

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH WAKTU TUNGGU *GREEN TIRE* SEBELUM PROSES VULKANISASI TERHADAP KUALITAS BAN RADIAL: STUDI KASUS DI PT XYZ



Disusun Oleh:

LUTHFI AULIYA INDAHWATI

NIM. 2203042

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

2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH WAKTU TUNGGU *GREEN TIRE* SEBELUM PROSES VULKANISASI TERHADAP KUALITAS BAN RADIAL: STUDI KASUS DI PT XYZ



Disusun Oleh:

LUTHFI AULIYA INDAHWATI

NIM. 2203042

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH WAKTU TUNGGU *GREEN TIRE* SEBELUM PROSES VULKANISASI TERHADAP KUALITAS BAN RADIAL: STUDI KASUS DI PT XYZ

Disusun oleh:

LUTHFI AULIYA INDAH WATI

NIM. 2203042

Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik

Pembimbing I,

Latifah Istivalina, M.Eng
NIP. 19910602 202202 2 001

Pembimbing II,

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

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: 28 Juli 2025

TIM PENGUJI

Ketua

Yuli Suwarno, S.T., M.Sc.
NIP. 19810704 200803 1 001

Anggota

Penguji II,

Latifah Istivalina, M.Eng
NIP. 19910602 202202 2 001

Penguji III,

Dr. Ratri Retno Utami, S.TP, M.T.
NIP. 19820331 200803 2 001

Yogyakarta, 28 Juli 2025

Direktur Politeknik ATK Yogyakarta



Dr. Sonny Taufan, S.H., M.H.
NIP. 19840226 201012 1 002

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat serta karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik, lancar, dan tepat waktu. Sebagai wujud rasa hormat, bukti semangat usaha serta rasa cinta kasih sayang orang-orang yang sangat berarti, Tugas Akhir ini Penulis persembahkan kepada:

1. Diri saya sendiri. Terima kasih telah berjuang, bertahan, dan berani keluar dari zona nyaman untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan semangat dan tepat waktu.
2. Ayah dan Ibu Penulis. Bapak Sukarno Eko Purnomo dan Ibu Indah Purwati. Terima kasih atas kepercayaan yang diberikan kepada penulis untuk merantau. Terima kasih atas segala doa yang terselip disetiap sholatnya, kasih sayang, serta dukungan materi yang diberikan selama ini. Tanpa adanya itu semua, penulis tidak akan mencapai titik ini.
3. Kakek Nenek Penulis serta 2 saudara/i Penulis. Bapak Basuki, Ibu Sulastri, Ibu Siti, Muhammad Riyan Anshori, dan Inayah Nazilatur Ramadhani. Terima kasih atas segala doa, dukungan, dan semangat yang diberikan kepada Penulis.
4. Seluruh Dosen dan Staff Politeknik ATK Yogyakarta yang telah mengampu Penulis selama kuliah, terutama Ibu Dr. Ratri Retno Utami, S.TP., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang memberikan motivasi penulis selama kuliah, dan memberikan kesempatan kepada penulis untuk bergabung dengan Tim Grant Riset Sawit 2023.
5. Segenap divisi Vulkanisir PT XYZ (Mr. Chen, Mr. Wei, Mr. Xie, Mbak Dewi, Mbak Lidiya, Mbak Winda, Mbak Dyah, Mas Afin, dan QC, *technology process*, serta operator mesin lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu) yang ikhlas memberikan pengetahuan, pengalaman luar biasa, dan menerima Penulis dengan baik selama delapan bulan Penulis melakukan Praktik Kerja Industri.

6. Sahabat terbaik Penulis yang selalu menemani saat suka maupun duka, Yovanka Agnestia, Santi Yulianti, dan Arinda Lela. Terima kasih telah meluangkan waktunya menjadi tempat dan pendengar yang baik ketika Penulis sedang merasa tidak semangat. Semoga pertemanan kita berlanjut hingga akhir hayat.
7. 13 teman magang Penulis di PT XYZ, Mbak Tria, dan Mbak Okta. Terima kasih atas bantuan, saran, kesabaran selama ini dan telah menjadi saksi perjuangan selama melaksanakan magang sampai penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman program studi TPKP angkatan 2022, terkhusus kelas B. Terima kasih telah membantu Penulis selama perkuliahan.
9. Jodoh Penulis. Untuk kamu yang akan menjadi bagian dari hidupku, meski kita belum dipersatukan. Semoga karya ini menjadi awal dari cerita indah yang akan kita tulis bersama.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat, karunia, serta ridho-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir tentang permasalahan Penentuan Waktu Tunggu *Green Tire* Sebelum Proses Vulkanisasi Terhadap Kualitas Ban Radial, serta memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan dan juga memperoleh gelar Ahli Madya Diploma III (D3) Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik di Politeknik ATK Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa kelancaran penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari doa, bimbingan, usaha, dan dukungan dari berbagai pihak. Maka dari 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, Nurwantoro, S.Kom., M.M., selaku Pembantu Direktur 2 Politeknik ATK Yogyakarta, dan Risang Pujianto, S.H., M.PA., selaku Pembantu Direktur 3 Politeknik ATK Yogyakarta
3. Dr. Wisnu Pambudi, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik.
4. Latifah Listyalina, M.Eng., dan Diana Ross Arief, S.Pd., M.A., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
5. Pimpinan dan *staff* karyawan di PT XYZ, terkhusus kepada Mr. Dave, Pak Donny, dan Kak Bryan.

Demikian, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca mengenai pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap kualitas ban jadi.

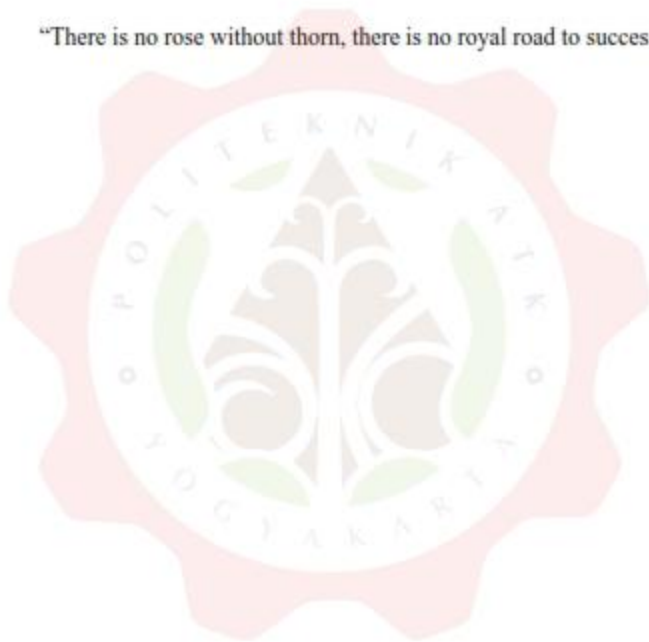
Kendal, 20 Juni 2025
Penulis

MOTTO

“Dan janganlah kamu (merasa) lemah, dan jangan (pula) bersedih hati, sebab kamu paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang yang beriman.”

(Q.S. Ali ‘Imran: 139)

“There is no rose without thorn, there is no royal road to success.”



