

TUGAS AKHIR

PENENTUAN SUHU VULKANISASI KOMPON NON-SULFUR UNTUK KARAKTERISTIK PROSES DAN SIFAT FISIS MEKANIS PADA PRODUK *BOOT METER COUPLER*



Disusun Oleh :

SABRINA ANGGRAENI WIDIANTI

NIM. 2203025

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI

**BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
INDUSTRI**

POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA

2025

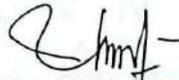
PENGESAHAN
“PENENTUAN SUHU VULKANISASI KOMPON NON-SULFUR
UNTUK KARAKTERISTIK PROSES DAN SIFAT FISIS MEKANIS PADA
PRODUK *BOOT METER COUPLER*”

Disusun Oleh :

Sabrina Anggraeni Widianti
NIM. 2203025

Program Studi Teknologi Pengolahan Karet Dan Plastik

Pembimbing I



Uma Fadzilia Arifin, M.T.
NIP.19931216 201901 2 002

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir dinyatakan memahami salah
satu syarat yang diperlukan untuk mendapatkan Derajat Ahli Madya Diploma III
(D3) Politeknik ATK Yogyakarta

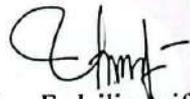
Tanggal: 8 Agustus 2025

TIM PENGUJI
KETUA



Dr. Eng. Raden Bagus Seno Wulung, S.T., M.T.
NIP. 198001132003121001

Anggota



Uma Fadzilia Arifin, M.T.
NIP. 199312162019012002



Pani Satwikanitya, M.Eng.
NIP. 198709102020122001

Yogyakarta, 8 Agustus 2025
Direktur Politeknik ATK Yogyakarta



PERSEMBAHAN

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, petunjuk dan kemudahan yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini dengan lancar dan tepat waktu. Tanpa pertolongan dan ridho-Nya, tentunya tugas akhir ini tidak akan dapat terwujud. Saya mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri yang telah berusaha keras, pantang menyerah, dan tetap istiqomah dalam menyelesaikan tugas akhir ini hingga selesai. Proses panjang yang penuh tantangan ini telah mengajarkan saya banyak hal, salah satunya pentingnya tidak mudah menyerah dalam menghadapi kesulitan. Dengan rasa syukur dan kerendahan hati, saya persembahkan tugas akhir ini kepada:

1. Kedua orang tua yang sangat saya cintai yaitu Bapak Endro dan Ibu Endang yang telah memberikan dukungan moral, doa yang tulus, dan kasih sayang. Terima kasih yang sebesar-besarnya karena telah mengusahakan banyak cara agar saya dan saudara memperoleh pendidikan hingga sejauh ini. Terima kasih telah senantiasa menemani dan membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan doa-doa yang dipanjatkan serta ucapan semangat yang sangat membantu dan menguatkan penulis. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, rezeki yang berkah, dan umur yang panjang kepada beliau berdua, sehingga dapat terus menemani dan menyaksikan perjalanan hidup saya dan saudara hingga masa yang akan datang.
2. Kakak saya Tahta dan adik saya Kirana yang telah memberikan dukungan, doa-doa yang tulus sehingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir saya. Semoga kita selalu akur dan dapat meraih kesuksesan bersama-sama.
3. Ibu Uma Fadzilia Arifin, M.T selaku Dosen Pembimbing tugas akhir. Terima kasih telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikirannya untuk memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat berharga dan membantu dalam penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas kesabaran,

dedikasi, dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis. Semoga kebaikan dan ilmu yang telah Ibu berikan mendapat balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT.

4. Seluruh Dosen dan keluarga besar Politeknik ATK Yogyakarta yang telah memberikan pengetahuan dan pengalaman selama proses belajar mengajar
5. Teman-teman terdekat saya Eka, Via, Intan, Dzuria, Nabila, teman-teman TPKP kelas B, HIMMAKP'22 dan salah satu teman dekat di semester akhir saya, yang telah menemani perjalanan perkuliahan saya hingga sejauh ini. Terima kasih banyak atas dukungan dan semangat yang telah kalian berikan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ibu, Bapak dan teman-teman IPG *Plant 6* yang telah menemani, membimbing, dan membantu saya selama kegiatan PRAKERIN berlangsung. Terima kasih atas bimbingan, dukungan, semangat dan perhatian yang telah diberikan kepada saya hingga saat ini. Pengalaman kerja yang berharga kemarin telah memberikan wawasan dan pembelajaran yang sangat berarti bagi pengembangan diri saya. Semoga nanti kita dapat bertemu kembali dengan saya yang sudah bukan lagi sebagai “Anak magang” melainkan sebagai profesional yang siap berkontribusi di dunia kerja.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan lancar dan tepat waktu. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan pendidikan Diploma III (D3) program studi teknologi pengolahan karet dan plastik di politeknik ATK Yogyakarta. Kelancaran penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, usaha, doa dan dukungan dari banyak pihak baik secara langsung ataupun tidak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Sonny Taufan, S.H., M.H., selaku Direktur Politeknik ATK Yogyakarta
2. Yuli Suwarno, S.T., M.SC., selaku pembantu Direktur 1 Politeknik ATK Yogyakarta
3. Wisnu Pambudi, S.T., M.SC., selaku Ketua Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik
4. Uma Fadzilia Arifin, M.T., selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir
5. Muhammad Indra selaku Manajer PT. Indoprima Gemilang- *Plant 6*
6. Pihak – pihak yang berkaitan secara langsung terhadap penyusunan laporan Tugas Akhir

Demikian, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi para pembaca.

Yogyakarta, 10 Juli 2025

Sabrina Anggraeni Widianti

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
INTISARI.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penyelesaian Tugas Akhir	6
D. Manfaat Penyelesaian Tugas Akhir.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Karet.....	8
B. Vulkanisasi	10
C. Vulkanisasi Non-Sulfur	11
D. Parameter Proses Vulkanisasi.....	15
E. Sifat Fisis dan Mekanis.....	18
BAB III MATERI DAN METODE TUGAS AKHIR.....	21
A. Metode Pelaksanaan Tugas Akhir.....	21
B. Lokasi dan Waktu Pengambilan Data	24
C. Alat dan Bahan.....	24
D. Metode Percobaan	27
E. Tahapan Penyelesaian Tugas Akhir.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Pengaruh parameter suhu vulkanisasi non-sulfur terhadap kemampuan proses kompon produk <i>boot meter coupler</i>	40

4.2	Pengaruh parameter suhu vulkanisasi non-sulfur terhadap kualitas sifat organoleptik, fisis dan mekanis produk <i>boot meter coupler</i>	53
4.3	Penentuan suhu optimum untuk produksi <i>boot meter coupler</i> dengan sistem vulkanisasi non-sulfur	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		69
A.	KESIMPULAN	69
B.	SARAN	70
DATAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN.....		82



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat dan permesinan yang digunakan untuk proses produksi boot meter coupler	25
Tabel 3. 2 Bahan yang digunakan untuk produksi boot meter coupler.....	26
Tabel 4. 1 Data hasil uji rhoelogi kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi...41	
Tabel 4. 2 Sifat organoleptik spesimen kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi	54
Tabel 4. 3 Standar spesifikasi produk boot meter coupler	64
Tabel 4. 4 Hasil penentuan waktu optimal dan pengujian sifat organoleptik, fisis dan mekanis kompon boot meter coupler dengan variasi suhu vulkanisasi	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur kimia Polyisoprene(Setriorini, 2019)	8
Gambar 2. 2 Struktur kimia karet SBR(Walker, 2012).....	9
Gambar 2. 3 Struktur kimia karet EPDM(Mayasari & Yuniari, 2016).....	10
Gambar 2. 4 Mekanisme dekomposisi DCP (Hamzah, 2010)	13
Gambar 3. 1 Skema kerja pembuatan produk boot meter coupler.....	27
Gambar 3. 2 Diagram alir tahapan penyelesaian tugas akhir.....	35
Gambar 4. 1 Produk boot meter coupler.....	38
Gambar 4. 2 Data hasil uji rhoelogi kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi	42
Gambar 4. 3 Hasil uji rheologi kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi terhadap torsi minimum (Ml).....	44
Gambar 4. 4 Hasil uji rheologi kompon non-sulfur dengan variasi suhu terhadap delta torsi (ΔM).....	46
Gambar 4. 5 Hasil uji rheologi kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi terhadap scorch time (ts_2)	48
Gambar 4. 6 Hasil uji rheologi kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi terhadap waktu optimum (tc_{90}) spesimen.....	50
Gambar 4. 7 Nilai densitas kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi.....	56
Gambar 4. 8 Nilai kekerasan kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi	58
Gambar 4. 9 Nilai kekerasan kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi	60
Gambar 4. 10 Nilai elongasi kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil uji rheologi kompon non-sulfur dengan variasi suhu.....	82
Lampiran 2 Hasil Uji UTM (Universal Testing Machine) spesimen kompon non-sulfur dengan variasi suhu vulkanisasi	83
Lampiran 3 Surat Penerimaan Dual System	95
Lampiran 4 Sertifikat Dual System.....	96
Lampiran 5 Penilaian magang Dual System	98
Lampiran 6 Lembar Kerja Harian Magang.....	99



