

TUGAS AKHIR

**PENGARUH KONSENTRASI SULFUR TERHADAP
KEKERASAN VULKANISAT SOL LUAR
DI PT RUBBER PAN JAVA
BREBES – JAWA TENGAH**



**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA**

2022

TUGAS AKHIR

**PENGARUH KONSENTRASI SULFUR TERHADAP
KEKERASAN VULKANISAT SOL LUAR
DI PT RUBBER PAN JAVA
BREBES – JAWA TENGAH**



**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA**

2022

PENGESAHAN

PENGARUH KONSENTRASI SULFUR TERHADAP KEKERASAN VULKANISAT SOL LUAR DI PT RUBBER PAN JAVA BREBES – JAWA TENGAH

Disusun Oleh :

KHAERANI SHOLIHAH
NIM. 1963044

Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik

Pembimbing

Ir. Supomo, M.Sc.
NIP. 19580311 197812 1 001

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir dan dinyatakan memenuhi salah satu syarat yang diperlukan untuk mendapatkan Derajat Ahli Madya Diploma III (D3) Politeknik ATK Yogyakarta
Tanggal: 29 Juli 2022

TIM PENGUJI
Ketua

Dr. Eng. RB Seno Wulung, ST., MT
NIP. 19800113 200312 1 001
Anggota

Ir. Supomo, M.Sc.
NIP. 19580311 197812 1 001

Diana Ross Arief, S.Pd., MA
NIP. 19861231 201402 2 001

Yogyakarta, 29 Juli 2022
Direktur Politeknik ATK Yogyakarta

Dr. Sugiono, S.Sn., M.Sn.
NIP. 19650101 199403 1 008

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Konsentrasi Sulfur Terhadap Kekerasan Vulkanisat Sol Luar”. Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi program Diploma III (D3) pada Jurusan Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik di Politeknik ATK Yogyakarta.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis mengharapkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Sugiyanto, S.Sn.,M.Sn., selaku Direktur Politeknik ATK Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Ir.RLM. Satrio Ari Wibowo, S.pt. M. P.,IPU., ASEAN Eng., selaku Pembantu Direktur 1 Politeknik ATK Yogyakarta.
3. Bapak Wisnu Pambudi, S.Si.,M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik (TPKP), Politeknik ATK Yogyakarta.
4. Bapak Ir. Supomo, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang sudah membimbing dan mendampingi penulis sampai selesainya Tugas Akhir ini.
5. Pimpinan, *Staff*, dan Karyawan PT. Rubber Pan Java, Brebes yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan magang.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta dapat dijadikan sebagai sumber referensi untuk perkembangan dunia pendidikan dan riset khususnya dibidang pembuatan produk sol luar.

Yogyakarta, 29 Juli 2022

Penulis

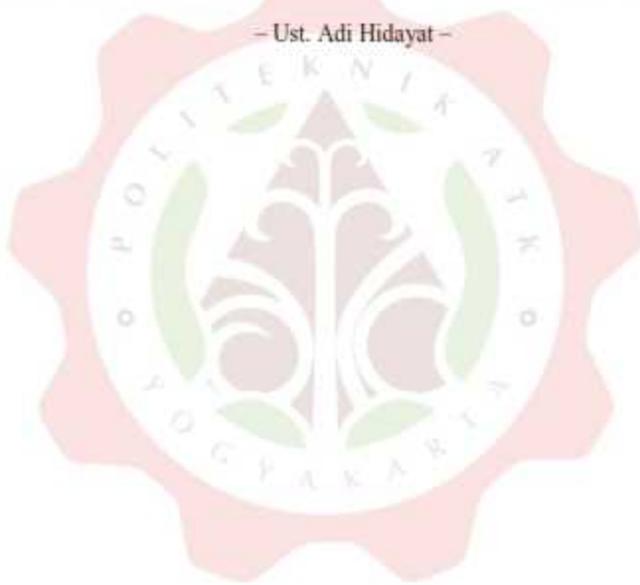


MOTTO

Never forget your dreams and hopes you had since the beginning. Always try your best and become the best. – Kim Hanbin.

“Keluarlah. Nikmati samudera penuh gelombang, rasakan manisnya madu pengorbanan hingga kelak Allah izinkan kita mengecap kenikmatan dalam keabadian dan yakinkan pada jiwa mu Allah tidak akan pernah meninggalkan mu”

– Ust. Adi Hidayat –

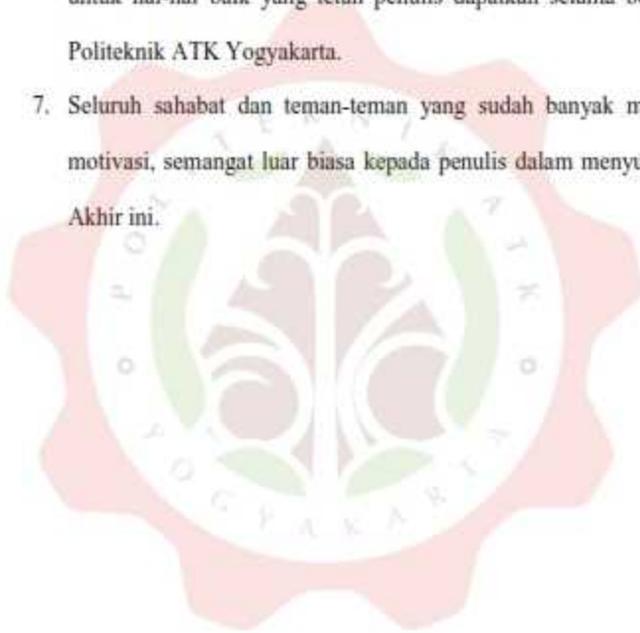


PERSEMBAHAN

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT atas segala Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik. Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga besar penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang, serta dukungan yang begitu berarti terutama selama penulis menempuh pendidikan di Politeknik ATK Yogyakarta.
2. Seluruh dosen dan asisten dosen program studi TPKP Politeknik ATK Yogyakarta atas ilmu-ilmu yang telah diberikan.
3. Bapak Teguh selaku *Deputy Director Manufacturing*, Bapak Taukhid selaku Kepala Tim HRD, Mas Wawan, Mba Intan dan Mas Rizki selaku pembimbing lapangan di tempat magang dan seluruh *staff* PT. Rubber Pan Java, Brebes. Terimakasih kasih telah memberikan banyak ilmu, wejangan, motivasi, pengalaman baru, wawasan baru, saran, semangat, inspirasi dan kesempatan untuk magang di PT. Rubber Pan Java.
4. Seluruh keluarga besar pengurus FORBAS (Forum Bahasa Asing) dan LDK UKKI Al-Fatih Politeknik ATK Yogyakarta. Terimakasih telah memberikan banyak pengalaman, pengetahuan baru, pengalaman berorganisasi, keceriaan baru, relasi baru, rasa kekeluargaan dan hal-hal lain yang bisa penulis peroleh selama berorganisasi.