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	v
MOTTO.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR ISTILAH	xii
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Tugas Akhir.....	4
D. Manfaat Tugas Akhir.....	5
E. Batasan Masalah Tugas Akhir.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Karet.....	7
B. Ban	10
C. Proses <i>Green Tire</i> pada Ban	13
D. Vulkanisasi Ban.....	16
E. Penilaian Kualitas Ban	21
F. Metode Analisis Statistik	28
G. Penelitian Terdahulu.....	31

BAB III METODE DAN MATERI TUGAS AKHIR.....	33
A. Lokasi dan Waktu.....	33
B. Materi Tugas Akhir	33
C. Metode Pelaksanaan Tugas Akhir	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
A. Pengaruh Waktu Tunggu <i>Green Tire</i> Terhadap Kekerasan Tapak Sebelum Vulkanisasi Dengan Kode <i>Spray 7.50R16-14PR A C ID</i>	46
B. Pengaruh Waktu Tunggu <i>Green Tire</i> Terhadap Kekerasan Tapak Ban Setelah Vulkanisasi Dengan Spesifikasi 7.50R16-14PR AZ676	49
C. Pengaruh Waktu Tunggu <i>Green Tire</i> Terhadap Munculnya Cacat Pada Ban Spesifikasi 7.50R16-14PR AZ676 Dan Menentukan Waktu Tunggu <i>Green Tire</i> Terbaik.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
A. Kesimpulan	62
B. Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	64
LAMPIRAN.....	71

DAFTAR TABEL

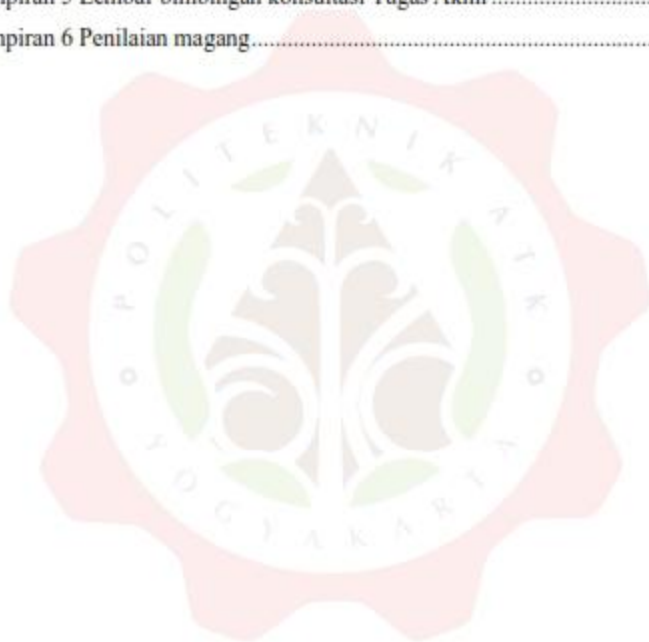
Tabel 2. 1 Rasio accelerator terhadap sulfur di berbagai sistem vulkanisasi	19
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kekerasan pada Tapak Green tire Sebelum Vulkanisasi	47
Tabel 4. 2 Hasil Uji ANOVA One-Way Kekerasan Sebelum Vulkanisasi	48
Tabel 4. 3 Hasil rata-rata Pengulangan Waktu Tunggu Terhadap Kekerasan Tapak Ban Setelah Vulkanisasi	50
Tabel 4. 4 Hasil Uji ANOVA One-Way Kekerasan Setelah Vulkanisasi	53
Tabel 4. 5 Hasil Pengulangan Durasi Tunggu tanpa waktu tunggu Terhadap Banyaknya Cacat Visual dan x-ray yang Muncul	55
Tabel 4. 6 Hasil Pengulangan Durasi Tunggu 30 menit Terhadap Banyaknya Cacat Visual dan x-ray yang Muncul	56
Tabel 4. 7 Hasil Pengulangan Durasi Tunggu 60 menit Terhadap Banyaknya Cacat Visual dan x-ray yang Muncul	57
Tabel 4. 8 Hasil Pengulangan Durasi Tunggu 90 menit Terhadap Banyaknya Cacat Visual dan x-ray yang Muncul	57
Tabel 4. 9 Hasil Prediksi Banyaknya Cacat yang Muncul	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur kimia karet alam	8
Gambar 2. 2 Gugus fungsi dari karet SBR.....	9
Gambar 2. 3 Nilon untuk pembentukan carcass ban bias	11
Gambar 2. 4 Kawat baja untuk pembentukan carcass ban radial.....	12
Gambar 2. 5 Perbedaan ban tanpa ban dalam (tubeless) dan ban dengan ban dalam (tube type)	12
Gambar 2. 6 Bagian konstruksi ban	14
Gambar 2. 7 Perbedaan struktur carcass pada ban bias dan ban radial.....	15
Gambar 2. 8 Struktur ikatan silang karet dari ikatan intermolekul pada vulkanisat	17
Gambar 2. 9 Cacat visual udara terperangkap (blister).....	23
Gambar 2. 10 Cacat retak (cracking)	24
Gambar 2. 11 Cacat x-ray sambungan terbuka (open splice)	24
Gambar 2. 12 Cacat x-ray terdapat benda asing (<i>foreign material</i>).....	25
Gambar 2. 13 Proses pengujian kuat tarik dan perpanjangan putus	26
Gambar 2. 14 Sampel uji kuat tarik dan perpanjangan putus	27
Gambar 2. 15 Pengujian kekerasan pada vulkanisat.....	28
Gambar 3. 1 Alur proses pembuatan ban Radial.....	34
Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Percobaan Durasi Waktu Tunggu Green Tire terhadap kualitas ban jadi.....	38
Gambar 3. 3 Alat pengukur suhu dan kelembaban di ruangan vulkanisasi	40
Gambar 3. 4 Alat yang digunakan untuk inspesi visual (a) Senter untuk mendeteksi cacat (b) Kapur untuk penanda cacat pada ban	43
Gambar 4. 1 Gambar cacat visual yang muncul akibat waktu tunggu (a) cacat benda asing pada sisi Sidewall (b) cacat kompon pada sidewall hilang (c) cacat air pocket pada bagian inner liner	58
Gambar 4. 2 Cacat x-ray yang muncul (a) hasil uji (b) letak cacat pada tread	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji Kekerasan Tapak Ban Sebelum Vulkanisasi	71
Lampiran 2 Hasil Pengujian Kekerasan Setelah Vulkanisasi	72
Lampiran 3 Lembar kerja harian magang	73
Lampiran 4 Surat keterangan selesai magang	83
Lampiran 5 Lembar bimbingan konsultasi Tugas Akhir	84
Lampiran 6 Penilaian magang	86



DAFTAR ISTILAH

<i>Green Tire</i>	: ban mentah atau setengah jadi yang belum melalui proses pemasakan (vulkanisasi)
7.50R16-14PR A C ID	: kode <i>spray</i> yang ada pada tapak <i>green tire</i>
7.50R16-14PR	: spesifikasi ban radial
AZ676	: kode <i>pattern</i> pada tapak ban
Vulkanisasi	: proses pemanasan ban dengan suhu dan tekanan tinggi yang membentuk ikatan silang pada karet, mengubah karet mentah menjadi elastis dan kuat
<i>Curing tire</i>	: tahap akhir dari proses pembuatan ban, di mana ban menjalani pematangan termal untuk membentuk struktur dan kekuatan akhir
Sistem Vulkanisasi CV/EV/SEV	: tiga jenis sistem vulkanisasi sulfur yang dibedakan berdasarkan rasio akselerator terhadap belerang
Karet alam (<i>Natural Rubber</i>)	: polimer alami dari pohon <i>Hevea brasiliensis</i> , dengan elastisitas tinggi namun kurang tahan panas
Karet sintetis (<i>Synthetic Rubber</i>)	: karet buatan yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap panas dan minyak
SBR	: singkatan dari <i>Styrene Butadiene Rubber</i> merupakan karet sintetis yang tahan terhadap panas
NBR	: singkatan dari <i>Nitrile Butadiene Rubber</i> merupakan karet sintetis yang tahan terhadap minyak
Inspeksi visual	: pemeriksaan manual terhadap permukaan ban tanpa bantuan mesin
<i>X-ray</i> ban	: pemeriksaan menggunakan sinar-X untuk mendeteksi cacat internal ban yang tidak terlihat dengan mata

INTISARI

Green tire merupakan bentuk ban setengah jadi dalam proses pembuatan produk ban. *Green tire* masih rentan terhadap deformasi, yang disebabkan oleh tekstur kompon karetnya yang lunak. Durasi tunggu yang lebih dari 30 menit menyebabkan terjadinya cacat pada produk ban jadi. Percobaan bertujuan untuk menentukan waktu tunggu optimal yang meminimalkan cacat serta mempertahankan kekerasan tapak sesuai standar. Percobaan dilakukan dengan variasi waktu tunggu yakni tanpa waktu tunggu, 30, 60, dan 90 menit. Parameter yang diamati meliputi kekerasan tapak sebelum dan setelah vulkanisasi serta jumlah cacat berdasarkan inspeksi visual dan x-ray. Hasil menunjukkan bahwa jumlah cacat meningkat seiring dengan bertambahnya waktu tunggu. Analisis regresi linear mengonfirmasi bahwa durasi tunggu memiliki hubungan positif terhadap jumlah cacat yang muncul. Waktu tunggu 0 menit memberikan hasil terbaik, dengan kekerasan tapak dalam rentang standar perusahaan (60–65 Shore A) dan tanpa cacat. Sementara itu, pada menit ke-8, jumlah cacat yang diprediksi telah melebihi angka 1, meskipun kekerasannya masih dalam batas toleransi. Oleh karena itu, berdasarkan hasil analisis regresi linear dan uji One-Way ANOVA, waktu tunggu maksimal yang disarankan adalah 7 menit untuk menjaga kualitas ban dan meminimalkan cacat ban jadi.