INTISARI

Boot meter coupler merupakan komponen otomotif yang melindungi *coupler speedometer* dari gangguan eksternal. Proses vulkanisasi non-sulfur memerlukan suhu tinggi, namun belum ditemukan parameter optimal yang menyebabkan inefisiensi produksi dan tingkat cacat tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu vulkanisasi terhadap kemampuan proses dan sifat mekanik kompon karet non-sulfur dalam produksi boot meter coupler. Proses vulkanisasi menggunakan variasi suhu antara 150°C hingga 170°C dengan pengujian reologi dan fisis-mekanis sebagai indikator evaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu vulkanisasi berpengaruh signifikan terhadap karakteristik reologi, ditunjukkan dengan peningkatan torsi maksimum (Mh), penurunan torsi minimum (Ml), serta percepatan waktu scorch dan waktu vulkanisasi optimum (t90). Namun, pada suhu yang terlalu tinggi terjadi degradasi material yang menyebabkan penurunan nilai Mh. Dari sisi sifat mekanik, densitas meningkat pada suhu 150–155°C kemudian menurun akibat perubahan struktur material. Kekerasan menurun pada suhu optimal dan kembali meningkat pada suhu tinggi. Kuat tarik meningkat seiring dengan naiknya suhu akibat pembentukan ikatan silang yang lebih kuat, sementara elongasi tertinggi diperoleh pada suhu 150°C dan cenderung stabil pada suhu 160–165°C. Berdasarkan seluruh parameter yang diuji, suhu 160°C ditetapkan sebagai suhu vulkanisasi optimal dengan waktu vulkanisasi 556 ± 2 detik ($\pm 9,27$ menit). Pada suhu ini, boot meter coupler yang dihasilkan memiliki sifat organoleptik, fisis, dan mekanik yang paling optimal, yaitu densitas sebesar $1,208 \pm 0,01$, kekerasan $64,75 \pm 0,364$ HA, kuat tarik $11,889 \pm 2,36$ MPa, dan elongasi $252,5 \pm 74,2\%$. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi standar perusahaan. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan suhu vulkanisasi 160°C dapat meningkatkan efisiensi proses serta kualitas produk akhir.

Kata kunci: suhu vulkanisasi, sistem vulkanisasi non-sulfur, rheometer

ABSTRACT

The boot meter coupler is an automotive component designed to protect the speedometer coupler from external disturbances. The non-sulphur vulcanization process requires high temperatures, but the optimal parameters have not yet been identified, leading to production inefficiencies and high defect rates. This study aims to determine the effect of vulcanization temperature on the processability and mechanical properties of non-sulphur rubber compounds in the production of boot meter couplers. Vulcanization was conducted at varying temperatures from 150°C to 170°C, with rheological and physical-mechanical testing used as evaluation indicators. The results showed that vulcanization temperature significantly affects rheological characteristics, indicated by an increase in maximum torque (M_h), a decrease in minimum torque (M_l), and faster scorch and optimum cure times (t_{90}). However, excessively high temperatures led to material degradation, resulting in a decrease in M_h . From a mechanical standpoint, density increased at 150–155°C, then declined due to structural changes in the material. Hardness decreased at the optimal temperature and rose again at higher temperatures. Tensile strength improved with increasing temperature due to stronger crosslink formation, while the highest elongation was observed at 150°C and remained relatively stable at 160–165°C.

Based on all evaluated parameters, 160°C was identified as the optimal vulcanization temperature with a vulcanization time of 556 ± 2 seconds (± 9.27 minutes). At this temperature, the resulting boot meter coupler exhibited the most optimal organoleptic, physical, and mechanical properties, with a density of 1.208 ± 0.01 , hardness of 64.75 ± 0.364 HA, tensile strength of 11.889 ± 2.36 MPa, and elongation of $252.5 \pm 74.2\%$. All values met the company's standard specifications. These findings indicate that vulcanizing at 160°C can enhance both process efficiency and final product quality.

Keywords: *vulcanization temperature, non-sulphur vulcanization system, rheometer.*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Karet merupakan komoditas unggul dari sektor perkebunan yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi Indonesia. Karet dan produk jadinya membentuk kelompok manufaktur tersendiri dalam dunia perindustrian. Indonesia memiliki potensi unggul dalam pengembangan industri karet karena adanya sumber daya alam yang melimpah dari dalam negeri. Hal ini memungkinkan perluasan kegiatan ekspor, tidak hanya untuk material dasar namun juga produk olahan karet. Sektor ini telah menjadi magnet bagi berbagai investasi strategis dan mendorong kemunculan investor yang memperkaya rantai nilai industri otomotif Indonesia (Rachmawati & Rismayani, 2018).

Perkembangan industri otomotif di Indonesia tidak hanya memperkuat basis produksi kendaraan tetapi juga menstimulasi pertumbuhan industri pendukung, termasuk manufaktur komponen berbasis karet yang menjadi elemen penting dalam konstruksi kendaraan modern. Karet menempati posisi yang tidak tergantikan sebagai material teknis dengan karakteristik unik yang sesuai untuk berbagai aplikasi kendaraan. Penerapan karet dalam industri otomotif sangat beragam, seperti sistem suspensi, selang fluida, *seal*, gasket, hingga komponen presisi seperti *boot meter coupler* yang memiliki fungsi spesifik dalam sistem pengukuran kendaraan.

Boot meter coupler merupakan komponen penting dalam sistem otomotif yang berfungsi pelindung *coupler speedometer*. Komponen ini dirancang khusus untuk melindungi sistem pengukur kecepatan dari kondisi eksternal seperti air, debu, kotoran, dan getaran yang dapat menggunakan kinerja *speedometer* secara keseluruhan. Secara strukturnya, *boot meter coupler* terbentuk dari material karet elastis dengan bentuk selongsong atau penutup silinder pendek yang fleksibel. Bagian atasnya berbentuk persegi dengan lubang di bagian tengah yang menerus hingga ke selongsong bagian bawah. Desain ini memungkinkan komponen untuk memberikan perlindungan optimal. *Boot meter coupler* merupakan produk karet yang diproduksi menggunakan sistem vulkanisasi non-sulfur. Sistem ini tidak menggunakan sulfur sebagai agen pembentuk ikatan silang pada polimer karet, melainkan menggunakan sistem vulkanisasi dengan bahan pemvulkanisasi lain seperti peroksida.

Terdapat 2 jenis sistem vulkanisasi berdasarkan bahan vulkanisasinya yaitu sistem vulkanisasi sulfur dan sistem vulkanisasi non-sulfur. Penggunaan sistem vulkanisasi yang berbeda juga mempertimbangkan beberapa faktor seperti perbedaan sifat dan hasil akhir yang diinginkan. (Kruželák *et al.*, 2016). Penggunaan sistem vulkanisasi sulfur sudah banyak dilakukan, namun untuk penggunaan metode vulkanisasi non-sulfur masih jarang digunakan.