5. Rekan magang di PT. Rubber Pan Java yaitu Helena dan Shindy yang telah berbagi pengetahuan, pengalaman, semangat, keceriaan, dan berbagai cerita selama masa magang.
6. Seluruh teman-teman seperjuangan TPKP 2019 dan seluruh pihak yang memberikan andil dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Terimakasih untuk hal-hal baik yang telah penulis dapatkan selama berkuliah di Politeknik ATK Yogyakarta.
7. Seluruh sahabat dan teman-teman yang sudah banyak memberikan motivasi, semangat luar biasa kepada penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
INTISARI.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Permasalahan.....	4
C. Tujuan Tugas Akhir	4
D. Manfaat Tugas Akhir	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Sol Luar	6
B. Pembuatan Sol Luar	10
C. Pengujian Sol Luar	22
BAB III MATERI DAN METODE	26
A. Lokasi Pengambilan Data	26
B. Materi Tugas Akhir	26
C. Metode Penyelesaian Masalah	26
D. Diagram Alir Proses Produksi.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
A. Pengaruh konsentrasi sulfur terhadap sifat rheologi kompon	41
B. Pengaruh konsentrasi sulfur terhadap pengujian sifat fisis vulkanisat sol luar	44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
A. Kesimpulan	49
B. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN.....	54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Jenis sol luar rubber.....	7
Gambar 2. Jenis sol luar TPU	8
Gambar 3. Jenis sol luar EVA / <i>Phylon</i>	9
Gambar 4. Jenis sol luar TPR.....	9
Gambar 5. Proses Penyadapan Karet Alam (NR)	13
Gambar 6. Mesin pencampur tertutup bertahap (<i>internal batch mixer</i>).....	18
Gambar 7. Mesin pencampur berkelanjutan (<i>continuous mixer</i>).....	19
Gambar 8. Mesin pencampur giling terbuka (<i>open mill</i>)	19
Gambar 9. Proses pembentukan ikatan silang antara karet dengan sulfur	21
Gambar 10. Skema Pengujian Kekerasan	24
Gambar 11. Skema Pengujian Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>).....	25
Gambar 12. Diagram alir proses percobaan	32
Gambar 13. Mesin pencampur tertutup (<i>kneader mixer</i>)	34
Gambar 14. Bagian pencampur pada mesin <i>kneader</i>	34
Gambar 15. Mesin giling terbuka (<i>open mill</i>).....	35
Gambar 16. Mesin rheometer.....	36
Gambar 17. Mesin cetak tekan panas (CTM)	37
Gambar 18. Cetakan sampel plate tebal dan plate tipis	37
Gambar 19. Alat Durometer.....	38
Gambar 20. Mesin <i>Cutting Dies</i>	39
Gambar 21. Mesin UTM	39
Gambar 22. Hasil uji kekerasan vulkanisat.....	44
Gambar 23. Hasil uji kuat tarik vulkanisat.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rancangan Percobaan	27
Tabel 2. Formula Pembuatan Sol Luar di PT. Rubber Pan Java	40
Tabel 3. Hasil uji rheologi kompon sol luar	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Flow</i> Proses Pembuatan Sol Luar	55
Lampiran 2. Surat Keterangan Magang	57
Lampiran 3. Sertifikat Magang	58
Lampiran 4. Lembar Kerja Harian Magang	59
Lampiran 5. Lembar Konsultasi Tugas Akhir	69
Lampiran 6. Dokumentasi	71

INTISARI

Pada proses pembuatan sol luar di PT Rubber Pan Java ditemukan permasalahan belum maksimalnya nilai kekerasan pada vulkanisat sol luar serta penggunaan bahan pengisi silika yang memiliki harga tinggi. Selain silika, bahan aditif lain yang dapat dilakukan pengembangan dalam meningkatkan kekerasan yaitu sulfur sebagai bahan pemvulkanisasi pembentuk ikatan silang dengan harga yang lebih murah. Oleh sebab itu, tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi sulfur terhadap ikatan silang yang terbentuk serta kekerasan yang dihasilkan pada vulkanisat sol luar sesuai dengan standar perusahaan. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu melakukan lima kali percobaan dengan konsentrasi sulfur yang berbeda yaitu 1,5 phr; 1,8 phr; 2,1 phr; 2,4 phr; dan 2,7 phr. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, didapatkan nilai kekerasan tertinggi yaitu 66 *shore* A dengan konsentrasi sulfur 2,7 phr. Peningkatan penggunaan sulfur mampu merapatkan ikatan silang pada vulkanisat, menurunkan elastisitas dan meningkatkan nilai kekerasan pada vulkanisat sol luar.

Kata kunci : Vulkanisasi, sulfur, ikatan silang, kekerasan.

ABSTRACT

In the process of making the outsole at PT Rubber Pan Java, problems was found that the hardness value of the outsole vulcanization was not maximal and the use of silica filler material which had a high price was found. In addition to silica, other additives that can be developed to increase hardness are sulfur as a crosslinking vulcanizing agent at a lower price. Therefore, the purpose of writing this final project is to determine the effect of sulfur concentration on the crosslinks formed and the resulting hardness of the vulcanized outsole in accordance with company standard. The method used in this study was to conduct five experiments with different sulfur concentrations, namely 1,5 phr; 1,8 phr; 2,1 phr; 2,4 phr; and 2,7 phr. From the results of experiments that have been carried out, the highest hardness value is 66 shore A with a sulfur concentration of 2,7 phr. The use of sulfur can increase crosslinking of the vulcanized, reduce the elasticity and increase the hardness value of the vulcanized outsole.

Keywords: *Vulcanization, sulfur, crosslinking, hardness.*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil karet alam terbesar kedua di dunia, dengan luas areal perkebunan karet sebesar 838.749 Ha pada tahun 2016. Penggunaan karet semakin berkembang, karena karet memiliki sifat perpanjangan putus, kekuatan, dan termal yang baik sehingga menjadikan karet sebagai salah satu bahan produksi yang menguntungkan (Perdana, 2019). Sebagai negara produsen karet alam terbesar, Indonesia memiliki potensi pengendali pasar karet dengan menghasilkan berbagai macam produk karet, salah satunya berupa sol luar sepatu. Sol luar sepatu adalah salah satu bagian bawahan sepatu yang merupakan unsur penentu kualitas sepatu. Kualitas sol luar sebagai komponen bawahan sepatu atau alas kaki sangat ditentukan oleh sifat-sifat fisisnya berupa kekerasan, kuat tarik, tegangan putus, perpanjangan putus, pampatan tetap, bobot jenis, dan ketahanan retak lentur.

Sifat fisis berupa kekerasan dalam sol luar memang perlu diperhatikan, sebab nilai kekerasan akan menjadi pembanding untuk target uji fisis lainnya. Produk sol luar dengan nilai kekerasan yang tinggi atau sesuai dengan standar yang ditetapkan akan lebih awet, tidak cepat rusak serta din abrasi yang dihasilkan akan semakin baik. Begitupun sifat fisis pada kuat tarik, jika nilai kuat tarik yang dihasilkan semakin tinggi, maka kekuatan serta kekenyalan pada

karet semakin baik. Pengujian sifat fisis kekerasan dan kuat tarik sering dilakukan karena kemudahan prosesnya (Rahmawati, 2009).

Salah satu perusahaan di Indonesia yang memproduksi berbagai jenis sol luar sepatu yaitu PT. Rubber Pan Java, Brebes. Dalam memenuhi kebutuhan pelanggan, divisi *Research and Development* terus melakukan pengembangan produk sesuai keinginan dan kebutuhan pelanggan. Salah satunya sol luar sepatu yang memiliki kekerasan 65 *shore A* dan kuat tarik minimal 11 Mpa dengan biaya serendah mungkin, maka perlu disusun formulasi yang sesuai. Dalam penyusunan formulasi terdiri atas satu atau lebih jenis karet dan berbagai macam bahan aditif yang berkaitan, serta konsentrasi *vulcanizing agent* yang digunakan. Pembuatan kompon menggunakan jenis bahan aditif yang memiliki sifat kekerasan yang baik yaitu menggunakan silika sebagai *filler*, namun silika harganya cukup mahal sehingga menjadi kendala dalam efisiensi biaya (Gosh, dkk., 2003).