Kata kunci: *Green tire*, waktu tunggu, vulkanisasi, kualitas ban, kekerasan tapak.

ABSTRACT

Green tire is a semi-finished form of a tire in the manufacturing process, which remains susceptible to deformation due to the soft texture of its rubber compound. A waiting time of more than 30 minutes has been shown to cause defects in the finished tire. This experiment aimed to determine the optimal waiting time that minimizes defects while maintaining tread hardness within standard specifications. The experiment was conducted with varying waiting times: 0 minutes (no waiting time), 30 minutes, 60 minutes, and 90 minutes. Observed parameters included tread hardness before and after vulcanization, as well as the number of defects based on visual and x-ray inspection. The results showed that the number of defects increased in line with longer waiting times. Linear regression analysis confirmed a positive correlation between waiting time and the number of defects. A waiting time of 0 minutes yielded the best result, with tread hardness within the company's standard range (60–65 Shore A) and no defects. Meanwhile, at the 8-minute mark, the predicted number of defects exceeded 1, although hardness remained within acceptable limits. Therefore, based on the results of linear regression analysis and One-Way ANOVA, the recommended maximum waiting time is 7 minutes to maintain tire quality and minimize defects in the final product.

Keywords: Green tire, holding time, vulcanization, tire quality, tread hardness.



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan peran penting dalam produksi karet alam di dunia. Hingga tahun 2015, baik luas lahan perkebunan karet maupun jumlah produksinya mengalami peningkatan yang cukup pesat. Selain itu, tingkat produktivitas karet alam di Indonesia juga menunjukkan tren yang terus meningkat. Pengguna utama karet alam di Indonesia didominasi oleh industri ban, yang menyerap sekitar 55% dari total penggunaan. Sementara itu, industri sarung tangan dan benang karet memanfaatkan sekitar 17%. Sisanya digunakan oleh industri alas kaki sebesar 11% dan sekitar 9% dimanfaatkan oleh berbagai industri produk karet lainnya (Wardani et al, 2017). Sektor otomotif agroindustri yang ditujukan untuk ekspor adalah ban, yang memberikan dampak baik secara signifikan terhadap pendapatan negara.

Setiap perusahaan, baik perusahaan yang dikelola oleh pemerintah maupun swasta, pasti memproduksi suatu produk atau menghasilkan layanan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan dan masyarakat luas. Selaras dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, pelanggan dan masyarakat sudah semakin kritis terhadap kualitas produk yang diberikan perusahaan (Wardoyo, 2008). Kualitas produk ban memegang peranan penting dalam menjamin keselamatan, kenyamanan, dan efisiensi

kendaraan. Ban merupakan bagian yang sangat penting pada kendaraan bermotor. Hal tersebut dikarenakan fungsinya seperti memiliki peran dalam keamanan, stabilitas arah, dan kenyamanan dalam berkendara. Ban yang berkualitas mampu memberikan daya cengkram yang optimal, stabilitas saat berkendara, serta ketahanan terhadap aus dan kerusakan, sehingga dapat memperpanjang umur pakai dan mengurangi risiko kecelakaan. Selain itu, ban dengan kualitas tinggi juga membantu efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi, yang mendukung upaya pelestarian lingkungan (Ufriandi, 2021). Selain hal tersebut, ban juga harus mampu bekerja optimal dalam berbagai kondisi jalan dan cuaca, sehingga pemilihan jenis dan konstruksi ban sangat menentukan performa kendaraan secara keseluruhan.

Hasil observasi di PT XYZ, perusahaan memproduksi dua jenis ban, yaitu ban radial dan ban bias, masing-masing dengan berbagai spesifikasi sesuai ukuran dan kegunaannya. Salah satu jenis ban, yakni ban radial dengan spesifikasi 7.50R16-14PR, sering mengalami penumpukan pada tahap sebelum vulkanisasi. *Green tire* dengan kode 7.50R16-14 A C ID yang merupakan bentuk awal dari ban jadi, banyak menumpuk di area depan mesin vulkanisasi. SOP yang tertulis hanya diperbolehkan empat *green tire* yang terparkir di sana, namun saat ini jumlahnya mencapai delapan unit. Namun, SOP ini dibuat agar operator tidak melakukan kesalahan spesifikasi *green tire* saat proses vulkanisasi. Permasalahan timbul akibat ketidakseimbangan antara produksi *green tire* oleh mesin *building* dan kapasitas mesin vulkanisasi yang masih terbatas. Produksi *green tire*

meningkat, namun kapasitas vulkanisasi tidak bertambah, sehingga terjadi antrian. Penumpukan ini menyebabkan waktu tunggu yang lama, mengganggu kelancaran proses produksi, dan menurunkan kualitas produk karena *green tire* yang terlalu lama terpapar suhu tinggi berpotensi mengalami vulkanisasi perlahan sebelum waktunya. Selain itu, proses Tunggu *green tire* antara tahap komponding dan vulkanisasi menjadi lebih lama dan tidak dapat dihindari karena kebutuhan stok gudang dan keterbatasan proses lanjutan. Kondisi ini menimbulkan variasi waktu paparan suhu yang tidak konsisten, yang dapat memengaruhi mutu ban akhir. Oleh karena itu, diperlukan analisis mendalam mengenai pengelolaan waktu tunggu *green tire* untuk menjaga efisiensi proses produksi dan memastikan mutu produk tetap sesuai standar.

Berdasarkan uraian permasalahan mengenai durasi waktu tunggu *green tire* di atas, perlu dilakukan uji coba terkait waktu tunggu *green tire* terhadap kualitas produk. Oleh karena itu, tujuan pemecahan masalah dalam Tugas Akhir ini menganalisis cacat produk ban jadi yang dipengaruhi oleh waktu tunggu, sehingga diharapkan diperoleh informasi utuh untuk mengetahui kondisi waktu tunggu *green tire* yang terbaik. Solusi ini juga diharapkan dapat mengurangi jumlah cacat yang muncul pada produk akhir setelah proses vulkanisasi dan dapat diketahui standar maksimal waktu tunggu *green tire* sebelum proses vulkanisasi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka rumusan masalah dalam penyelesaian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap kekerasan tapak sebelum vulkanisasi dengan kode *spray* 7.50R16-14PR A C ID di PT XYZ?
2. Bagaimana pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap kekerasan tapak ban setelah vulkanisasi dengan spesifikasi 7.50R16-14PR AZ676 di PT XYZ?
3. Bagaimana pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap munculnya cacat pada ban dengan spesifikasi 7.50R16-14PR AZ676 dan menentukan waktu tunggu *green tire* yang terbaik?

C. Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan dari pemecahan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap kekerasan tapak sebelum vulkanisasi dengan kode *spray* 7.50R16-14PR A C ID di PT XYZ,
2. Menganalisis pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap kekerasan tapak ban setelah vulkanisasi dengan spesifikasi 7.50R16-14PR AZ676 di PT XYZ,

3. Menganalisis pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap munculnya cacat pada ban dengan spesifikasi 7.50R16-14PR AZ676 dan mengetahui waktu tunggu *green tire* yang terbaik.

D. Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat yang diperoleh dari pemecahan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi Penulis, mendapatkan wawasan yang lebih luas mengenai pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap kualitas produk jadi dan mengetahui waktu tunggu *green tire* yang terbaik sebelum proses vulkanisasi,
2. Bagi Perusahaan, memberikan informasi kepada perusahaan mengenai pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap kualitas dan *defect* pada ban jadi. Hasil dari percobaan ini, perusahaan dapat mengetahui waktu tunggu *green tire* yang terbaik dan dapat dijadikan standar untuk waktu tunggu *green tire* sebelum proses vulkanisasi,
3. Bagi penelitian mendatang, hasil Tugas Akhir ini dapat dijadikan sebagai dasar untuk melakukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh waktu tunggu *green tire* sebelum proses vulkanisasi.

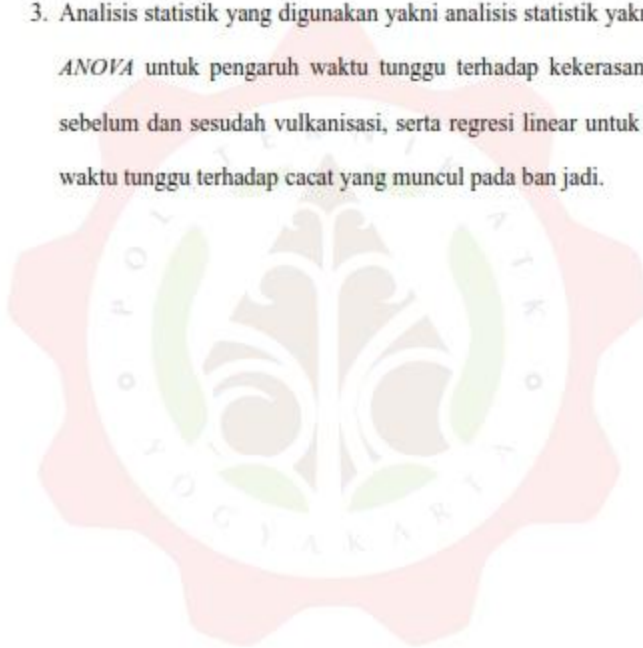
E. Batasan Masalah Tugas Akhir

Batasan masalah terkait permasalahan dalam Tugas Akhir yaitu sebagai berikut.

1. Tugas Akhir ini hanya akan terbatas pada pengaruh waktu tunggu *green tire* sebelum proses vulkanisasi terhadap kualitas pada ban jadi. Variasi

waktu tunggu *green tire* yang diuji adalah tanpa waktu tunggu, 30 menit, 60 menit, dan 90 menit yang berdasarkan dari lama waktu vulkanisasi ban.

2. Sampel yang digunakan adalah produk ban jadi dengan spesifikasi 7.50R16-14PR AZ676.
3. Analisis statistik yang digunakan yakni analisis statistik yakni *One-Way ANOVA* untuk pengaruh waktu tunggu terhadap kekerasan tapak ban sebelum dan sesudah vulkanisasi, serta regresi linear untuk pengaruh waktu tunggu terhadap cacat yang muncul pada ban jadi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

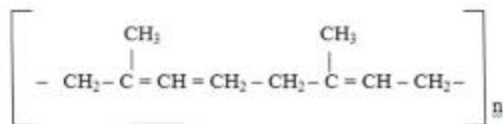
A. Karet

Indonesia dikenal sebagai salah satu produsen karet terkemuka sekaligus menjadi pusat industri manufaktur karet dunia. Luasnya lahan yang tersedia memberikan potensi besar dalam produksi karet alam. Karet memiliki sifat elastisitas yang sangat tinggi, kekuatan tarik yang baik, serta mudah dibentuk pada suhu rendah. Selain itu, karet juga tahan terhadap benturan, goresan, dan sobekan (Aryanti et al, 2018). Karet dibagi menjadi dua jenis, yaitu karet alam dan karet sintetis.

1. Karet Alam

Karet alam sendiri merupakan polimer alami yang berasal dari tanaman *Hevea brasiliensis*. Struktur polimernya memiliki konfigurasi "cis" dengan susunan yang teratur, sehingga rumus strukturnya dikenal sebagai *cis-1,4-polyisoprene* (Asawatratanakul et al, 2003). Poliisoprena adalah gabungan dari unit-unit monomer isoprena yang membentuk rantai panjang dengan jumlah yang sangat besar dan panjang. Karet alam memiliki beberapa keunggulan, seperti elastisitas yang tinggi, kelenturan yang baik, tahan terhadap aus dan sobek, serta memiliki daya rekat yang bagus dan mudah diolah. Namun, karet alam juga memiliki beberapa kelemahan, seperti tidak tahan panas, kekuatan tarik yang rendah, dan mudah sobek. Kelemahan ini disebabkan oleh

tingginya kandungan ikatan tak jenuh dalam karet alam serta sifatnya yang non-polar (Sipayung & Eddyanto, 2022). Gambar 2.1 merupakan struktur kimia dari karet alam.



Gambar 2. 1 Struktur kimia karet alam
Sumber: Aryanti et al (2018)

2. Karet Sintetis

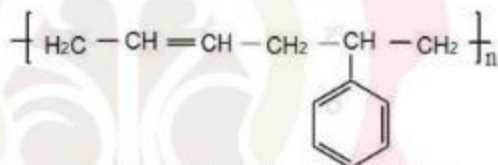
Karet sintetis terbuat dari bahan dasar hasil olahan minyak bumi dan digunakan untuk menghasilkan berbagai produk karet. Beberapa jenis bahan dasar karet sintetis antara lain *Nitrile Butadiene Rubber* (NBR), *Styrene Butadiene Rubber* (SBR) dan masih banyak lainnya (Ab'dau et al, 2021).

a. *Nitrile Butadiene Rubber* (NBR)

Karet *nitrile*, atau *akrilonitril butadiene* (NBR), adalah jenis karet sintetis yang banyak digunakan. Karet ini umumnya dipakai untuk membuat produk karet yang tahan terhadap air, minyak, pelarut hidrokarbon, abrasi, dan memiliki rendahnya permeabilitas gas. Contoh produknya meliputi seal, gasket, selang bensin, bantalan karet, dan membran. Proses pembuatannya, sifat fisik dan mekanik karet nitril biasanya dimodifikasi agar sesuai dengan kebutuhan produk, namun tetap harus mempertimbangkan biaya produksi yang rendah (Saputra et al, 2023).

b. *Styrene Butadiene Rubber (SBR)*

SBR (*Styrene Butadiene Rubber*) adalah kopolimer yang berasal dari monomer stirena dan butadiena. Karet ini memiliki ketahanan yang baik terhadap aus, panas, dan air. Namun, dibandingkan dengan karet alam (NR), SBR memiliki daya tahan dan elastisitas yang lebih rendah terhadap minyak (Gopi et al, 2011) SBR memiliki sifat mekanik yang baik dalam kondisi dinamis serta tahan terhadap panas (Naebpetch et al, 2017). Gambar 2.2 merupakan gugus fungsi dari karet SBR.



Gambar 2. 2 Gugus fungsi dari karet SBR
Sumber: Dimasyqi (2017)

Saat ini, karet sintetis lebih banyak diproduksi dan digunakan. Namun, karet alam tetap belum bisa digantikan, karena memiliki kelebihan yang sulit ditiru oleh karet buatan (Umar & Taufikurrahman, 2010). Karet alam sangat diperlukan sebagai bahan baku dalam pembuatan berbagai produk industri, karena karet sintetis tidak bisa sepenuhnya menggantikannya. Karet sintetis memiliki banyak kelemahan jika dibandingkan dengan karet alam. Proses pembuatan ban kendaraan, karet alam tetap digunakan bersama karet sintetis, dengan perbandingan yang berbeda-beda

sesuai jenis bannya: (1) Ban motor: 45% karet alam dan 55% karet sintetis; (2) Ban mobil penumpang: 45% karet alam dan 55% karet sintetis; (3) Ban truk: 50% karet alam dan 50% karet sintetis; (4) Ban mobil balap: awalnya 35% karet alam dan 65% karet sintetis, namun setelah FIA (*Federation International Automobile/federasi otomotif internasional*) menetapkan kewajiban penggunaan karet alam dalam ban balap Formula 1, sekarang ban balap dibuat dari 100% karet alam; (5) Ban kendaraan berat (*off the road*): 80% karet alam dan 20% karet sintetis; dan (6) Ban pesawat terbang: 100% karet alam (BALITTRI, 2014).