Sistem vulkanisasi non-sulfur merupakan sistem vulkanisasi yang tidak menggunakan sulfur, sebagai gantinya proses ini menggunakan

bahan lain seperti peroksida (Kinasih *et al.*, 2015a). Peroksida digunakan dalam proses vulkanisasi ini karena bahan yang digunakan adalah EPDM. EPDM merupakan jenis karet jenuh yang tidak mudah divulkanisasi menggunakan sulfur. Selain itu, vulkanisasi peroksida diproses melalui mekanisme radikal bebas yang dapat membentuk ikatan silang langsung antara rantai molekul karet tanpa memerlukan sulfur. Proses ini akan menghasilkan ikatan C-C yang lebih stabil secara kimia dan tahan terhadap suhu tinggi dibandingkan dengan ikatan silang sulfur. Proses vulkanisasi menggunakan peroksida melibatkan pembentukan ikatan karbon ke karbon (C-C) antara segmen rantai elastomer yang menghasilkan jaringan tiga dimensi. Sistem vulkanisasi berbasis peroksida menawarkan keunggulan berupa kestabilan termal yang lebih tinggi serta fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan dengan vulkanisasi berbasis sulfur. Sistem ini memungkinkan terbentuknya ikatan silang yang lebih baik, sehingga mampu meningkatkan karakteristik tertentu pada elastomer dan meminimalkan emisi senyawa berbahaya seperti nitrosamin pada produk akhir (Parathodika *et al.*, 2022). Ikatan C-C yang terbentuk melalui vulkanisasi non-sulfur memiliki stabilitas termal dan kimiawi yang lebih baik dibandingkan ikatan silang sulfur (*polisulfida*, *disulfida*, *monosulfida*) yang biasanya terbentuk pada vulkanisasi konvensional (Yuniari *et al.*, 2015). Namun, sistem vulkanisasi peroksida jarang digunakan karena biaya bahan peroksida relatif mahal serta penanganan

yang sulit ketika dilakukan proses pencampuran karena bahan yang mudah meleleh ketika dikenai panas pada pemrosesan kompon.

Sistem vulkanisasi non-sulfur dengan peroksida memiliki banyak keunggulan seperti ketahanan suhu tinggi, sifat elastis dan elektrik yang baik, serta tidak adanya perubahan warna pada produk akhir, sehingga lebih menguntungkan dibandingkan sistem vulkanisasi sulfur (Kruželák *et al.*, 2014). Namun, sistem ini memiliki kekurangan seperti aroma yang tidak diinginkan dari hasil cetak, kekuatan tarik lebih rendah, kurang fleksibilitas material, serta untuk pemrosesan membutuhkan waktu yang lebih lama dengan suhu yang tinggi (Parathodika *et al.*, 2022)

Pengujian dengan mesin rheometer diperlukan untuk menentukan suhu dan waktu vulkanisasi yang terbaik dalam menghasilkan produk akhir dengan spesifikasi sesuai dengan standar (Suliknyo, 2017). Namun, hasil pengujian rheologi tidak dapat langsung digunakan sebagai acuan proses vulkanisasi. Hal ini disebabkan oleh perbedaan pada hasil akhir, seperti visual atau hasil organoleptik, nilai densitas, nilai kekerasan, kuat tarik dan elongasi yang belum memenuhi standar perusahaan. Selain itu, telah dilakukan proses percobaan menggunakan suhu 170°C dengan waktu 12 menit, namun produk yang dihasilkan mengalami over cure dan terdapat gelembung pada beberapa bagian serta lengket pada *mold*.

Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian lebih lanjut untuk mengoptimalkan proses produksi *boot meter coupler*. Digunakan data suhu yang diperoleh dari pengujian rheologi untuk dilakukan pengujian

lanjutan agar dapat mengetahui parameter suhu vulkanisasi terbaik. Pengujian ini akan digunakan untuk menentukan kombinasi suhu vulkanisasi dan waktu vulkanisasi optimal dalam proses produksi melalui analisis variasi suhu vulkanisasi. Selanjutnya, akan dilakukan evaluasi lanjutan terhadap produk yang dihasilkan meliputi pengujian sifat organoleptik, sifat fisis dan mekanis. Hasil pengujian tersebut akan dianalisis untuk menentukan parameter suhu dan waktu vulkanisasi yang menghasilkan produk *boot meter coupler* dengan kualitas yang memenuhi standar perusahaan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya maka tugas akhir ini akan dirumuskan masalah sebagai dasar pengujian ini, berikut rumusan masalah yang dapat diambil.

1. Bagaimana pengaruh parameter suhu vulkanisasi non-sulfur terhadap kemampuan proses kompon produk *boot meter coupler*?
2. Bagaimana pengaruh parameter suhu vulkanisasi non-sulfur terhadap kualitas sifat organoleptik, fisis, dan mekanis produk *boot meter coupler*?
3. Berapa suhu vulkanisasi yang optimal untuk produksi *boot meter coupler* dengan kemampuan proses kompon serta sifat organoleptik, fisis dan mekanik yang terbaik?

C. Tujuan Penyelesaian Tugas Akhir

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan dari laporan tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh parameter suhu vulkanisasi non-sulfur terhadap kemampuan proses kompon produk *boot meter coupler*.
2. Menganalisis pengaruh parameter suhu vulkanisasi non-sulfur terhadap kualitas sifat organoleptik, fisis, dan mekanis produk *boot meter coupler*.
3. Menentukan suhu vulkanisasi yang optimal untuk produksi *boot meter coupler* dengan kemampuan proses kompon serta sifat organoleptik, fisis dan mekanik yang terbaik.

D. Manfaat Penyelesaian Tugas Akhir

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan tugas akhir di atas diperoleh manfaat dari pengujian tugas akhir ini adalah:

1. Bagi akademik, sebagai pengetahuan dan literatur ilmiah dalam bidang teknologi pemrosesan, khususnya tentang pengaruh suhu dan waktu pada proses vulkanisasi non-sulfur.
2. Bagi perusahaan, dapat digunakan sebagai saran dan masukan untuk menyesuaikan parameter suhu dan waktu yang optimal untuk proses vulkanisasi non-sulfur, dan dapat membantu meningkatkan kualitas karet non-sulfur.

3. Bagi IPTEK, membantu mengembangkan inovasi teknologi dalam proses vulkanisasi non-sulfur yang ramah lingkungan dengan mengurangi penggunaan bahan kimia berbasis sulfur.



BAB II

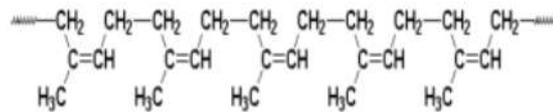
TINJAUAN PUSTAKA

A. Karet

Karet merupakan polimer elastis yang berasal dari getah pohon karet (lateks), terutama dari tanaman *Hevea Brasiliensis* yang berasal dari Brasil dan kini banyak dibudidayakan di Indonesia dan negara tropis lainnya (Rofiqoh *et al.*, 2019). Selain karet alam, terdapat juga karet sintetis yang dibuat dari bahan kimia berbasis minyak bumi. Dalam industri, karet digunakan dalam bentuk kompon. (Marlina *et al.*, 2014). Karet dibagi menjadi dua jenis yaitu karet alam dan karet sintetis.

1. Karet Alam

Karet alam adalah jenis elastomer alami yang diperoleh dari getah tanaman *Hevea Brasiliensis* (Mayasari & Wirapraja, 2019). Senyawa ini tergolong sebagai hidrokarbon yang tersusun atas atom karbon (C) dan atom hidrogen (H), serta merupakan polimer dengan monomer utama berupa *isoprene*. Rumus empiris dari karet alam adalah C_5H_8 yang menunjukkan rasio atom karbon terhadap hidrogen sebesar 5:8 serta mencerminkan jumlah unit monomer dalam dstruktur rantai polimernya, seperti disajikan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Struktur kimia Polyisoprene (Setriorini, 2019)

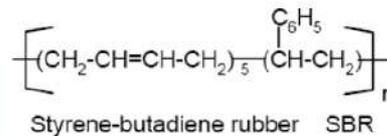
Karet alam tersusun dari *polyisoprene* dengan susunan geometri 100% cis-1,4 dan memiliki berat molekul antara 1 hingga 2 juta. Struktur ini memberikan karet alam karakteristik seperti sifat fisik unggul, termasuk elastisitas, kekuatan tarik, dan ketahanan terhadap deformasi (Suhardjo *et al.*, 2011). Namun, karena sifatnya yang non-polar dan tingginya kandungan ikatan rangkap dalam molekulnya, karet alam memiliki kelemahan yaitu kurang tahan terhadap oksidasi, ozon, suhu tinggi, serta cenderung mengembang saat kontak dengan minyak (Cifriadi *et al.*, 2011).