PT. Rubber Pan Java Brebes telah melakukan percobaan uji kekerasan untuk produk sol luar sepatu dengan nilai kekerasan yang didapat belum secara maksimal memenuhi standar perusahaan. Sehingga kompon tersebut dianggap perusahaan masih belum maksimal karena menggunakan bahan pengisi yang memiliki harga tinggi dan beberapa pengujian belum secara maksimal memenuhi standar yang ditetapkan. Agar perusahaan dapat terus bersaing secara global perlu dilakukan pengembangan vulkanisat sol luar yang memiliki kekerasan yang maksimal serta biaya lebih efisien. Maka dengan adanya kasus ini penulis berupaya untuk membantu pihak perusahaan dalam pengembangan

kompon sol luar dengan melakukan percobaan pengaruh konsentrasi sulfur terhadap kekerasan vulkanisat sol luar dengan standar yang ditetapkan oleh perusahaan.

Sulfur memiliki harga yang lebih ekonomis serta berfungsi saat proses vulkanisasi. Ikatan silang antara molekul karet yang dihubungkan oleh atom-atom sulfur akan membentuk molekul karet yang lebih besar dan kuat serta tahan terhadap degradasi kimia sehingga mampu meningkatkan sifat-sifat elastis dan mekanik karet (Rader, 2006). Vulkanisasi adalah suatu proses kimia yang bersifat *irreversible* dengan menggunakan bahan pemvulkanisasi seperti sulfur, donor sulfur, ataupun peroksida sehingga polimer mengalami reaksi ikatan silang (Tinker, dkk., 2009).

Saat proses vulkanisasi berlangsung, karet akan mengalami perubahan sifat fisika yang beragam tergantung dari laju vulkanisasi. Laju vulkanisasi merupakan waktu yang diperlukan untuk mencapai kematangan optimum yang diukur sejak pertama kali terjadi saat vulkanisasi. Apabila laju vulkanisasi semakin panjang maka karet mengalami peningkatan elastisitas sedangkan laju vulkanisasi semakin pendek maka karet mengalami penurunan sifat termal (Yuniari, dkk., 2016).

B. Permasalahan

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi sulfur terhadap ikatan silang (*crosslinking*) yang terbentuk pada vulkanisat sol luar?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi sulfur terhadap kekerasan vulkanisat sol luar?

C. Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan pemecahan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi sulfur terhadap ikatan silang (*crosslinking*) yang terbentuk pada vulkanisat sol luar.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi sulfur terhadap kekerasan vulkanisat sol luar.

D. Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, diantaranya:

1. Bagi Perusahaan

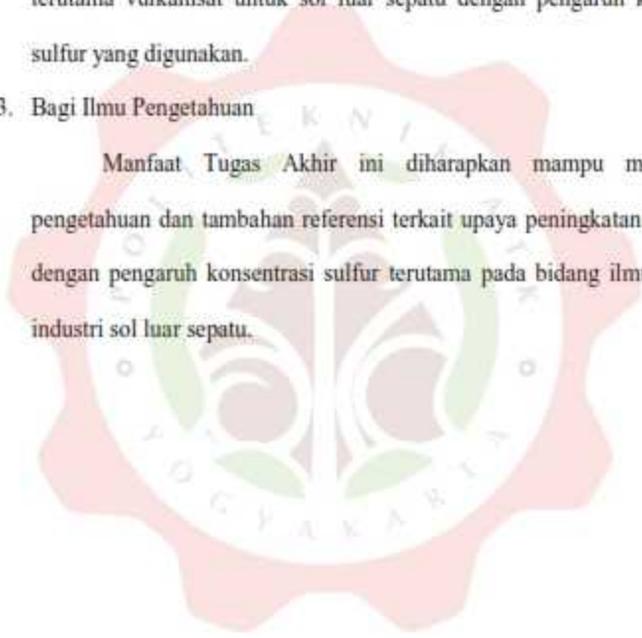
Manfaat dari Tugas Akhir ini diharapkan mampu memberikan saran alternatif dalam upaya meningkatkan kekerasan pada vulkanisat karet untuk sol luar sepatu terutama dengan kekerasan 65 *shore A*.

2. Bagi Civitas Akademik Politeknik ATK Yogyakarta

Hasil Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan pengembangan keilmuan terkait produk jenis sol luar dan mampu memberikan informasi terkait upaya dalam meningkatkan kekerasan pada vulkanisat karet, terutama vulkanisat untuk sol luar sepatu dengan pengaruh konsentrasi sulfur yang digunakan.

3. Bagi Ilmu Pengetahuan

Manfaat Tugas Akhir ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan dan tambahan referensi terkait upaya peningkatan kekerasan dengan pengaruh konsentrasi sulfur terutama pada bidang ilmu produksi industri sol luar sepatu.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sol Luar

Sol luar yang berkualitas baik sangat dibutuhkan oleh industri alas kaki sandal maupun sepatu. Berat atau ringan dan kekuatan sol sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah *filler* yang digunakan dalam kompon karet, sedangkan kepadatan sol ditentukan oleh struktur mikropori, dan juga dipengaruhi oleh jenis dan jumlah *blowing agent* yang digunakan. Jenis polimer sebagai bahan baku sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat karet mikroseluler yang dihasilkan (Indah, 2001).

Sol luar sepatu adalah salah satu bagian bawahan sepatu yang merupakan unsur penentu kualitas sepatu. Kualitas sol karet sebagai komponen bawahan sepatu atau alas kaki yang sangat ditentukan oleh sifat-sifat fisisnya, antara lain: tegangan putus, perpanjangan putus, kekerasan, pampatan tetap, bobot jenis, dan ketahanan retak lentur (Rahmawati, 2009).

Menurut Indah (2001) berdasarkan jenis material dan masing-masing fungsinya sol luar, dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a) *Rubber*

Sol yang terbuat dari bahan karet masih menjadi pilihan sebagai alas kaki yang nyaman dan *modern*. Semakin berkembangnya teknologi dalam pembuatan karet dan bahan sintetis, kualitas sol karet sepatu menjadi semakin sempurna. Sol ini kuat, lentur dan tahan lama karena

terbuat dari karet yang dipanaskan dan dicetak. Biasanya sol ini digunakan sebagai sepatu *safety*, boots, olahraga atau sepatu lainnya yang membutuhkan aktifitas tinggi di lapangan (Suliknyo, 2017).

Kelebihan *rubber sole* yaitu lebih awet karena teksturnya yang kuat dan lentur dibandingkan bahan lainnya. Selain kuat dan lentur sol ini bisa ditambahkan jahitan pada sisi yang melekat dengan kap sepatu. Namun kekurangan sol karet, lebih licin dan lebih berat dari sol lainnya. Sol luar jenis *rubber* tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Jenis sol luar rubber
(Sumber : Suliknyo, 2017)

b) *Thermoplastic Polyurethane* (TPU)

Thermoplastic Polyurethane (TPU) merupakan sol yang lembut, fleksibel dan ringan karena terbuat dari material berbahan plastik polimer (PU) yang dipanaskan. Sol TPU juga memiliki kelebihan anti slip dan tahan terhadap minyak (*oil resistance*). Biasanya sol ini digunakan untuk sepatu lari jarak jauh atau lintas medan. Kekurangan sol TPU terbilang lebih mahal dan mempunyai kadaluwarsa (*expired*), jika sudah kadaluwarsa sol ini akan hancur sendiri. Sol luar jenis TPU tertera pada Gambar 2.



Gambar 2. Jenis sol luar TPU

(Sumber : Indah, 2001)

c) *Ethyl Vinyl Acetate (EVA) / Phylon*

Sol Phylon merupakan pengembangan dari sol EVA yang telah dilumerkan menggunakan pemanas lalu didinginkan menggunakan mesin cetakan sol dengan siraman suhu dingin. Lewat proses ini, EVA yang sudah menjadi Phylon menjadi lebih padat namun tetap bisa memberikan kenyamanan yang dicari. Kebanyakan sepatu basket modern menggunakan sol Phylon. Bahan ini dianggap sebagai yang paling memberikan kenyamanan sekaligus mudah diatur ketebalannya mengikuti kebutuhan pabrikan.