B. Ban

Ban adalah salah satu bagian terpenting dalam transportasi karena berfungsi memindahkan manusia dari satu tempat ke tempat lain. Ban adalah satu-satunya komponen kendaraan yang langsung bersentuhan dengan permukaan jalan, sehingga memerlukan inovasi untuk memastikan keselamatan dan kenyamanan dalam berkendara. Oleh karena itu, produsen ban berlomba-lomba menciptakan ban dengan kualitas terbaik. Ban yang diproduksi pun bervariasi dalam hal bahan campuran, performa, kenyamanan, desain, dan ukuran (Reinaldo et al, 2023).

Ban bekerja dengan mengandalkan gaya gesek antara permukaannya dan permukaan jalan, yang disebut sebagai grip. Banyak faktor yang mempengaruhi hal ini yakni tingkat keausan dan besarnya gaya gesek ban, seperti tekanan vertikal ban ke aspal, jenis permukaan yang bersentuhan, pola tapak ban, tekanan angin dalam ban, jenis karet yang

digunakan, dan beban kendaraan (PT. Lam Seng Hang Rubber, 2022). Berbagai penelitian mengenai keausan ban juga telah dilakukan, khususnya pada penggunaannya di kendaraan roda dua (Sunanto, 2013). Berdasarkan konstruksinya, ban dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Menurut penyusunan *ply-cord* (kerangka ban)

a. Ban Bias-Ply (*Cross-Ply Tire*)

Carcass untuk ban bias (*bias-ply tire*) terdiri dari beberapa lapisan benang yang diatur dengan sudut 30° hingga 40° terhadap garis tengah. Susunan ini bertujuan untuk menopang beban baik secara memanjang dan arah melintang. *Ply-cord* disusun secara menyilang membentuk sudut terhadap keliling ban. Gambar 2.3 merupakan gambar nilon untuk menyusun *carcass* ban bias.



Gambar 2. 3 Nilon untuk pembentukan carcass ban bias
Sumber: Group (2025)

b. Ban *Radial-Ply*

Carcass pada ban radial tersusun dari lapisan kawat baja yang mengarah tegak lurus terhadap garis tengah ban. Ban radial memiliki struktur yang kaku, sehingga memberikan kemampuan menikung yang baik, stabil pada kecepatan tinggi, serta memiliki tahanan gelinding (*rolling resistance*) yang rendah. Selain itu, ban

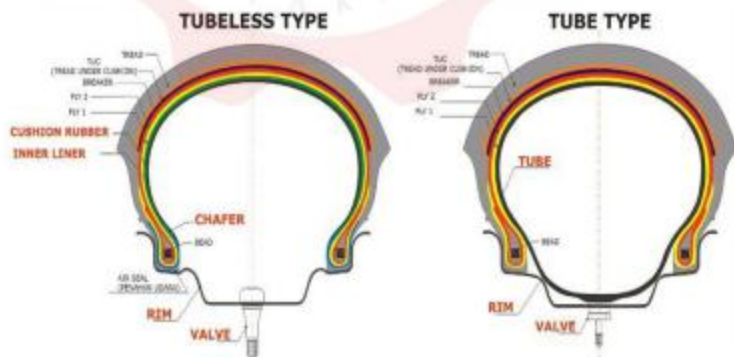
jenis ini juga lebih tahan terhadap keausan. Namun, saat digunakan di jalan yang bergelombang dengan kecepatan rendah, kenyamanan berkendara bisa menurun. Gambar 2.4 merupakan gambar kawat baja untuk penyusun carcass ban radial.



Gambar 2. 4 Kawat baja untuk pembentukan carcass ban radial
Sumber: Dokumentasi Perusahaan

2. Menurut cara menyimpan udara

Ban dapat dibedakan menurut cara menyimpan udara, yaitu ban tanpa ban dalam dan ban dengan ban dalam. Gambar 2.5 merupakan perbedaan antara ban dengan ban dalam dan ban tanpa ban dalam yang dilihat dari susunan bagian dalam ban juga komponen yang digunakan untuk bagian dari *inner liner*.



Gambar 2. 5 Perbedaan ban tanpa ban dalam (tubeless) dan ban dengan ban dalam (tube type)

Sumber: Kompas (2017)

Penjelasan masing-masing jenis ban tersebut dijelaskan sebagai berikut.

a. Ban dengan Ban Dalam (*Tube Type*)

Ban dengan ban dalam adalah tipe ban yang memiliki ban dalam sebagai tempat menyimpan udara. Udara dialirkan ke dalam ban melalui katup (penti) yang menonjol dari lubang pada pelek dan terhubung dengan ban dalam. Jika ban ini tertusuk benda tajam, udara akan langsung keluar dari ban dalam, sehingga ban cepat kempes.

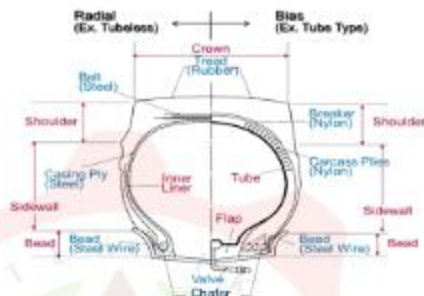
b. Ban Tanpa Ban Dalam (*Tubeless*)

Ban *tubeless* (ban tanpa ban dalam) tidak memerlukan ban dalam. Udara di dalam ban ditahan oleh lapisan karet khusus yang tidak tembus udara di bagian dalam ban. Karena tidak memiliki ban dalam, katup atau ventilasi (*air valve*) dipasang langsung pada pelek untuk mengisi dan menahan tekanan udara di dalam ban (Sesa & Buyung, 2020).

C. Proses *Green Tire* pada Ban

Green tire atau biasa disebut dengan ban setengah jadi adalah hasil dari proses *building* (Ismoyo et al, 2021). Sebelum melewati proses vulkanisasi, ban belum bisa dikatakan menjadi ban karena ban tersebut masih berupa kompon karet yang telah dibentuk menjadi komponen ban dan digabungkan. Ban setengah jadi ini melalui proses *building* antara komponen pada ban. Ban terdiri dari empat bagian utama, yaitu *carcass*,

tread, breaker, dan bead. Selain itu, struktur ban juga dapat dibagi berdasarkan fungsinya menjadi *crown, shoulder, sidewall, dan bead*. Pada Gambar 2.6 merupakan bagian bagian dari konstruksi ban.



Gambar 2. 6 Bagian konstruksi ban
Sumber: TIREPOWERMAN (2025)

Berikut adalah penjelasan masing-masing bagian konstruksi ban:

1. Casing / Kanvas (*Carcass*)

Bagian ini berfungsi untuk menahan tekanan udara yang tinggi di dalam ban. Mobil penumpang untuk material *casing* biasanya terbuat dari *nylon, polyester*, atau rayon. Sedangkan pada ban truk dan bus, casing menggunakan bahan nylon (untuk ban bias) atau baja (untuk ban radial) yang telah diberi lapisan kompon karet.

2. Tepak Ban (*Tread*)

Tread adalah bagian ban yang langsung bersentuhan dengan permukaan jalan. Fungsinya adalah melindungi casing dari keausan atau kerusakan akibat kontak dengan jalan.

3. Dinding Samping (*Sidewall*)

Lapisan karet yang berada di sisi ban ini melindungi bagian casing dari kerusakan luar seperti goresan atau benturan.

4. Breaker dan Sabuk (*Belt*)

Sabuk terletak di bawah telapak yang berfungsi untuk melindungi *carcass* dari benturan.