2. Karet Sintetis

Karet sintetis merupakan elastomer buatan yang berasal dari turunan minyak bumi, seperti *butadiena stirena*, *isoprena*, *etilena*, *propilena*, dan lainnya (Suroso, 2018). Karet sintetis memiliki banyak jenis dengan struktur kimia yang khusus, sementara karet alam hanya memiliki 1 (satu) jenis, namun dibedakan dalam beberapa tipe dan kualitas (Nasruddin, 2020). Terdapat banyak jenis karet sintetis seperti karet *Styrene Butadiene Rubber* (SBR), *Butadiene Rubber* (BR), karet *Ethylene Propylene Diene Monomer* EPDM dan banyak jenis lainnya. Berikut merupakan jenis karet sintetis yang digunakan pada percobaan ini:

a. Karet SBR (*Styrene Butadiene Rubber*)

Karet SBR atau *Styrene Butadiene Rubber* adalah karet sintetis yang diproduksi melalui kopolimer stirena ($C_6H_5-CH=CH_2$) dan butadiena ($CH_2=CH-CH=CH_2$) yang tersusun seperti gambar 2.2 (Dhanorkar *et al.*, 2021).

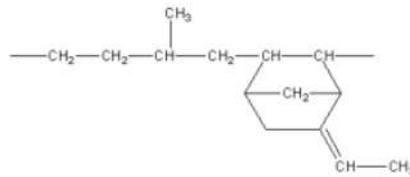


Gambar 2. 2 Struktur kimia karet SBR(Walker, 2012)

SBR adalah kopolimer dari dua monomer primer stirena dan 1,3-butadiena. Sifat mekanik yang dimiliki karet SBR adalah memiliki kekuatan tarik, ketahanan abrasi yang sangat baik, sehingga cocok untuk aplikasi berkinerja tinggi (Nuyah, 2011).

b. Karet EPDM

Karet EPDM atau *Ethylene Propylene Diene Monomer* merupakan jenis karet sintetis yang ter polimer dari tiga monomer utama yaitu etilena ($CH_2=CH_2$), propilena ($CH_2=CH(CH_3)$) dan diena, dengan rumus struktur dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Struktur kimia karet EPDM(Mayasari & Yuniari, 2016)

Rantai Utama jenuh atau etilena-propilena memberikan sifat ketahanan ozon, UV dan cuaca ekstrem sedangkan diena memungkinkan pembentukan ikatan silang melalui sulfur maupun peroksida (Yuniari, *et al.*, 2016). EPDM dapat membantu proses vulkanisasi dengan sistem non-sulfur, namun dengan melibatkan peroksida sebagai agen vulkanisasi, penggunaan ini bermanfaat dalam mencegah polusi terkait penggunaan belerang (Teker *et al.*, 2024).

B. Vulkanisasi

Vulkanisasi merupakan proses penting dalam proses produksi kompon karet, di mana terjadi pembentukan ikatan silang antara molekul karet dan agen pemvulkanisasi (Pireno *et al.*, 2013). Vulkanisasi karet memiliki banyak jenis seperti vulkanisasi sulfur (konvensional), vulkanisasi efisien, semi efisien, dan vulkanisasi non-sulfur.

Sistem vulkanisasi konvensional merupakan sistem vulkanisasi dengan penggunaan rasio sulfur lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan akselerator, sehingga menghasilkan ikatan polisulfida yang dapat menghasilkan struktur jaringan yang sangat fleksibel dan mendukung terbentuknya sifat mekanik yang unggul (Yuniari *et al.*, 2015). Sistem

vulkanisasi efisien merupakan vulkanisasi yang menggunakan rasio akselerator tinggi dan sulfur rendah, menghasilkan ikatan silang mono-sulfida yang lebih stabil secara termal (Cafriadi & Falaah, 2013). Sistem Vulkanisasi semi-efisien merupakan metode vulkanisasi yang menggunakan rasio sulfur dan akselerator hampir sama sehingga menghasilkan ikatan silang yang mengandung campuran ikatan sulfur monosulfida dan polisulfida dengan konsentrasi sedang.

C. Vulkanisasi Non-Sulfur

Sistem vulkanisasi non-sulfur merupakan proses vulkanisasi dalam matriks karet tanpa menggunakan sulfur sebagai agen pengikat. Sistem vulkanisasi non-sulfur memiliki beberapa jenisnya seperti vulkanisasi radiasi, sistem vulkanisasi metal oksida, sistem vulkanisasi *urethane*, vulkanisasi peroksida, dan jenis lainnya.

Sistem vulkanisasi radiasi merupakan metode vulkanisasi pada lateks karet alam yang dilakukan dengan memaparkan lateks tersebut pada radiasi pengion berenergi tinggi, seperti sinar gamma. Metode ini memiliki keunggulan dalam mengurangi bahkan menghilangkan kandungan alergen, sesuatu yang tidak dapat dicapai melalui proses vulkanisasi berbasis sulfur (Handayani *et al.*, 2020).

Sistem vulkanisasi metal oksida merupakan metode proses ikatan silang pada karet menggunakan oksida logam sebagai aktivator utama atau agen vulkanisasi, metal oksida berperan sebagai asam akseptor yang menetralkan produk samping vulkanisasi dan membantu pembentukan

ikatan silang stabil (Feldstein *et al.*, 2011). Jenis metal oksida yang umum digunakan seperti *Zinc Oxide* (ZnO), *Magnesium Oxide* (MgO) dan *Lead Oxide* (PbO).

Sistem vulkanisasi *urethane* merupakan metode vulkanisasi non-sulfur yang menggunakan senyawa *urethane* sebagai agen pengikat silang. Sistem ini sering digunakan pada karet poliuretan (PU) untuk meningkatkan elastisitas, kekuatan, dan ketahanan terhadap abrasi (Wibawa & Soewarno, 2007). Karet poliuretan merupakan elastomer hasil reaksi kimia antara isosianat dan poliol yang membentuk ikatan silang elastis dan tahan lama. Material ini memiliki sifat mekanik yang kuat, tahan abrasi, serta resisten terhadap bahan kimia dan suhu tertentu sehingga cocok untuk aplikasi karet teknis. Sementara itu, PU spons adalah material elastomerik berpori dengan struktur berongga yang membuatnya ringan dan empuk. Spons PU memiliki tekstur berpori terbuka atau tertutup yang dirancang untuk aplikasi bantalan, isolasi, dan penyerapan energi.

Selain itu terdapat sistem vulkanisasi non-sulfur peroksida seperti penggunaan bahan *Dicumyl Peroxide* (DCP) sebagai bahan pemvulkanisasi (Umar, 2010). Sistem vulkanisasi peroksida menghasilkan *set* permanen rendah dan stabilitas termal tinggi sehingga cocok untuk aplikasi berkinerja tinggi (Kruželák *et al.*, 2023). *Set* permanen rendah berpengaruh pada sifat akhirnya seperti karet dapat kembali ke bentuk asalnya setelah diregangkan atau ditekan. Sehingga karet tetap elastis dan lentur, tidak mudah rusak ketika digunakan, hal ini bagus untuk produk yang perlu kuat tapi juga

memberikan stabilitas termal dan kimia yang lebih baik pada karet vulkanisat.

Dicumil Peroxide merupakan senyawa organik yang banyak digunakan dan memiliki peran sebagai agen vulkanisasi dalam berbagai sistem polimer. *Dicumil peroxide* memiliki gugus fungsi kimia $C_{18}H_{18}O_4$. *Dicumyl peroxide* memiliki titik leleh sekitar $50^{\circ}C-55^{\circ}C$ dan titik didih sekitar $200^{\circ}C$, yang sangat mempengaruhi cara penggunaannya dalam proses vulkanisasi (Mahriyuni *et al.*, 2017). *Dicumyl peroxide* memiliki titik dekomposisi $120-125^{\circ}C$ yang merupakan suhu vulkanisasi terbaik untuk membentuk ikatan silang C-C. Proses vulkanisasi *dicumyl peroxide* umumnya dilakukan pada suhu $160^{\circ}C-190^{\circ}C$ (Fan *et al.*, 2023). Material ini stabil pada suhu ruang namun mudah terurai saat mencapai suhu aktivasi untuk menghasilkan radikal bebas yang diperlukan dalam pembentukan ikatan silang (Pramesti *et al.*, 2024).

Sistem vulkanisasi *non-sulfur* memiliki beberapa manfaat dan keunggulan dibandingkan metode berbasis sulfur. Bagi lingkungan sistem vulkanisasi non-sulfur dapat membantu mengurangi polusi, dapat menghindari penggunaan sulfur dan akselerator yang dapat menyebabkan emisi zat berbahaya seperti nitrosamin dan SO_2 yang lebih rendah selama pembakaran (Dolgoplosk *et al.*, 2016).