EVA dihasilkan dari PU yang dipadatkan menjadi busa lembut dan dicetak. Sol yang dibuat dari EVA ini biasanya diaplikasikan pada sepatu-sepatu basket, lari, dan olahraga-olahraga umum lainnya yang membutuhkan kenyamanan bagi para penggunanya. Sol luar jenis EVA ini disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Jenis sol luar EVA / *Phylon*

(Sumber : Indah, 2001)

d) TPR (*Thermo Plastic Rubber*)

Sol yang terbuat dari kombinasi plastik dan karet. Biasanya sol ini digunakan untuk model sepatu yang tahan dengan air karena bahannya menggunakan plastik dan karet sehingga sol ini tidak licin. Kelebihan TPR *Outsole* yaitu lebih ringan dan kaset terhadap air namun kekurangannya kurang elastis. Sepatu sol TPr tidak seempuk sol sepatu berbahan EVA dan TPU.

Biasanya sepatu-sepatu sol TPR menambahkan sol dalam (*insole*) yang empuk demi meningkatkan kenyamanan. Penambahan fitur itu pun berdampak pada biaya produksi sehingga mempengaruhi harga jual sepatu di pasaran. Sol luar jenis TPR tertera pada Gambar 4.



Gambar 4. Jenis sol luar TPR

(Sumber : Indah, 2001)

B. Pembuatan Sol Luar

Dalam pembuatan sol luar berbahan dasar karet secara umum tahapan prosesnya terdiri dari tujuh langkah yaitu proses penimbangan bahan, proses pencampuran (*compounding*), proses vulkanisasi, proses pengujian rheologi, proses *pressing* sol luar (pencetakan), proses *trimming* dan proses pengujian laboratorium.

Dalam proses pembuatan barang jadi karet, karet harus ditimbang dan dibuat menjadi kompon terlebih dahulu (*compounding*). Pembuatan dan pembentukan kompon karet merupakan tahap awal dalam produksi barang jadi karet. Pembuatan kompon dilakukan dengan mencampurkan karet dengan bahan kimia di dalam mesin pencampur dengan kondisi panas tertentu untuk melunakkan campuran bahan-bahan baku. Pencampuran dilakukan dengan alat pencampur *Banbury mixer* maupun *Kneader mixer*, karet terlebih dahulu diubah menjadi bahan yang plastis lembut, sehingga bahan-bahan aditif dapat tersebar secara merata dalam fasa karet. Pelembutan karet ini dirujuk sebagai proses mastikasi (Suliknyo, 2017).

Selain karet yang merupakan bahan dasar, bahan yang terlibat pencampuran adalah bahan aditif berupa penambahan bahan anti degradan, bahan pengisi, antioksidan, bahan pelunak, dan bahan kimia lainnya untuk meningkatkan sifat-sifat fisis yang diinginkan pada kompon tersebut dan mempercepat proses pembuatannya. Selanjutnya karet dapat dibuat ikatan silang (vulkanisasi) dengan menggunakan bahan pemvulkanisasi (Tinker, dkk.,

2009). Proses ini dilakukan dengan menggunakan mesin *open mill* (Barlow, 2003). Selanjutnya untuk penentuan waktu vulkanisasi yang optimum dengan menggunakan alat Rheometer atau *Curemeter*. Keluaran *output* dari alat rheometer ini berupa rheograf yang memuat informasi-informasi karakteristik pematangan yang diperlukan untuk pemrosesan kompon karet seperti, torsi maksimum dan minimum, waktu *scorch* (t_{c10}) dan waktu optimum (t_{c90}). Informasi ini dirujuk agar menghasilkan vulkanisat karet dengan sifat-sifat karet yang optimum.

Vulkanisasi dan pencetakan sol luar terdiri dari dua proses yaitu proses pematangan dengan menggunakan mesin cetak bertekanan (*press cure*) yang merupakan proses vulkanisasi sekaligus pembentukan dan pengepresan sol luar menggunakan mesin *press* berukuran besar dengan suhu dan waktu yang telah ditentukan. Vulkanisat karet hasil cetakan sol luar dirapihkan (*trimming*) menggunakan solder ataupun gunting, kemudian dilakukan beberapa pengujian berupa kekerasan, kuat tarik, kuat sobek, perpanjangan putus, ketahanan abrasi dan sebagainya (Pireno, 2013).

Berikut bahan – bahan dasar yang perlu diperhatikan saat proses pencampuran berlangsung, diantaranya:

a) Karet

Karet merupakan polimer yang mempunyai sifat elastis, sehingga dinamakan pula sebagai elastomer. Karet diklasifikasikan atas dua jenis yaitu, karet vulkanisat atau *thermoset rubber* dan *thermoplastic elastomer*.

Thermoplastic elastomer merupakan perpaduan antara *elastomer* dengan *thermoplastic* seperti polipropilen, sedangkan karet vulkanisat tidak terdapat *thermoplastic* didalam campuran *elastomer*.

Untuk produk dari *thermoset rubber* yang dikenal sebagai karet alam atau *natural rubber* (NR), mempunyai struktur molekul *cis-1,4-polyisoprene* dan memiliki kelebihan yaitu tahan terhadap temperatur yang ekstrim, memiliki ketahanan terhadap bahan-bahan kimia, bersifat tahan air, memiliki ketahanan terhadap sinar UV, ketahanan sobek, tegangan putus, ketahanan kikis dan tidak mudah terdegradasi. Proses penyadapan karet alam (NR) disajikan pada Gambar 5.

Sol luar sepatu memerlukan sifat-sifat seperti di atas, sehingga karet alam adalah pilihan sangat tepat sebagai bahan dalam pembuatan sol. Namun demikian, karet alam sesungguhnya memiliki kekurangan terhadap ketahanan cuaca dan minyak yang relatif rendah. Oleh sebab itu berbagai macam bahan aditif ditambahkan untuk memperbaiki sifat fisik tersebut dan meningkatkan nilai komersilnya. Penambahan bahan aditif ke dalam karet dapat menghasilkan produk dengan kualitas baik dan efisien (Budiman, 2002).



Gambar 5. Proses Penyadapan Karet Alam (NR)

(Sumber : Budiman, 2002)

Menurut Hofmann (2005) karet sintetis dapat digunakan untuk berbagai keperluan, bahkan banyak fungsi karet alam yang dapat digantikan oleh karet sintetis. Ada dua macam karet sintetis yang dikenal berdasarkan tujuan pemanfaatannya, yaitu:

- 1). Karet sintetis untuk kegunaan umum
 - a. SBR (*Styrene Butadiene Rubber*), merupakan karet sintetis yang paling banyak diproduksi dan digunakan. SBR memiliki ketahanan kikis yang baik, elastisitas rendah dan panas atau kalor yang timbulkan rendah.
 - b. BR (*Butadiene Rubber*), karet jenis BR lebih lemah dibanding SBR. Karet jenis BR memiliki daya lekat lebih rendah, dan pengolahannya tergolong sulit. Karet jenis BR jarang digunakan tersendiri, biasanya dicampur dengan karet alam atau SBR.
 - c. IR (*Isoprene Rubber*) atau *polyisoprene rubber*. Jenis karet IR memiliki kelebihan yaitu lebih bersih untuk produk yang transparan.