5. *Bead*

Bead adalah bagian ban yang berfungsi untuk menjaga agar ban tetap menempel erat pada pelek, terutama saat ban diisi angin dan menahan beban kendaraan.

6. *Inner Liner*

Inner liner adalah lapisan dalam pada ban tubeless yang menggantikan fungsi ban dalam. Lapisan ini terbuat dari karet kedap udara untuk menjaga tekanan udara tetap stabil di dalam ban.

Banyaknya komponen ban, *green tire* dari tiap jenis ban itu berbeda-beda. Contohnya pada ban bias dengan ban radial. Berikut pada Gambar 2.7 merupakan perbedaan struktur *carcass* pada ban bias dan ban radial yang membedakan antara kedua jenis ban tersebut.



Gambar 2. 7 Perbedaan struktur carcass pada ban bias dan ban radial
Sumber: Handoyo (2014)

Selain pada komponen ban, formulasi dari tiap jenis, spesifikasi, dan *pattern* ban juga berbeda-beda yang disesuaikan dengan fungsi dari ban tersebut. Ban bekerja dengan mengandalkan gaya gesek antara permukaan

ban dan permukaan jalan, yang disebut *grip*. Besarnya *grip* dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti tekanan vertikal ban ke aspal, tingkat gesekan antara kedua permukaan yang bersentuhan, pola tapak (*pattern*) ban, tekanan udara dalam ban, serta jenis karet yang digunakan. Selain itu, karakteristik dan jenis permukaan jalan seperti aspal, semen, batu, serta kondisi jalan yang basah atau kering juga turut mempengaruhi *grip* atau cengkraman. Suhu permukaan jalan maupun suhu ban sendiri juga berperan. Cengkraman dapat ditingkatkan dengan meningkatkan koefisien gesekan antara ban dan permukaan jalan (Purboputro & Hendrawan, 2018). Jadi karena hal tersebut yang membuat formulasi komponen *green tire* tiap jenis, spesifikasi, dan *pattern* ban berbeda-beda.

D. Vulkanisasi Ban

Vulkanisasi adalah proses yang mengubah sifat karet dari bahan termoplastik menjadi bahan termoset untuk meningkatkan elastisitasnya. Proses ini, struktur molekul karet membentuk jaring tiga dimensi yang dikenal sebagai ikatan silang (Hofmann, 1965). Sistem vulkanisasi (*vulcanization systems*) salah satunya adalah vulkanisasi belerang, yang paling umum digunakan untuk karet dengan ikatan tak jenuh. Dalam proses ini, terbentuk ikatan silang dan struktur siklik antara molekul karet dan atom belerang. Struktur ini membantu meningkatkan kekuatan dan elastisitas karet. Pada awal proses vulkanisasi, terbentuk ikatan silang polisulfida yang terdiri dari banyak atom belerang dan mudah putus karena ikatannya lemah. Saat karet dipanaskan, ikatan ini bisa pecah dan berubah menjadi ikatan

yang lebih pendek dan kuat. Belerang yang terlepas kemudian bisa membentuk ikatan baru, baik antar rantai karet maupun di sepanjang satu rantai. Proses ini membentuk ikatan rangkap yang tersusun berurutan, yang ikut mempengaruhi sifat karet (Pireno et al, 2013). Ilustrasi dari ikatan silang biasanya digambarkan seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Struktur ikatan silang karet dari ikatan intermolekul pada vulkanisat

Sumber: Pireno et al (2013)

Charles Goodyear merupakan tokoh pertama yang berjasa dalam penemuan proses vulkanisasi belerang pada tahun 1839, yang kemudian membuka jalan bagi pengembangan beragam aplikasi dalam industri karet. Melalui proses ini, karet yang semula bersifat plastis dan memiliki kekuatan mekanik rendah diubah menjadi material elastis dengan kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kepegasan (*resilience*) yang lebih lebih besar. Tujuan dari proses vulkanisasi adalah untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik karet yang optimal (Chen et al, 2017), seperti kekuatan tarik, ketahanan terhadap panas dan pelarut, serta meningkatkan daya regang sebelum putus (Handayani et al, 2020). Vulkanisasi juga menyebabkan peningkatan sifat fisik karet, termasuk ketahanannya terhadap rentang suhu yang lebih luas. Selain itu, polimer yang mengalami proses ikatan silang (*cross linking*) dalam vulkanisasi menunjukkan ketahanan terhadap kelarutan yang

biasanya mampu melarutkan polimer tanpa ikatan silang, mencerminkan perbedaan struktur dan kestabilan kimia yang signifikan (Umar & Taufikurrahman, 2010). Akibat dari ikatan cross linking pada karet alam terbentuk secara baik (Isra et al, 2014). *Curing tire* adalah tahap akhir dalam proses pembuatan ban. Ban mentah (*green tire*) yang dihasilkan dari tahapan perakitan selanjutnya dikirim ke area curing untuk melalui proses pemasakan. Proses *curing* ini merupakan tahap vulkanisasi, yaitu pemanasan ban dengan suhu dan tekanan tinggi untuk menyatukan bahan utama seperti polimer (karet), carbon black, dan belerang (sulfur). Proses ini dibantu oleh reaksi kimia tertentu agar setiap bagian ban memiliki karakteristik material (*compound*) yang diinginkan. Hasil akhirnya adalah ban yang sudah matang dan siap digunakan, dengan kualitas dan performa yang baik (Hermanto & Wiratmani, 2019).

Terdapat tiga jenis sistem vulkanisasi belerang, yaitu sistem konvensional (CV), sistem efisien (EV), dan sistem semi efisien (SEV). Ketiganya berbeda berdasarkan perbandingan kadar belerang terhadap bahan pemercepat (Long, 1985). Perbedaan komposisi ini menghasilkan ikatan silang yang berbeda, seperti monosulfida, disulfida, dan polisulfida, yang pada akhirnya mempengaruhi sifat mekanik dan dinamis dari produk karet (Gonzalez et al, 2002). Tabel 2.1 merupakan rasio accelerator terhadap sulfur di berbagai sistem vulkanisasi.

Tabel 2. 1 Rasio accelerator terhadap sulfur di berbagai sistem vulkanisasi

No.	Sistem vulkanisasi <i>Vulcanization system</i>	Rasio <i>accelerator</i> terhadap sulfur <i>Accelerator to sulfur ratio (A/S)</i>
1.	Konvensional	0,1-0,6
2.	Semi Efisien	0,7-2,5
3.	Efisien	2,5-12,0

Sumber: Dokumentasi Penulis diadaptasi dari (Saputra et al, 2023)

Tabel 2.1 menggambarkan mengenai rasio *accelerator* terhadap sulfur memiliki sistem vulkanisasi yang berbeda-beda. Rasio *accelerator* terhadap sulfur pada range 0,1-0,6 PHR sistem vulkanisasinya yakni konvensional karena lebih banyak menggunakan sulfur dibandingkan *accelerator*. Sedangkan pada range 0,7-2,5 PHR sistem vulkanisasi yang digunakan semi efisien karena rasio *accelerator* dan sulfur seimbang, dan pada range 2,5-12,0 PHR menggunakan sistem vulkanisasi efisien sebab penggunaan *accelerator* lebih banyak dibanding penggunaan sulfur.

Meskipun proses produksi sudah dilakukan dengan baik, kenyataannya masih sering ditemukan produk yang tidak sesuai dengan harapan atau standar kualitas yang ditetapkan. Ketidaksesuaian ini biasanya disebabkan oleh berbagai penyimpangan yang bisa berasal dari bahan baku, tenaga kerja, performa mesin, atau metode kerja yang digunakan dalam proses produksi (Maukar et al, 2021).