D. Parameter Proses Vulkanisasi

Parameter proses vulkanisasi merupakan bagian penting dalam proses produksi yaitu untuk mendapatkan produk dengan kualitas terbaik.

Adapun parameter yang perlu diperhatikan dalam proses produksi yaitu:

1. Suhu Vulkanisasi

Suhu vulkanisasi adalah tingkatan panas yang diterapkan selama proses vulkanisasi karet, yang mempengaruhi laju reaksi dan kualitas produk akhir (Pireno *et al.*, 2013). Suhu yang lebih tinggi umumnya dapat mempercepat proses vulkanisasi, namun dapat menyebabkan reaksi yang tidak diinginkan seperti reversi yang dapat menurunkan sifat material (Shashok, 2022). Suhu secara signifikan mempengaruhi proses vulkanisasi, mempengaruhi tingkat kematangan dan kepadatan ikatan silang (Tang *et al.*, 2023).

2. Torsi Maksimal (Mh)

Maksimum torsi adalah nilai torsi tertinggi yang dicapai selama proses vulkanisasi. Parameter ini mencerminkan tingkat ikatan silang maksimum yang dapat dicapai oleh kompon karet pada kondisi vulkanisasi (Yahaya & Adebowale, 2014). Nilai ini mencerminkan tingkat ikatan silang maksimum yang terbentuk dalam struktur polimer karet. Nilai torsi maksimum mencerminkan jumlah ikatan silang yang terbentuk selama proses vulkanisasi (Yuniari, *et al.*, 2016). Torsi maksimum (Mh) berkorelasi dengan sifat mekanik seperti kekerasan dan elastisitas. Mh yang terlalu tinggi menyebabkan material menjadi kaku dan elastisitas berkurang, sedangkan Mh yang rendah

menunjukkan material terlalu lunak dengan kekuatan mekanik yang menurun. Perbedaan antara torsi maksimum dan minimum ($\Delta M = M_h - M_l$) menunjukkan tingkat kematangan vulkanisasi serta kerapatan ikatan silang dalam material. Oleh karena itu, selisih kedua nilai tersebut secara tidak langsung dapat digunakan sebagai indikator tingkat kerapatan ikatan silang total pada suatu kompon karet (Yuniari, *et al.*, 2016).

3. Torsi Minimal (Ml)

Torsi minimal merupakan proses saat kompon karet mengalami peningkatan suhu ketika di bawah tekanan, sehingga viskositas menurun dan nilai torsi yang menurun (Pajtášová *et al.*, 2019). Parameter ini menunjukkan sifat alir (*flowbility*) dan *processability* kompon karet. Kenaikan torsi minimal digambarkan dengan induksi awal yang telah terjadi pada proses awal antara *filler* dengan matriks polimer yang menghasilkan ikatan silang.

4. Scorch Time (Ts)

Scorch time adalah periode awal di mana reaksi kimia berlangsung secara perlahan antara karet dan bahan aditif (Yuniari, Setyorini, *et al.*, 2016). Tahap ini merupakan waktu yang ditempuh kompon dari awal proses pemanasan hingga awal vulkanisasi, atau biasa disebut waktu induksi. *Scorch time* juga dapat digunakan sebagai ukuran keamanan proses yang menunjukkan seberapa lama kompon karet dapat diproses pada suhu tertentu sebelum vulkanisasi dimulai (Prasetya & Marlina, 2010). Ketahanan terhadap *scorch* dapat diukur dengan waktu

yang diperlukan, pada suhu tertentu, untuk mulai pembentukan ikatan silang yang akan ditandai dengan peningkatan viskositas. *Scorch time* juga diartikan sebagai reaksi terbentuknya ikatan silang antara molekul karet dan bahan aditif yang selanjutnya akan membentuk ikatan silang hingga t_{c90} (Mayasari *et al.*, 2018).

5. Waktu Optimum (t_{c90})

Waktu optimum adalah durasi yang diperlukan oleh komponen karet untuk mencapai tingkat kematangan penuh, di mana proses pembentukan ikatan silang berlangsung secara maksimal dengan bantuan energi panas (Mayasari *et al.*, 2018). Waktu optimum akan memastikan bahwa karet mencapai sifat mekanik maksimumnya tanpa mengalami pembalikan, yang dapat menurunkan kinerja material (Setiawan, 2020). Waktu optimum sangat penting karena secara langsung mempengaruhi sifat akhir karet. Kurangnya waktu optimum akan menghasilkan ikatan silang yang tidak sempurna, sehingga karet menjadi kurang elastis dan memiliki kekuatan tarik yang rendah (Pianese *et al.*, 2024). Sebaliknya waktu optimum yang terlalu lama dapat menyebabkan kerusakan pada struktur molekul karet. *Overcure* dapat menimbulkan efek keras dan rapuh pada karet, sehingga mengurangi elastisitas dan ketahanan aus (A. Puspitasari, 2018).

E. Sifat Fisis dan Mekanis

Proses vulkanisasi karet memiliki tujuan untuk meningkatkan sifat fisik maupun mekanik karet dengan membentuk ikatan silang antar rantai polimer. Sifat mekanis dan fisis utama yang dipengaruhi oleh vulkanisasi antara lain densitas, kekerasan, kuat tarik dan elongasi. Berikut adalah sifat fisis dan mekanis yang harus ada pada vulkanisat karet.

1. Densitas

Metode yang digunakan untuk mengukur massa jenis suatu bahan, yaitu perbandingan antara massa bahan dengan volumenya (Hanifarianty & Fathurrohman, 2023). Pengujian densitas adalah Pengujian ini berfungsi untuk menilai kualitas dan homogenitas bahan karet, dan mengidentifikasi adanya cacat dalam material. Adanya cacat dapat diketahui seperti dari perbandingan nilai densitas dengan standar atau spesifikasi yang telah ditetapkan.

2. Kekerasan

Kekerasan merupakan parameter untuk mengukur tingkat kekuatan atau ketahanan suatu kompon karet terhadap deformasi. Semakin tinggi tingkat kekakuan produk karet, maka nilai kekerasannya pun akan semakin besar (Indah Sari *et al.*, 2021). Vulkanisasi karet dapat meningkatkan Kekerasan dengan membentuk ikatan silang yang memperkuat struktur polimer. Peningkatan derajat vulkanisasi dapat meningkatkan kekerasan, sehingga karet menjadi lebih keras dan tahan terhadap deformasi permanen. Tingkat kekerasan hasil vulkanisasi dapat bervariasi, tergantung pada jenis serta jumlah bahan pengisi dan

plasticizer yang digunakan dalam formulasi kompon (Falaah *et al.*, 2013). Pengujian ini bekerja berdasarkan prinsip penetrasi jarum dengan beban konstan terhadap sampel karet yang telah divulkanisasi, dilakukan pada kondisi yang telah ditentukan (Nurhayati *et al.*, 2013). Pengukuran Kekerasan pada karet dilakukan menggunakan durometer shore A.

3. Kuat Tarik

Kuat tarik merupakan pengujian di mana beban maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material per satuan luas penampang sebelum putus. Kuat tarik kompon biasanya diukur dalam satuan MPa atau kg/cm^2 (Ferdian *et al.*, 2015). Sifat ini sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap peregangan. Kuat tarik kompon dapat ditingkatkan melalui optimasi sistem vulkanisasi, terutama dengan mengontrol rasio antara bahan pemvulkanisasi dan bahan percepat. Metode pengujian kuat tarik kompon diatur dalam standar ASTM D412 atau ISO 37.

4. Elongasi

Elongasi merupakan nilai yang menunjukkan pertambahan panjang spesimen ketika diberikan gaya tarik sampai putus (Sunardi *et al.*, 2020) Pengujian elongasi dilakukan dengan mengukur selisih antara panjang spesimen setelah mengalami tarikan dan panjang awal sebelum uji tarik. Melalui pengujian ini, tingkat kelenturan atau kemuluran

material dapat diketahui, khususnya dalam kaitannya dengan variasi komposisi yang diberikan selama perlakuan (Saputra *et al.*, 2015)



BAB III

MATERI DAN METODE TUGAS AKHIR

A. Metode Pelaksanaan Tugas Akhir

Tugas akhir yang akan dikaji berupa penyelesaian masalah (*problem solving*) mengenai optimalisasi suhu vulkanisasi pada produk *boot meter coupler*. Permasalahan yang terjadi yaitu belum ditemukannya *setting* parameter suhu dan waktu vulkanisasi yang terbaik untuk pembuatan produk *boot meter coupler* sehingga waktu proses produksi memerlukan waktu yang cukup lama sehingga mengganggu proses produksi.