2) Karet sintetis untuk kegunaan khusus

- a. IIR (*Isobutene Isoprene Rubber*). IIR atau biasa disebut *butyl rubber* memiliki ketahanan terhadap pengaruh oksigen dan ozon. Selain itu, IIR terkenal kedap gas.
- b. NBR (*Nitrile Butadiene Rubber*) atau *acrilonytrile butadiene rubber*. Karet jenis NBR memiliki ketahanan terhadap minyak, lemak, dan bensin.
- c. CR (*Chloroprene Rubber*) memiliki ketahanan terhadap minyak tetapi dibandingkan dengan karet jenis NBR ketahanan masih rendah. CR juga memiliki daya tahan terhadap pengaruh oksigen dan ozon di udara, bahkan terhadap panas dan nyala api.
- d. EPDM (*Ethylene Propylene Rubber*) atau biasa disebut EPDM karena tidak hanya menggunakan monomer etilen dan propilen pada proses polimerisasinya melainkan juga monomer ketiga atau EPDM. Keunggulan jenis karet EPDM adalah ketahanannya terhadap sinar matahari, ozon serta pengaruh unsur cuaca yang lebih baik. Sedangkan kelemahannya yaitu daya lekat rendah.

b) Komponen Karet

Sol luar terdiri dari struktur utama berbahan dasar karet dengan tambahan beberapa bahan aditif lain guna meningkatkan sifat-sifat fisisnya. Untuk bahan karet yang telah dicampur dengan bahan aditif namun belum

tervulkanisasi disebut dengan kompon karet. Sebelum proses pembuatan kompon, perlu dilakukan perancangan formulasi dengan memperhatikan beberapa parameter agar permintaan pelanggan terpenuhi. Parameter tersebut berupa sifat kemampuan proses, fisis produk karet, biaya dan K3.

Dalam parameter mengenai kemampuan proses merupakan tingkat kemampuan bahan yang akan dibuat menjadi kompon harus mampu atau mudah diproses dengan menggunakan mesin yang akan digunakan seperti mesin pencampur untuk proses komponding (*kneader mixer* dan/atau *open mill*), mesin pencetakan kompon (mesin *pressing*), dan sebagainya. Sifat fisis produk karet adalah hal yang perlu diperhatikan sebab kompon yang dibuat harus mampu memenuhi spesifikasi yang akan dicapai seperti kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus, ketahanan abrasi, dan sebagainya. Selanjutnya parameter biaya yang merupakan aspek utama dalam menentukan jenis material agar mudah dijangkau, namun dengan kualitas baik dan mampu bersaing di pasar global. Serta K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) aspek penting yang perlu diperhatikan saat pembuatan kompon karet dari awal proses komponding hingga produk jadi (Dick, 2009).

c) Bahan Aditif

Menurut Indah (2001), bahan aditif sangat berperan penting dalam pembuatan kompon karet guna meningkatkan dan memperbaiki sifat-sifat fisis karet sehingga dapat menghasilkan produk karet sesuai dengan target

yang telah ditentukan. Pada tahun 2010 berdasarkan *American Standard Testing and Material* (ASTM) D5899 mengenai standar klasifikasi bahan-bahan komponding karet, terdapat 10 jenis klasifikasi bahan aditif untuk kompon karet yaitu :

- 1) Bahan pengisi (*fillers*) penguat dan tidak berpenguat merupakan bahan pengisi pada kompon karet guna meningkatkan kekerasan.
- 2) Bahan pengembang (*blowing agent*) merupakan bahan kimia yang mendekomposisi suhu kematangan menjadi gas pada kompon menjadi busa dengan struktur seluler.
- 3) Bahan antidegradan berupa antioksidan dan antiozon yang berfungsi untuk melindungi karet dari paparan oksigen, panas, dan ozon.
- 4) Bahan pemicu dan penggiat (*coupling agent*) yang berfungsi untuk membantu mempercepat proses pencampuran karet dengan bahan pengisi.
- 5) Bahan pembantu proses (*processing materials*) atau pemplastis adalah bahan untuk menurunkan viskositas karet sehingga mempermudah proses komponding karet serta memperbaiki sifat fisis kompon dan vulkanisat, meningkatkan plastisitas kompon serta mempercepat proses dispersi dan penyebaran material.

- 6) Bahan pemvulkanisasi (*vulcanizing agent*) merupakan bahan pembentuk ikatan silang pada karet selama proses pematangan.
 - 7) Bahan penggiat (*activator*) merupakan bahan yang digunakan untuk mengaktifkan bahan pemvulkanisasi sehingga fungsinya lebih optimal.
 - 8) Bahan pencepat (*accelerators*) merupakan bahan untuk membantu mempercepat waktu vulkanisasi saat proses pematangan pada karet.
 - 9) Bahan pengharum (*odorants*) merupakan bahan yang berfungsi untuk memberikan aroma pada kompon karet agar membedakan kompon tertentu sehingga mudah diidentifikasi.
 - 10) Bahan pewarna (*colorant*) adalah bahan yang digunakan untuk memberikan warna pada kompon karet.
- d) Proses Komponding

Menurut Dick, J (2009) proses komponding merupakan proses pencampuran karet dengan bahan aditif dengan menggunakan mesin komponding. Proses komponding terbagi menjadi tiga tahap yaitu proses mastikasi, proses pencampuran tahap 1 (*Masterbatch 1*), dan proses pencampuran tahap 2 (*Masterbatch 2*).

Proses mastikasi merupakan proses pelunakan material karet dengan tujuan untuk menurunkan viskositas karet sehingga mudah di masukkan material lain dan digunakan dalam mencapai distribusi yang homogen. Untuk proses pencampuran tahap 1 merupakan proses pemasukkan dan

pencampuran semua bahan aditif karet yang dirancang, kecuali bahan pencepat dan bahan pemvulkanisasi ke dalam karet yang telah dimastikasi. Sedangkan proses pencampuran tahap dua adalah memasukkan serta pencampuran bahan pencepat dan bahan pemvulkanisasi yang telah dirancang untuk dimasukkan ke dalam kompon karet hasil *Masterbatch* sebelumnya.

Berdasarkan aplikasinya mesin komponding atau pencampur karet memiliki tiga jenis mesin yaitu mesin pencampur tertutup bertahap (*internal batch mixer*) tertera pada Gambar 6, mesin pencampur berkelanjutan (*continuous mixer*) tertera pada Gambar 7, dan mesin pencampur giling terbuka (*open mill*) tertera pada Gambar 8. Saat proses komponding berlangsung, hal yang perlu diperhatikan adalah urutan pemasukan bahan, sebab akan berkaitan pada suhu, kecepatan vulkanisasi bahan yang digunakan dan kemudahan dalam proses (Gosh, dkk., 2003).



Gambar 6. Mesin pencampur tertutup bertahap (*internal batch mixer*)

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)



Gambar 7. Mesin pencampur berkelanjutan (*continuous mixer*)

(Sumber : Dick, J., 2009)



Gambar 8. Mesin pencampur giling terbuka (*open mill*)

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)

e) Proses Pemvulkanisasi

Peningkatan kualitas produk karet dapat dilakukan dengan mengkaji beberapa faktor, salah satunya vulkanisasi. Vulkanisasi merupakan suatu proses perubahan sifat karet dari termoplastik menjadi termoset untuk meningkatkan sifat elastis, struktur molekul karet membentuk jaringan tiga dimensi yang disebut ikatan silang (Hofmann, 2005). Vulkanisasi adalah tahapan proses yang paling penting dalam pembuatan kompon karet, dimana pada tahapan ini terjadi reaksi *crosslinking* antara molekul karet dengan bahan pemvulkanisasi. Bahan pemvulkanisasi dapat berupa metode sulfur

(belerang), uretan, resin fenolik, (Coran dan patel, 2001) dan peroksida (Tinker, dkk., 2009).