Masalah yang sering terjadi yakni pada mesin curing yang tidak stabil, terutama saat proses pemanasan dengan suhu yang tidak konsisten, dapat menyebabkan berbagai cacat pada ban. Beberapa di antaranya adalah ban yang tidak matang (belum vulkanisasi sempurna) dan ban yang kembung akibat proses pemanasan yang tidak merata (Kurniasih et al, 2024). Selain suhu, *pneumatic system* memiliki peran penting dalam proses

pemasakan *green tire*. Solenoid dan piston valve berfungsi untuk mengatur aliran uap panas (*steam*) yang dibutuhkan selama proses vulkanisasi. Masalah ini biasanya disebabkan oleh kurangnya pasokan oli pelumas (*lubrication oil*) pada sistem pneumatik, sehingga komponen tidak bekerja dengan terbaik dan bisa mengganggu kelancaran proses pemasakan ban dan akan menurunkan kualitas dari ban jadi (Hardono et al, 2019).

Berdasarkan permasalahan waktu tunggu *green tire*, semakin lama *green tire* terpapar suhu yang tinggi dengan waktu yang lama akan mengalami vulkanisasi perlahan meskipun belum dilakukan proses vulkanisasi. Vulkanisasi perlahan itu biasanya disebut dengan vulkanisasi dini di mana proses pengikatan silang (*cross-linking*) karet terjadi sebelum waktunya, biasanya saat pencampuran atau pembentukan awal, sebelum proses pemanasan sebenarnya dimulai. Hal ini sangat merugikan karena dapat menyebabkan karet kehilangan plastisitasnya, sehingga sulit dibentuk atau dicetak sesuai desain yang diinginkan. Selain itu, vulkanisasi dini mengakibatkan penurunan kualitas produk akhir, seperti berkurangnya kekuatan mekanik, ketahanan aus, dan daya rekat. Kualitas produk karet dipengaruhi oleh penyimpanan. Penyimpanan kompon harus mendapatkan perhatian khusus karena reaksi vulkanisasi akan terus berlangsung secara lambat, yang dapat berdampak pada kualitas kompon karet. Ini termasuk perubahan nilai *Viskositas Mooney*, kestabilan, dan karakteristik fisis, fenomena *bloom* sulfur pada permukaan kompon *thermo-oxidative*, *re-aglomerasi* filler pada kompon, dan masalah dispersi aditif selama proses

selanjutnya (Sya'bani et al, 2023). Ikatan silang polisulfida yang terbentuk sebelum proses vulkanisasi utama meningkat seiring dengan suhu ruangan dan waktu tunggu. Ini menghasilkan periode induksi yang lebih lama dan waktu vulkanisasi yang lebih lama. Selain itu, torsi efektif dan nilai *cure rate index* (CRI) menurun sebagai akibatnya. Vulkanisasi dini yang dipicu oleh suhu ruangan tinggi dapat mengurangi kualitas dan kinerja vulkanisat karena beberapa reaksi telah terjadi sebelum kompon masuk ke proses vulkanisasi sebenarnya (Kinasih et al, 2015).

E. Penilaian Kualitas Ban

Kualitas merupakan kemampuan suatu produk atau layanan untuk memenuhi kebutuhan pengguna, baik yang dinyatakan secara jelas maupun yang tidak. Kebutuhan ini merujuk pada spesifikasi yang harus ditentukan terlebih dahulu dalam bentuk kriteria produk atau jasa. Kualitas sangat penting karena dapat menurunkan biaya produksi, meningkatkan reputasi perusahaan, memperluas pangsa pasar, dan memperbaiki tampilan produk. Oleh karena itu, pengawasan kualitas sangat penting untuk menghasilkan produk yang berkualitas (Reinaldo et al, 2023). Produk berkualitas akan secara tidak langsung mempengaruhi produktivitas perusahaan dan serta mengurangi biaya produksi. Perusahaan harus melakukan analisis pengaruh dan perbaikan secara berkelanjutan agar produk yang dihasilkan tetap memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan (Matondang & Ulkhaq, 2018). Pengendalian kualitas sangat penting bagi perusahaan untuk mendeteksi serta menangani masalah yang terjadi selama proses produksi. Salah satu

tindakan pengendalian kualitas yang dapat dilakukan adalah dengan mencegah atau mengurangi jumlah produk yang tidak memenuhi standar (*reject*). Hal ini dapat membantu menurunkan biaya produksi dan sekaligus meningkatkan produktivitas perusahaan (Hermanto & Wiratmani, 2019). Proses vulkanisasi dipengaruhi secara signifikan oleh faktor waktu dan suhu. Apabila kedua parameter tersebut tidak berada pada kondisi yang terbaik, maka kualitas produk karet yang dihasilkan dapat menurun. Setelah ban jadi, akan dilakukan penilaian kualitas. Kualitas yang dinilai yakni berupa bebas dari cacat visual dan x-ray sesuai dengan yang ada pada (SNI 100:2019) untuk ban truk ringan. Syarat mutu yang terdapat dalam (SNI 100:2019) yakni ban yang akan diuji harus dalam kondisi bebas dari kerusakan seperti: gelembung (*blister*), retakan (*cracking*), sambungan yang tidak tertutup sempurna (*open splice*), dan kontaminasi oleh benda asing (*foreign material*). Berikut ini merupakan penjelasan dari jenis cacat-cacat *x-ray* maupun visual yang tidak boleh ada pada ban:

1. Udara terperangkap (*blister*)

Tekanan *center roll* yang terlalu kecil saat menekan permukaan telapak (*tread*) dapat menyebabkan munculnya cacat berupa scrap *blister* (Maukar et al, 2021). Hal ini terjadi karena tekanan yang tidak cukup kuat membuat lapisan tidak menempel dengan sempurna, sehingga terbentuk rongga udara atau gelembung di antara lapisan. Gelembung ini kemudian dapat pecah atau menyebabkan permukaan menjadi tidak rata, yang berdampak pada kualitas dan kekuatan ban.

Sama seperti tekanan yang ada pada saat meratakan bagian *sidewall* pada mesin *building*. Oleh karena itu, pengaturan tekanan *center roll* harus dilakukan dengan tepat agar permukaan telapak menempel sempurna dan hasil akhir ban bebas dari cacat. Gambar 2.9 merupakan contoh gambar dari cacat visual dari udara yang terperangkap yang ada di bagian *sidewall*.



Gambar 2. 9 Cacat visual udara terperangkap (blister)

Sumber: Dokumentasi

2. Retak (*cracking*)

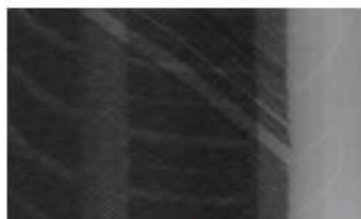
Crack sidewall adalah cacat pada ban berupa retakan di bagian samping ban (*sidewall*). Cacat ini bisa terjadi karena adanya air di dalam cetakan, tekanan pembentuk yang terlalu rendah saat pencetakan, lubang rambut ban yang tersumbat, waktu pematangan yang kurang, atau jumlah lubang vent (lubang rambut) yang terlalu sedikit. Semua faktor ini menyebabkan tekanan udara atau uap tidak bisa keluar dengan baik saat proses vulkanisasi, sehingga menimbulkan retakan pada permukaan ban (Sunanto, 2013).



Gambar 2. 10 Cacat retak (cracking)
Sumber: Dokumentasi

3. Sambungan terbuka (*open splice*)

Pembukaan sambungan pada ban bisa terjadi akibat beberapa hal, seperti kawat yang menipis, kekurangan kawat, atau kegagalan pada proses penyambungan (Saleh et al, 2024). Masalah ini dapat menyebabkan bagian ban menjadi lemah dan berisiko rusak saat digunakan. Kawat yang menipis atau jumlah kawat yang tidak mencukupi akan mengurangi kekuatan struktur ban, sedangkan sambungan yang tidak sempurna bisa menyebabkan lapisan ban terlepas. Oleh karena itu, penting untuk memastikan kualitas kawat dan proses penyambungan dilakukan dengan benar agar ban memiliki daya tahan dan keamanan yang baik. Gambar 2.11 merupakan contoh gambar dari cacat sambungan terbuka yang ada di bagian dalam ban.



