | | | | |
| | | 13,54 | 13,62 | 13,62 | 13,59 | 9,5 | 13,05 | 13,10 | 13,16 | 13,10 | 11,97 | | | | | | | | |