Metode yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah observasi, wawancara, dan percobaan menggunakan mesin rheometer dengan memanfaatkan hasil pengujian untuk menyelesaikan tugas akhir. Selain itu dilakukan studi literatur dari buku dan jurnal terdahulu yang akan mendukung data hasil percobaan menggunakan mesin rheometer yang akan dilakukan di perusahaan. Adapun penjelasan dari metode-metode tersebut antara lain.

1. Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer merupakan proses memperoleh informasi secara langsung dari sumber pertama, tanpa melalui pihak ketiga atau perantara perusahaan. Beberapa tahapan yang dilakukan untuk memperoleh data ini antara lain sebagai berikut

a. Observasi

Observasi dilakukan secara langsung di PT Indoprima Gemilang *Plant 6*. Proses pengamatan secara langsung bertujuan untuk mendapatkan data yang objektif dan sistematis. Pengamatan yang dilakukan meliputi prosedur pembuatan produk *boot meter coupler* dengan hasil akhir dan memperhatikan waktu dan suhu serta cacat yang terdapat dalam proses pembuatan. Berdasarkan observasi yang dilakukan diperoleh data parameter untuk melakukan proses percobaan dengan hasil data pengujian rheometer.

b. Wawancara

Metode wawancara digunakan sebagai sarana untuk memperoleh informasi tambahan yang mendukung proses eksperimen dan penulisan tugas akhir. Teknik ini dilakukan dengan mengajukan pertanyaan langsung kepada pihak-pihak terkait, seperti divisi *engineering, research and development, quality control*, serta operator mesin *compression hot press*. Informasi yang diperoleh dapat memudahkan dalam melakukan percobaan pada proses produksi.

c. Metode Percobaan

Metode percobaan yang dilakukan melibatkan penulis yang didampingi oleh divisi *engineer, research and development, quality control* dan operator produksi. Percobaan dilakukan dengan memperhatikan data hasil pengujian rheometer yang telah

dilakukan di perusahaan. Langkah selanjutnya yaitu menentukan variabel faktor untuk melakukan percobaan berdasarkan hasil rheometer dengan menggunakan matriks simulasi sebanyak 4 variasi suhu vulkanisasi, di mana setiap variasi suhu diuji menggunakan 3 sampel. Selanjutnya setelah diperoleh variabel hasil rheometer akan dilakukan proses percobaan pada mesin compression hot press untuk mengetahui *setting* suhu dan waktu vulkanisasi yang optimal. Hasil yang sudah didapatkan dari proses akan dilakukan analisa sifat lebih lanjut.

d. Metode Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan untuk menunjang penulisan tugas akhir. Penulisan mengambil dokumentasi berupa foto mesin, dan foto produk *boot meter coupler*. Pengambilan foto juga memerlukan izin dari pihak perusahaan guna menjaga kerahasiaan beberapa hal dari perusahaan yang memang tidak boleh dipublikasikan.

2. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber tidak langsung, biasanya melalui kajian pustaka. Studi literatur dilakukan dengan merujuk pada berbagai teori dan informasi yang relevan sebagai landasan ilmiah bagi penulis dalam menyusun tugas akhir. Studi literatur dilakukan untuk pengambilan data secara teoritis dengan mempelajari dan memahami studi literatur yang berkaitan dengan permasalahan yang sedang dianalisis. Fokus studi yang dilakukan ada

dengan hasil pengujian rheometer untuk mengetahui suhu vulkanisasi terbaik yang dapat menghasilkan produk sesuai dengan standar produk *boot meter coupler*.

B. Lokasi dan Waktu Pengambilan Data

Lokasi Pengambilan data dilakukan di PT Indoprima Gemilang *Plant 6 Rubber* yang terletak di Jl. Banjar Sugihan Baru No.7, Banjar Sugihan, Kec. Tandes, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia. Kegiatan ini berlangsung selama 6 bulan mulai tanggal 28 Oktober 2024 sampai dengan tanggal 28 April 2025. Data diperoleh saat magang pada divisi *engineer*, divisi *research and development*, divisi *quality control* dan operator produksi.

C. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk memproduksi produk *boot meter coupler* antara lain.

1. Alat

Alat-alat yang digunakan untuk membuat produk *boot meter coupler* antara lain timbangan, mesin roll mill, kneader, compression hot press, rheometer, durometer shore A, dan UTM (*Universal Testing Machine*). Alat-alat yang digunakan akan dijelaskan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Alat dan permesinan yang digunakan untuk proses produksi boot meter coupler

No	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
1	Timbangan		Instrumen yang digunakan untuk menimbang Produk
2	Mesin Roll Mill		Alat yang digunakan untuk mencampurkan material hingga homogen
3	Mesin Kneader		Alat yang digunakan untuk mencampurkan material hingga homogen
4	Mesin Compression Hot Press		Alat yang digunakan untuk mencetak produk
5	Mesin Rheometer		Alat yang digunakan untuk pengecekan kompon
6	Mesin UTM (<i>Universal Testing Machine</i>)		Alat yang digunakan untuk menguji sifat mekanis produk
7	Durometer shore A		Alat yang digunakan untuk mengukur kekerasan elastomer
8	Densitometer		Alat yang digunakan untuk mengukur dan menganalisis tingkat kepadatan suatu material atau zat

2. Bahan

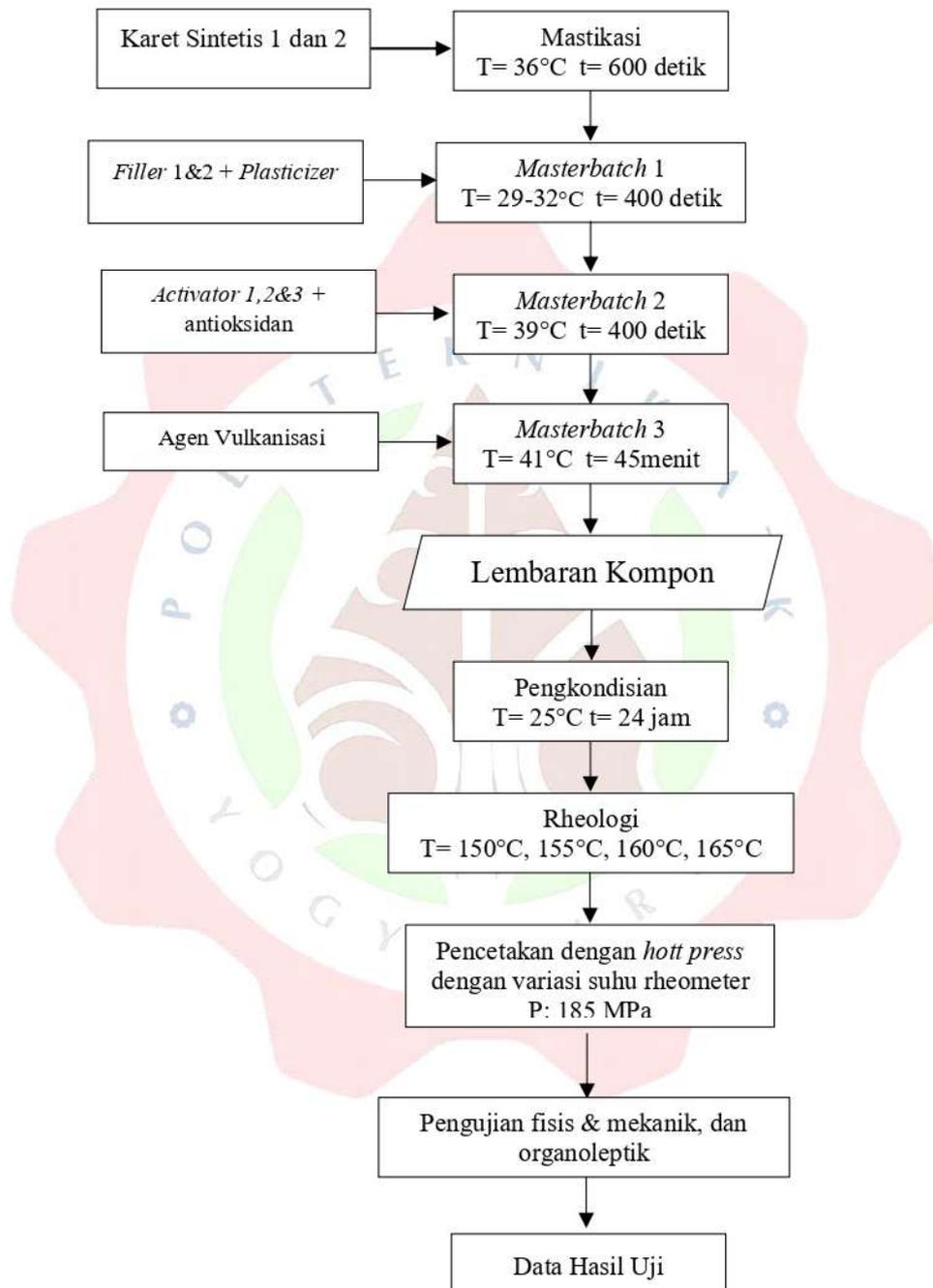
Bahan yang digunakan untuk membuat produk *boot meter coupler* dapat dijelaskan pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Bahan yang digunakan untuk produksi boot meter coupler