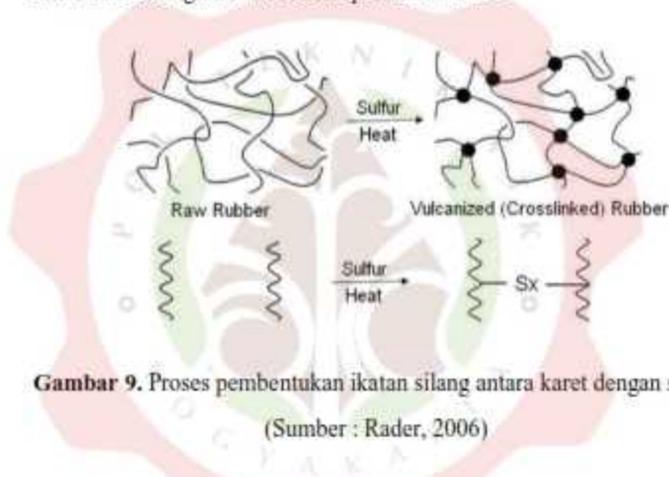
Beberapa kajian menunjukkan bahwa penggunaan kuratif peroksida cenderung mengakibatkan oksidasi dari NR; kuratif uretan menghasilkan fasa *blend* yang kurang stabil, dan kuratif resin fenolik menyebabkan *crosslinking* NR kurang stabil pada saat pemanasan. Sedangkan penggunaan sulfur dapat menghasilkan morfologi fasa yang stabil sehingga sifat mekanik yang dihasilkan vulkanisat lebih baik (Sabet dan Datta, 2000).

Vulkanisasi sangat dipengaruhi oleh waktu dan suhu, apabila waktu maupun suhu yang dipilih tidak sesuai dengan kondisi optimal, maka kualitas kompon karet yang dihasilkan menjadi kurang baik (Gosh, dkk., 2003). Vulkanisasi pada suhu yang tinggi dapat mempercepat waktu vulkanisasi, sehingga dapat menurunkan biaya produksi. Namun, vulkanisasi pada suhu tinggi menyebabkan tidak terkontrolnya reaksi samping sehingga menurunkan kualitas produk. Sedangkan pada suhu rendah menghasilkan kualitas dan kenampakan produk karet alam dan sintesis yang lebih baik dibandingkan suhu tinggi. Namun, membutuhkan waktu vulkanisasi yang lama sehingga meningkatkan biaya produksi (Palaty & Joseph, 2006).

f) Sulfur

Sulfur merupakan salah satu bahan aditif yang digunakan untuk proses pemvulkanisasi. Sulfur berperan sebagai pembentuk ikatan silang

antar rantai molekul karet dalam proses vulkanisasi. Ikatan-ikatan silang yang dihasilkan dalam proses vulkanisasi dipengaruhi oleh waktu, temperatur dan jumlah bahan kimia yang terdapat pada kompon. Penambahan sulfur membentuk molekul karet yang lebih besar dan kuat serta tahan terhadap degradasi kimia mampu meningkatkan sifat-sifat elastis dan mekanik karet (Rader, 2006). Untuk proses pembentukan ikatan silang antara karet dengan sulfur tertera pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses pembentukan ikatan silang antara karet dengan sulfur
(Sumber : Rader, 2006)

Sistem vulkanisasi belerang merupakan sistem vulkanisasi yang umumnya digunakan pada pembuatan barang jadi karet. Terdapat tiga sistem vulkanisasi belerang yaitu: sistem konvensional (CV), sistem efisien (EV), dan sistem semi efisien (SEV), ketiganya dibedakan berdasarkan perbandingan konsentrasi belerang dengan pencepat. Komposisi tersebut menghasilkan komposisi ikatan silang jenis monosulfida, disulfida, dan polisulfida yang berbeda, sehingga menghasilkan sifat mekanis dan dinamis produk karet yang berbeda pula (Gonzalez, dkk., 2002).

Menurut Rahmiani (2016) pembentukan ikatan silang pada kompon karet dapat meningkatkan elastisitas dan menurunkan plastisitas yang menunjukkan bahwa sulfur dapat membantu proses vulkanisasi sehingga berjalan dengan baik. Semakin banyak *crosslinking* yang terbentuk, vulkanisat yang dihasilkan akan semakin baik (Cipriadi dan Falaah, 2013). Karet alam dan sintetis memiliki karakteristik sistem vulkanisasi yang berbeda. Dibandingkan dengan karet alam, karet sintetis divulkanisasi menggunakan bahan pencepat yang lebih banyak dibanding sulfur untuk menghasilkan kualitas vulkanisat yang baik (Palaty & Joseph, 2006).

C. Pengujian Sol Luar

Dalam pembuatan sol luar perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kualitas sol luar tersebut. Pengujian selama pemrosesan pada vulkanisat karet meliputi pengujian rheologi, nilai viskositas, dan tingkat kematangan. Untuk pengujian pada vulkanisat karet meliputi uji kekerasan, kuat tarik, kuat sobek, ketahanan abrasi, dan uji modulus. Pengujian dilakukan berdasarkan standar yang ditetapkan oleh SNI 12-0172-2005 tentang uji kompon sol sepatu ataupun ISO (*International Organization for Standardization*) 527-2 type 5A tentang uji kuat tarik pada vulkanisat karet (Basseri, 2005).

a) Uji Kekerasan (*Hardness*)

Pengujian kekerasan dilakukan bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kekerasan vulkanisat karet. Uji kekerasan umumnya

menggunakan alat *Durometer shore A*. *Durometer type A* digunakan untuk mengukur kekerasan vulkanisat 30-90. Biasanya digunakan untuk skala lunak elastomer (karet) dan polimer lunak lainnya. Pengujian kekerasan atau *hardness* merupakan ukuran resistensi bahan terhadap deformasi plastis lokal, dimana semakin kaku dan keras vulkanisat maka kekerasan *shore A* semakin tinggi (semakin tidak elastis). Kekerasan *shore* adalah ukuran dari ketahanan suatu material terhadap tekan dari jarum (*indentor* jarum). Nilai kekerasan dipengaruhi oleh banyaknya ikatan silang yang terbentuk serta jenis dan jumlah bahan pengisi yang ditambahkan (Daud, D. dan Rahmani, 2017). Untuk skema pengujian kekerasan disajikan pada Gambar 10.

Pada penelitian Prasetya (2012) bahwa ukuran partikel *filler* sebagai bahan pengisi dan waktu vulkanisasi berpengaruh nyata terhadap sifat fisis kompon karet, yaitu tegangan putus, kekerasan, dan ketahanan kikis, namun tidak berpengaruh nyata terhadap ketahanan usang untuk perubahan kekerasan kompon karet. Namun, menurut Delvitasari, dkk. (2017), kekerasan vulkanisat tidak hanya bergantung dari jenis dan jumlah bahan pengisi saja, melainkan ada faktor lain seperti jumlah sulfur dan tahap vulkanisasi yang juga ikut mempengaruhi kekerasan produk vulkanisatnya. Parameter yang kritis selama vulkanisasi adalah suhu yang diperlukan untuk memulai vulkanisasi serta laju vulkanisasi.



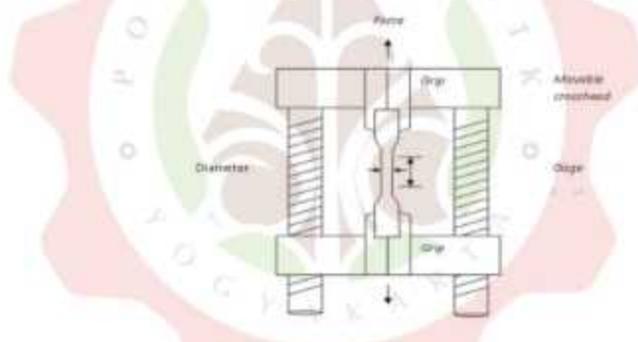
Gambar 10. Skema Pengujian Kekerasan

(Sumber : Daud, D. dan Rahmani, 2017)

b) Uji Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Analisa uji tarik merupakan analisa untuk mengetahui kekuatan tarik suatu material sampai material tersebut patah. Uji tarik adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar, dan sederhana. Alat yang digunakan untuk melakukan uji *tensile* adalah *Universal Testing Machine* (UTM). Prinsip kerja dari mesin UTM yaitu benda yang diuji tarik diberi pembebanan pada kedua arah sumbu dengan beban yang sama. Material yang akan diuji harus dibentuk menjadi spesimen-spesimen yang ukurannya disesuaikan dengan standar yang digunakan yaitu ISO 527-2 type 5A dengan menggunakan *dumbbell* sebelum melakukan uji *tensile*. Spesimen dipotong dari setiap titik pada lembaran sampel dan minimal berjumlah 5 spesimen. Spesimen tersebut diuji tarik dengan kecepatan 500 mm/menit. Skema pengujian kuat tarik tertera pada Gambar 11.