No.	Nama Material	Berat (g)	Proporsi (%)	Fungsi
1	EPDM	1.120	70	Elastomer
2	SBR	480	30	Elastomer
3	<i>Filler 1</i>	776	48,5	Menambah volume dan meningkatkan sifat mekanis
4	<i>Filler 2</i>	720	45	Menambah volume dan meningkatkan sifat mekanis
5	<i>Plasticizer</i>	288	18	Menurunkan Viskositas sehingga lebih fleksibel
6	<i>Activator 1</i>	100	5	Menggiatkan kinerja agen vulkanisasi
7	<i>Activator 2</i>	24	1	Menggiatkan kinerja agen vulkanisasi
8	<i>Activator 3</i>	32	2	Menggiatkan kinerja agen vulkanisasi
9	Antioksidan	34	1,5	Mencegah terjadinya kerusakan karena oksidasi
10	<i>Dycumil Peroxide</i>	160	10	Pengganti agen vulkanisasi

D. Metode Percobaan

Tahap pembuatan spesimen produk *boot meter coupler* disajikan melalui skema kerja pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Skema kerja pembuatan produk boot meter coupler

Berdasarkan skema kerja pembuatan produk pada gambar 3.1 dijelaskan bahwa pembuatan spesimen uji produk *boot meter coupler* terdiri dari beberapa tahapan seperti penimbangan bahan, mastikasi, *masterbatch* yang terdiri 3 tahapan, pengkondisian, uji rheologi, pencetakan sampel uji, pemotongan spesimen uji, pengujian fisis dan mekanis. Skema kerja akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Proses Penimbangan Bahan

Proses penimbangan dilakukan dengan formulasi dan jumlah yang telah ditetapkan perusahaan. Bahan yang akan ditimbang antara lain; karet sintetis, *filler*, *plasticizer*, antioksidan, *activator*, dan agen vulkanisasi.

2. Proses Mastikasi

Proses mastikasi merupakan proses pelunakan elastomer yang bertujuan untuk mempermudah masuknya bahan pengisi ke dalam elastomer. Proses mastikasi dilakukan sebanyak dua kali menggunakan mesin roll mill dan mesin kneader. Proses mastikasi yang dilakukan pada mesin roll mill dilakukan hingga karet sintetis 1 dan 2 tercampur namun belum homogen. Selanjutnya dilakukan proses mastikasi pada mesin kneader dengan *setting* waktu 600 detik dengan suhu 36°C.

3. Proses *Masterbatch*

Proses *masterbatch* yang terdiri 3 tahapan yaitu

a. *Masterbatch 1*

Proses *masterbatch 1* dilakukan pada mesin kneader. Selanjutnya elastomer yang telah di mastikasi pada mesin kneader ditambahkan *filler 1*, *filler 2*, dan *plasticizer* dengan waktu proses selama 400 detik dengan suhu mesin berkisar 29°C sampai 32°C.

b. *Masterbatch 2*

Proses *masterbatch 2* dilakukan penambahan *activator 1*, *activator 2*, *activator 3* dan antioksidan dengan waktu proses selama 400 detik dengan suhu mesin 34°C-37°C.

c. *Masterbatch 3*

Proses *masterbatch 3* dilakukan pada mesin *roll mill*, di mana hasil pencampuran pada mesin kneader dipindahkan pada mesin *roll mill*. Selanjutnya ditambahkan agen vulkanisasi proses pencampuran selama 45 menit dengan suhu 41°C. Waktu yang relatif lama tersebut disebabkan sulitnya agen vulkanisasi untuk bercampur dengan kompon karena setiap penambahannya membuat kompon licin dan berair. Kompon dibentuk lembaran untuk memudahkan proses pemotongan spesimen kompon.

4. Pengkondisian

Kompon karet yang dihasilkan selanjutnya dilakukan pengkondisian selama 24 jam dengan suhu 25°C. Pengkondisian dilakukan agar tidak terjadi pematangan dini pada kompon karena terlalu panas.

5. Pengujian Rheologi

Pengujian rheologi kompon bertujuan untuk mengetahui suhu dan waktu vulkanisasi optimal yang dibutuhkan untuk mencetak kompon menjadi vulkanisat. Pengujian rheologi dilakukan dengan variasi suhu 150°C, 155°C, 160°C dan 165°C dengan pengulangan 3 sampel uji. Pengambilan suhu vulkanisasi untuk mengoptimalkan laju dan efisiensi vulkanisasi, serta mendapatkan keseimbangan antara kecepatan reaksi, pembentukan ikatan silang, dan kestabilan termal vulkanisat. Pada suhu lebih rendah, laju reaksi lambat dan waktu vulkanisasi lebih panjang, sedangkan pada suhu makin tinggi laju reaksi lebih cepat namun berisiko menghasilkan struktur yang lebih rapuh. Kompon yang akan diuji dilakukan pemotongan berbentuk kotak kecil dengan berat 5-7 gram. Pengujian rheologi dilakukan menggunakan mesin rheometer.

6. Pencetakan Sampel Uji

Pencetakan sampel uji produk *boot meter coupler* menggunakan mesin compression hot press dengan variasi suhu

vulkanisasi hasil pengujian rheologi. Waktu vulkanisasi didapat dari hasil pengujian rheologi yang akan dilakukan perhitungan dengan persamaan 1. Hasil perhitungan akan digunakan sebagai acuan untuk proses cetak spesimen berupa dumbel.

$$\text{Waktu pencetak produk} = \frac{\text{Tebal Produk}}{\text{Tebal Spesimen Reo}} \times tc90 \quad (1)$$

7. Pengujian Fisis dan Mekanis

Hasil pencetakan sampel akan dilakukan pengujian fisis dan mekanis. Pengujian yang akan dilakukan adalah uji organoleptik, uji fisis berupa densitas dan uji mekanis seperti kekerasan, kuat tarik dan elongasi. Pengujian ini menggunakan sampel uji berupa *dumbbel* yang akan dijelaskan sebagai berikut.

a. Uji Organoleptis

Uji organoleptis dilakukan dengan menganalisis menggunakan indera manusia antara lain indera penglihat, indera penciuman, dan indera peraba. Pengujian ini dilakukan agar mengetahui menganalisis visual dari hasil pencetakan sudah sesuai dengan standar perusahaan atau belum.

b. Pengujian Densitas

Pengujian densitas akan dilakukan menggunakan densitometer. Pengujian ini dilakukan pada seluruh hasil pencetakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kerapatan material yang dihasilkan. Pengujian densitas

dilakukan menggunakan ASTM D297 dengan pengukuran densitas dengan metode volume dan massa secara presisi. Pengujian dilakukan dengan pemotongan *dumbbel* dan dilakukan penimbangan kering untuk mengetahui berat, selanjutnya dilakukan penimbangan basah untuk mengetahui volume spesimen menggunakan alat timbang densitas. Hasil densitas juga dapat diperoleh dari hasil pengukuran dan penimbangan (Hamni *et al.*, 2013). Perhitungan densitas (ρ) dalam kg/m^3 menggunakan persamaan 2.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Keterangan:

ρ = Densitas

m = massa (kg)

V = Volume (m^3)

c. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui besarnya kekerasan vulkanisat karet menggunakan alat seperti durometer shore A (Maryanti *et al.*, 2018). Alat ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik material karet yang akan diuji. Pengujian kekerasan dilakukan pada hasil pencetakan spesimen dengan menggunakan masing-masing tiga sampel uji untuk setiap variasi suhu vulkanisasi. Penggunaan tiga sampel uji bertujuan untuk memperoleh

data yang akurat dan mengurangi faktor kesalahan dalam pengukuran. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel *dumbbel* yang ditumpuk hingga tiga bagian, dan diuji menggunakan alat durometer shore A dengan diberikan gaya tekanan.

d. Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik sampel vulkanisat karet dilakukan dengan menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) yang menggunakan standar pengujian ASTM D412. Uji mekanik penting untuk mengetahui kemampuan material menahan beban tarik (Nugraha *et al.*, 2020). Hasil pengujian akan dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\sigma = \frac{F \text{ maks}}{A_0} \quad (3)$$

Keterangan:

σ = Tensile Strength (kg/cm²)

$f \text{ maks}$ = Tegangan Maksimum (kg)

A_0 = Penampang Mula-mula (cm²)

e. Pengujian Elongasi

Pengujian elongasi diperoleh dari hasil pengujian kuat tarik menggunakan mesin UTM yang menggunakan standar ASTM D412. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur seberapa jauh suatu material dapat memanjang

sebelum putus saat diberikan gaya tarik. Nilai *strain* menunjukkan perubahan panjang relatif material ketika diberi beban tarik (Nugraha *et al.*, 2020). Hasil pengujian akan dihitung dengan persamaan 4.

$$\% \text{ elongasi} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

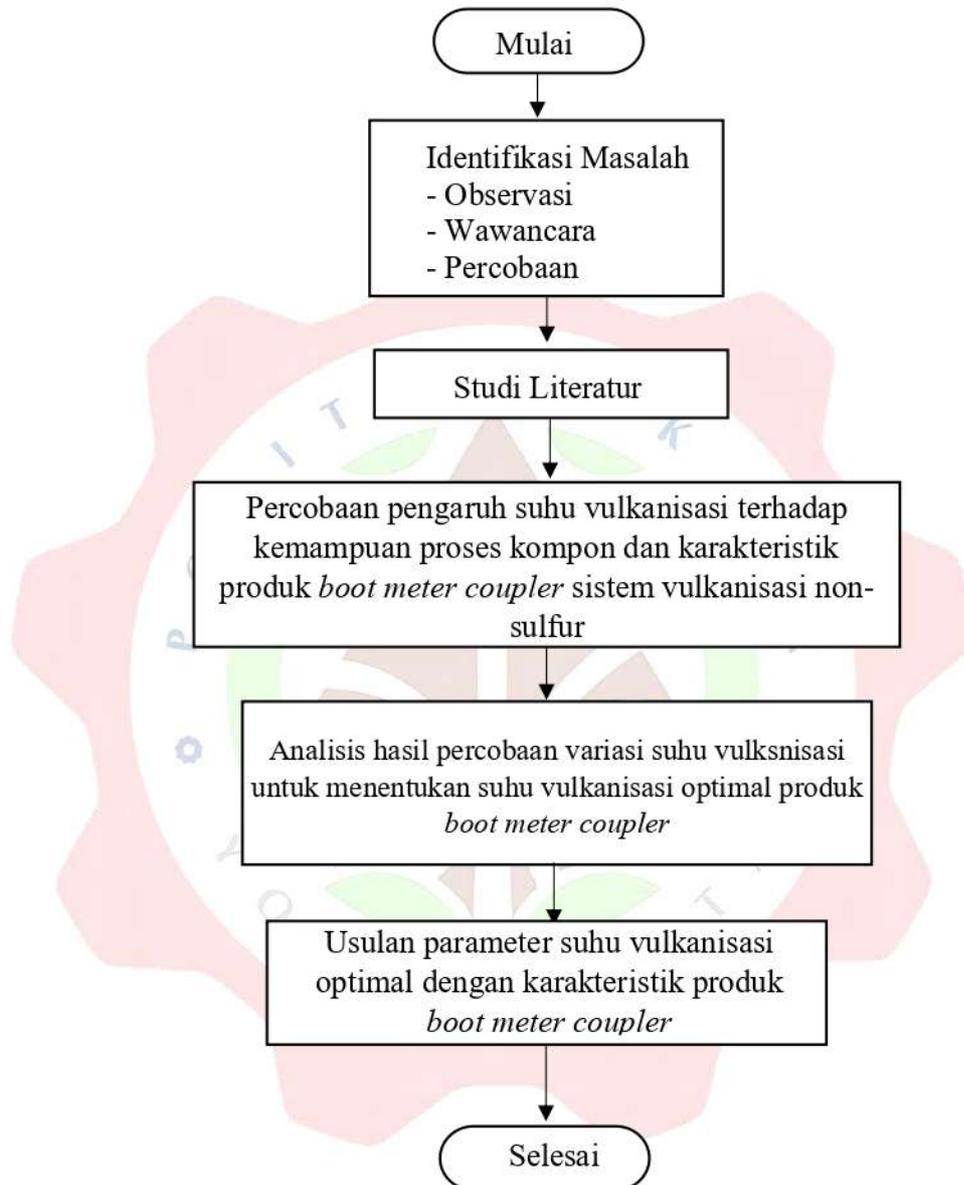
l = panjang setelah putus (cm)

l_0 = panjang mula -mula (cm)



E. Tahapan Penyelesaian Tugas Akhir

Tahap penyelesaian tugas akhir akan dijelaskan melalui diagram alir pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram alir tahapan penyelesaian tugas akhir

Berdasarkan diagram alir pada gambar 3.2 dapat dijelaskan secara detail sebagai berikut.

1. Identifikasi Masalah

Tahapan identifikasi masalah dimulai dengan melakukan observasi terhadap hasil percobaan yang telah dilaksanakan oleh divisi *research and development* guna mengetahui permasalahan yang dihadapi. Setelah memperoleh gambaran permasalahan, dilakukan wawancara dengan pihak-pihak yang terkait. Narasumber yang dilibatkan meliputi divisi *research and development*, divisi *engineer*, dan divisi *quality control* yang dapat memberikan kontribusi dalam penyelesaian masalah untuk keperluan tugas akhir ini. Percobaan dilakukan bersama dengan divisi *engineer* dan di dokumentasi guna mendukung penyusunan tugas akhir.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilaksanakan untuk mengumpulkan berbagai informasi dan data yang relevan dengan permasalahan yang akan dikaji. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh landasan teori mengenai optimasi suhu vulkanisasi dari berbagai sumber pustaka yang valid. Melalui studi literatur, penulis dapat mengidentifikasi teori- teori, metode- metode, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik yang dikaji. Hasil dari studi literatur yang telah dilakukan kemudian akan digunakan sebagai dasar teoritis dan bahan pertimbangan dalam

merumuskan solusi untuk menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir ini.

3. Percobaan Variasi Suhu Vulkanisasi Kompon Non-Sulfur

Percobaan dilakukan dengan memvariasikan parameter suhu vulkanisasi kompon non-sulfur menggunakan mesin rheometer. Selanjutnya akan dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis. Percobaan dilakukan seperti pada gambar 3.1.

4. Analisis Hasil Percobaan Variasi Suhu Vulkanisasi Kompon Non-Sulfur

Berdasarkan hasil percobaan akan dilakukan analisis. Analisis yang akan dilakukan adalah analisis parameter suhu vulkanisasi, torsi minimum (M_h), torsi maksimum (M_l), delta torsi (ΔM), *scorch time* (ts_2) dan waktu optimum vulkanisasi (tc_{90}). Selanjutnya akan dilakukan analisis lanjutan dari hasil parameter dengan melakukan pengujian produk *boot meter coupler*. Adapun pengujian yang dilakukan antara lain pengujian organoleptik, pengujian fisis dan mekanis.

5. Usulan Parameter Suhu Vulkanisasi Optimal dengan Kualitas Produk *Boot meter coupler*

Berdasarkan hasil percobaan serta hasil analisis, diperoleh usulan pemecahan masalah yang dapat digunakan untuk melakukan proses produksi *boot meter coupler*. Penulis akan memberikan usulan parameter suhu vulkanisasi terbaik proses dengan kualitas fisis dan mekanis yang sesuai dengan standar perusahaan.