Hasil uji tarik yang diperoleh berupa grafik hubungan tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*) dari masing-masing spesimen uji. Menurut standar mutu kompon sol luar sepatu (SNI 12-0172-2005) yaitu kuat tarik (*tensile strength*) pada material karet menghasilkan nilai minimum 4,9 Mpa (Chapman, 2007). Pengujian ini menggambarkan kekuatan dan kekenyalan karet. Nilai kuat tarik semakin besar, menunjukkan kompon karet semakin elastis. Pengujian kuat tarik dapat dipengaruhi oleh bahan aditif *plasticizer*, suhu, dan waktu saat vulkanisasi (Basseri, 2005).



Gambar 11. Skema Pengujian Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

(Sumber : Basseri, 2005)

BAB III

MATERI DAN METODE

A. Lokasi Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data di PT. Rubber Pan Java, Brebes yang beralamatkan di Jl. Cendrawasih No. KM 20, Tengguli, Kecamatan Tanjung, Kabupaten Brebes – Jawa Tengah. Waktu pelaksanaan magang dimulai pada tanggal 04 April sampai 29 April 2022.

B. Materi Tugas Akhir

Materi yang dikaji dalam Tugas Akhir ini berkaitan dengan pengaruh konsentrasi sulfur terhadap kekerasan vulkanisat sol luar yang diharapkan mampu menjadi salah satu solusi untuk permasalahan dalam meningkatkan kekerasan dengan harga yang lebih efisien.

C. Metode Penyelesaian Masalah

Metode yang digunakan dalam penyelesaian masalah yaitu melakukan lima kali percobaan dengan meliputi perencanaan formulasi, penimbangan bahan, proses komponding, uji rheologi, pencetakan vulkanisat, pembuatan sampel uji, pengujian sampel uji untuk kekerasan dan kuat tarik, serta pengumpulan data. Perencanaan formulasi difokuskan pada penggunaan konsentrasi sulfur sebagai bahan pemvulkanisasi yang diharapkan mampu

meningkatkan kemampuan vulkanisat karet dalam kekerasan dengan standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

Tahapan metode penyelesaian masalah dalam Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Perancangan formulasi

Rancangan formulasi dilakukan sesuai dengan formula standar yang terdapat di perusahaan, namun pada bahan pemvulkanisasi penulis melakukan percobaan dengan menggunakan lima konsentrasi sulfur yang berbeda agar mengetahui pengaruh kekerasan disetiap konsentrasinya. Konsentrasi sulfur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Percobaan

Formula	Konsentrasi Sulfur	
	Berat (gram)	Phr
1	11	1,5
2	13	1,8
3	15	2,1
4	17	2,4
5	19	2,7

2. Penimbangan bahan

Penimbangan bahan yang dilakukan mengacu pada formula perusahaan dan berisikan berbagai bahan baku karet serta bahan pembantu. Penimbangan dilakukan harus sesuai dengan berat bahan

supaya kompon karet yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Penimbangan dilakukan menggunakan alat neraca digital.

3. Proses komponding

Proses komponding atau proses pencampuran bahan dilakukan atas tiga tahap, yaitu proses mastikasi, proses pencampuran tahap 1, dan proses pencampuran tahap dua. Proses mastikasi merupakan proses pelunakan bahan karet dengan cara menggiling bahan karet hingga tekstur menjadi lunak agar mempermudah pencampuran antara karet sintetis dan bahan aditif. Proses selanjutnya adalah pencampuran tahap 1 yaitu memasukkan seluruh bahan aditif kecuali bahan pencepat, bahan pemvulkanisasi, dan bahan pewarna. Bahan aditif dimasukkan satu per satu berupa bahan pengisi, aktivator, *homogenizer*, *plasticizer*, *coupling agent* dan antiozon. Kompon digiling sampai semua bahan tercampur merata di mesin *kneader mixer* selama 6 menit. Kompon yang dihasilkan berupa bongkahan bukan lembaran. Bongkahan tersebut selanjutnya digiling menggunakan mesin *open mill*.

Proses pencampuran tahap dua dilakukan dengan memasukkan bahan pencepat berupa MBTS dan Epcure serta bahan pemvulkanisasi sulfur dengan konsentrasi yang berbeda-beda (mengulang secara bertahap pada kompon yang berbeda). Kemudian memasukkan bahan pewarna atau disebut dengan proses *coloring*, dipastikan semua bahan telah tercampur merata. Kompon yang dihasilkan berupa lembaran.

Kemudian kompon didinginkan terlebih dahulu sebelum dilakukan uji rheologi.

4. Uji rheologi

Sebelum dilakukan proses pencetakan, setiap kompon digunting sedikit untuk dilakukan proses uji rheologi. Pengujian rheologi dilakukan sesuai alat rheometer dengan SOP (*standard operating procedure*) yang telah ditetapkan perusahaan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data waktu *scorch* (tc_{10}), waktu optimum (tc_{90}), torsi, dan sifat viskositas pada karet.

5. Pencetakan vulkanisat

Proses selanjutnya, yaitu proses pematangan dan pencetakan kompon karet di mesin *hot press moulding* dengan cara menggunting kompon sesuai ukuran cetakan plate tebal dan plate tipis dengan suhu 160 °C, tekanan 100 – 120 kgf/cm² selama 3 menit. Setelah selesai proses pencetakan, vulkanisat didinginkan disuhu ruang kemudian dilakukan pengujian. Saat proses pencetakan dan pematangan suhu, tekanan serta waktu harus sangat diperhatikan karena akan berpengaruh terhadap produk jadinya. Suhu yang kurang optimal akan mengurangi sifat kekerasan pada produk, sedangkan suhu yang melebihi suhu optimal maka produk yang dihasilkan akan hangus dan mudah rusak karena suhu tinggi.

6. Pembuatan sampel uji

Langkah selanjutnya yaitu melakukan proses pembuatan sampel uji kekerasan dan uji kuat tarik. Sampel terbuat dari vulkanisat karet berupa hasil pencetakan *slab* berukuran (20 x 20) mm kemudian dipotong sesuai pengujian yang akan dilakukan. Untuk sampel uji kuat tarik dipotong sesuai ukuran standar ISO (*International Organization for Standardization*) 527-2 type 5A tentang uji kuat tarik dengan berbentuk dayung yang disebut *dumbbell* menggunakan mesin *cutting rubber* dengan masing-masing sampel dibuat sebanyak 2 buah.

7. Uji kekerasan (*hardness*)

Uji kekerasan merupakan pengujian untuk menentukan kekerasan vulkanisat karet dengan penekan tertentu. Masing-masing sampel (*plate tebal*) yang sudah dingin diletakkan di atas dasar yang keras dan datar. Kemudian alat durometer dipegang tegak lurus sehingga jarum penekan tepat berada posisi di atas sampel uji. Alat ditekan pada permukaan vulkanisat sampai kaki penekan alat menyentuh dan sejajar benar dengan permukaan vulkanisat. Kemudian baca skala jarum penunjuk. Nilai kekerasan adalah angka pertama yang ditunjukkan. Pengukuran dilakukan pada tiga titik yang berbeda dan nilai yang digunakan adalah nilai rata-rata dari tiga pengukuran. Acuan yang digunakan berdasarkan standar perusahaan.

8. Uji kuat tarik (*tensile strength*)

Uji kuat tarik adalah pengujian kekuatan tarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya. Sampel uji dijepitkan diantara dua penjepit. Lakukan pengujian tarik dengan kecepatan penarikan 500 mm/menit. Hasil uji akan tertera pada layar komputer. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali pada setiap sampel (plate tipis) yang telah dipotong dengan berbentuk *dumbbell* dan nilai yang digunakan adalah nilai rata-rata dari dua penarikan. Acuan yang digunakan berdasarkan standar perusahaan.

D. Diagram Alir Proses Produksi

Diagram alir proses produksi tertera pada Gambar 12. Dalam melakukan proses produksi, tahap pertama yang dilakukan penulis yaitu merancang formulasi, formulasi dirancang sesuai dengan tujuan meningkatkan kekerasan vulkanisat dengan konsentrasi sulfur yang berbeda. Setelah formulasi selesai dirancang, dilakukan proses penimbangan bahan sesuai dengan jumlah berat yang dihitung pada formulasi. Selanjutnya proses pencampuran bahan atau komponding menggunakan mesin pencampur (*kneader mixer* dan *open mill*), proses komponding dilakukan tiga tahap yaitu mastikasi, pencampuran tahap satu, dan pencampuran tahap dua. Selanjutnya dilakukan uji rheologi dan proses pencetakan vulkanisat menggunakan mesin cetak tekan panas (*hot press molding*), kemudian pembuatan untuk sampel uji. Setelah keseluruhan sampel

dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dan kuat tarik pada vulkanisat karet.



Gambar 12. Diagram alir proses percobaan

Alat dan bahan yang digunakan saat melakukan proses produksi dapat diuraikan sebagai berikut:

I. Alat

Peralatan yang digunakan dalam proses penimbangan material hingga pengujian sampel yaitu sendok, digunakan untuk mengambil bahan kimia yang akan ditimbang dalam bentuk granula maupun serbuk. Plastik, digunakan sebagai wadah untuk bahan kimia dalam bentuk granula maupun cairan. Gunting, digunakan untuk memotong karet yang akan digunakan dalam jumlah sedikit agar jumlah berat yang digunakan sesuai formulasi/tanpa adanya kurang ataupun lebih. Selain itu, gunting berfungsi untuk memotong kompon yang akan dicetak dan dimatangkan. Neraca digital, berfungsi untuk menimbang material yang akan digunakan dengan ketelitian 2 angka dibelakang koma. Spidol putih, digunakan untuk memberi tanda atau nama pada kompon karet maupun sampel uji. Serta beberapa alat khusus seperti berikut:

a. Mesin pencampur tertutup (*kneader mixer*)

Mesin *kneader* digunakan untuk proses mastikasi karet dan mencampurkan bahan karet dengan bahan aditif lain hingga menjadi kompon karet. Spesifikasi mesin yang digunakan yaitu kapasitas kompon 8-10 kg/*batch* dengan suhu yang digunakan 100 °C dan waktu selama 5-6 menit. Mesin *kneader* tertera pada Gambar 13 dan 14.



Gambar 13. Mesin pencampur tertutup (*kneader mixer*)

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)



Gambar 14. Bagian pencampur pada mesin *kneader*

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)

b. Mesin giling terbuka (*open mill*)

Mesin giling terbuka digunakan untuk proses pencampuran kompon karet dengan bahan pemvulkanisasi (*vulcanizing agent*), bahan pencepat dan proses *colloring* hingga menjadi kompon karet yang homogen. Spesifikasi mesin yang digunakan yaitu merek KONPON produk Jepang dengan

kapasitas maksimal 10 kg/*batch*. Gambar 15 menunjukkan mesin *open mill*.



Gambar 15. Mesin giling terbuka (*open mill*)

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)

c. Mesin rheometer

Mesin rheometer digunakan untuk menguji reologi kompon agar mendapatkan data waktu *scorch* (tc_{10}), waktu optimum (tc_{90}), torsi, serta sifat viskositas pada karet. Alat rheometer merupakan alat pengembangan dari viscometer. Mesin uji rheometer yang digunakan yaitu *Moving Die Rheometer* Gotech ASTM D5289. Mesin rheometer tertera pada Gambar 16.



Gambar 16. Mesin rheometer

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)

d. Mesin cetak tekan panas (*hot press moulding machine*)

Mesin cetak tekan panas berfungsi untuk mencetak dan mematangkan kompon sehingga dapat digunakan menjadi sampel uji. Spesifikasi mesin yang digunakan yaitu mesin *press* CTM-2213560 dengan tekanan 100 – 120 kgf/cm². Suhu untuk mold 140-150 °C, sedangkan suhu mesin CTM yaitu 150-160 °C. Untuk waktu yang digunakan selama 3 menit. Mesin CTM disajikan pada Gambar 17.



Gambar 17. Mesin cetak tekan panas (CTM)

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)



Gambar 18. Cetakan sampel plate tebal dan plate tipis

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)

e. Durometer

Durometer digunakan untuk mengukur kekerasan (*hardness*) vulkanisat/kompon karet yang telah ter Vulkanisasi. Spesifikasi alat durometer yang digunakan yaitu durometer *shore A*. *Shore* durometer type A digunakan untuk mengukur kekerasan vulkanisat 30-90. Biasanya digunakan untuk skala elastomer (karet). Prinsip kerja alat durometer adalah diukur dengan kedalaman penekan jarum (*indenter* jarum) pada suatu

material (Daud, D. dan Rahmani, 2017). Acuan yang digunakan sesuai dengan standar perusahaan. Alat durometer tertera pada Gambar 19.



Gambar 19. Alat Durometer
(Sumber: PT. Rubber Pan Java, 2022)

f. Mesin *Cutting Dies*

Mesin *cutting dies* digunakan untuk memotong sampel yang akan dilakukan proses uji kuat tarik dengan bentuk *cutting dies* seperti dayung atau disebut *dumbbell*. Mesin *cutting dies* disajikan pada Gambar 20.



Gambar 20. Mesin *Cutting Dies*

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)

g. *Universal Testing Machine (UTM)*

Universal Testing Machine (UTM) adalah alat yang digunakan untuk mengukur kekuatan tarik suatu material sampai material tersebut patah. Acuan yang digunakan sesuai dengan standar perusahaan. Mesin uji kuat tarik yang digunakan yaitu *Gotech Testing Machines*. Alat UTM tertera pada Gambar 21.



Gambar 21. Mesin UTM

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, 2022)

2. Bahan

Bahan baku yang digunakan untuk membuat sol luar terdiri dari bahan utama dan pembantu. Berikut merupakan bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan sol luar di PT. Rubber Pan Java, sekaligus telah disusun dalam bentuk formula sebagaimana yang tertera pada Tabel 2:

Tabel 2. Formula Pembuatan Sol Luar di PT. Rubber Pan Java

No.	Nama Bahan	Berat (gram)	Phr	Keterangan
1	SIR 3L	168	24	Bahan baku
2	SSBR	140	20	Bahan baku
3	KNB 35L	140	20	Bahan baku
4	BR 1208	252	36	Bahan baku
5	Silika	136	19,4	Filler
6	Rhenosin	28,2	4,0	Homogenizer
7	PEG 4000	19,6	2,8	Aktivator
8	JH-S 69	24,6	3,5	Coupling Agent
9	White Oil	33,6	4,8	Plasticizer
10	OH ₁	24,4	3,5	Antiozon
11	ZnO	19,6	2,8	Aktivator
12	Asam Stearat	14	2,0	Aktivator
13	MBTS	16,5	2,4	Accelerator
14	Epcure	12	1,7	Accelerator
15	Sulfur	14	2,0	Vulcanizing Agent
16	MB Black 904	17	2,4	Pewarna

(Sumber : PT. Rubber Pan Java, Brebes)