Gambar 2. 11 Cacat x-ray sambungan terbuka (*open splice*)
Sumber: Saleh et al (2024)

4. Benda asing (*foreign material*)

Keberadaan materi asing di dalam atau di luar sabuk ban dapat mempengaruhi kualitas dan keamanan ban secara keseluruhan (Saleh et al, 2024). Materi asing seperti batu kecil, logam, atau sisa bahan produksi yang tertinggal dapat menyebabkan kerusakan struktural, meningkatkan risiko kebocoran udara, serta mengganggu keseimbangan ban saat digunakan. Jika berada di dalam sabuk ban, materi ini bisa menyebabkan ketidakraturan pada permukaan atau bahkan kegagalan fungsi ban. Maka penting dilakukan inspeksi menyeluruh selama proses produksi untuk memastikan tidak ada kontaminasi yang membahayakan performa ban. Gambar 2.12 merupakan contoh cacat benda asing yang ada di bagian dalam ban.



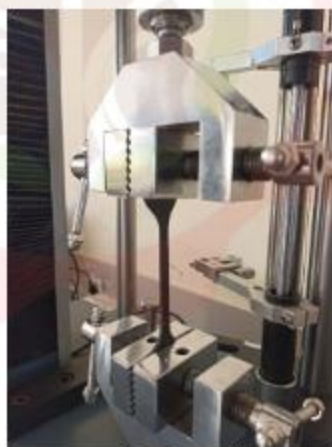
Gambar 2. 12 Cacat x-ray terdapat benda asing (*foreign material*)
Sumber: Saleh et al (2024)

Sebelum dibentuk menjadi ban setengah jadi, kompon karet juga melalui berbagai macam pengujian mekanik seperti kuat tarik, perpanjangan putus, kuat sobek, dan kekerasan. Pengujian mekanik tersebut menggunakan alat UTM atau biasa disebut dengan *Universal Testing Machine*. Untuk uji kekerasan digunakan alat yakni Durometer. Berikut ini

merupakan penjelasan tentang pengujian yang dilakukan pada vulkanisat karet sebelum dibentuk menjadi komponen dari ban:

1. Kuat tarik dan Perpanjangan putus

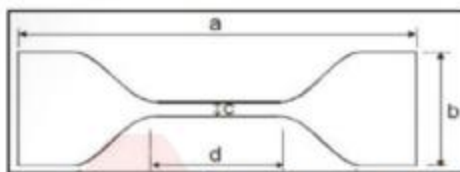
Uji kuat tarik digunakan untuk mengetahui seberapa besar tenaga yang diperlukan agar vulkanisat tertarik hingga putus (Falaah et al, 2016). Nilai perpanjangan saat putus umumnya sebanding dengan kekuatan tariknya. Semakin besar tegangan saat putus, semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk memutuskan vulkanisat (Nasution & Limbong, 2017). Satuan yang biasa digunakan untuk pengujian ini adalah N/mm^2 . Contoh proses pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Proses pengujian kuat tarik dan perpanjangan putus
Sumber: Dokumentasi

Proses pengujian kuat tarik dan perpanjangan putus pertama-tama vulkanisat karet plat tipis dibentuk sampel *dumbbell* seperti Gambar 2.14. Kemudian sampel yang telah dibuat bagian ujung kanan dan kiri

sampel akan dijepit pada *clamping* di mesin *Universal Testing Machine*. Sampel akan ditarik hingga putus, lalu akan didapatkan nilai kekuatan tariknya.



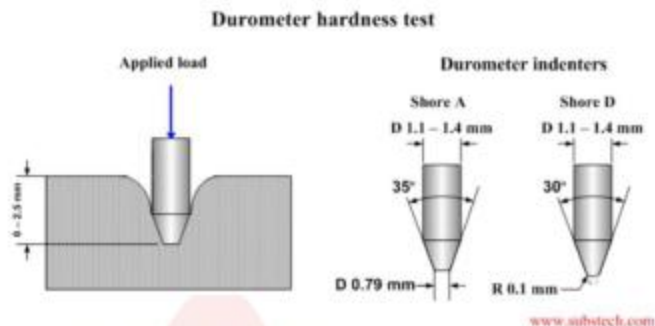
Gambar 2. 14 Sampel uji kuat tarik dan perpanjangan putus
Sumber: SNI 778-2017

Keterangan gambar:

- a** adalah panjang total (minimum);
- b** adalah lebar pada bagian ujung;
- c** adalah lebar pada bagian yang lebih sempit sempit;
- d** adalah panjang dari bagian sempit.

2. Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui seberapa tahan suatu material terhadap penetrasi pada permukaannya. Hasil pengujian ini biasanya dinyatakan dalam skala Shore. Alat yang digunakan disebut durometer, yaitu alat dengan indenter yang terhubung ke dial indikator untuk menunjukkan nilai kekerasan material (Naufal, 2022). Rentang kekerasan tapak ban ini disesuaikan dengan standar perusahaan yakni pada nilai 60-65 Shore-A pada tread dengan *pattern* AZ676. Contoh cara kerja pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Pengujian kekerasan pada vulkanisat
Sumber: Naufal (2022)

Percobaan Tugas Akhir ini hanya dilakukan pengujian kekerasan pada bagian tapak ban (*tread*) dan penampakan visual ban jadi serta hasil uji x-ray. Sebab telapak (*tread*) pada ban merupakan hal sangat penting. Tapak ban adalah bagian yang bersentuhan langsung dengan permukaan jalan. Selain itu, berfungsi melindungi carcass dari keausan dan kerusakan kerusakan lainnya (Sitompul, 2020).

F. Metode Analisis Statistik

Metode analisis statistik merupakan pendekatan sistematis dalam mengolah, menyajikan, dan menarik kesimpulan dari data, yang secara umum terbagi menjadi dua jenis utama: statistik deskriptif dan statistik inferensial (Sugiyono, 2018). Berikut ini merupakan metode analisis statistic inferensial yang digunakan dalam percobaan ini:

1. Regresi Linear

Regresi merupakan salah satu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya korelasi antarvariabel. Jika kita memiliki

dua buah variabel antara variabel terikat (Y) dengan variabel bebas (X) yang dapat diramalkan (Harsiti et al, 2022).

Persamaan garis linear sederhana sering dijumpai dalam buku referensi dan artikel jurnal ilmiah rumus persamaan regresi linear sederhana dapat dilihat pada persamaan 1.

$$y = a + bx \dots \dots (1)$$

Huruf y pada persamaan regresi merupakan nilai dari variabel terikat dan huruf x merupakan nilai dari variabel bebas, sedangkan huruf a merupakan nilai intercept dan huruf b merupakan nilai slope. Nilai intercept (a) merupakan perpotongan garis regresi dengan sumbu y. Nilai slope (b) merupakan koefisien arah regresi linier, di mana nilai b menunjukkan seberapa besar perubahan nilai Y (variabel terikat) saat X (variabel bebas) bertambah satu-satuan (Elfariyanti et al, 2022).

2. Metode uji *One-Way ANOVA (Analysis of Variance)*

Statistik inferensial digunakan untuk menguji hipotesis, baik dengan pendekatan parametrik maupun non-parametrik. Dalam konteks ini, *One-Way ANOVA* termasuk dalam statistik inferensial parametrik yang digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata antara tiga kelompok atau lebih, dengan syarat data berdistribusi normal dan varians antar kelompok homogen.

Metode *One-Way ANOVA* merupakan suatu teknik analisis statistik yang digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata lebih dari dua kelompok sampel berdasarkan

satu variabel bebas (independen). Berbeda halnya dengan perhitungan secara manual yang membandingkan F-hitung dengan F-tabel, dalam analisis one-way anova menggunakan software Minitab hanya perlu memperhatikan nilai P-value yang dihasilkan oleh output program. Kesimpulan dari hipotesis yang diterapkan dalam analisis one-way anova dengan software minitab 22, dirumuskan seperti persamaan (2) dan (3)

*Menolak H_0 (menerima H_1) apabila nilai $P - value$
 $< \text{taraf signifikansi} \dots \dots \dots (2)$*

*Menolak H_1 (menerima H_0) apabila nilai $P - value$
 $> \text{taraf signifikansi} \dots \dots \dots (3)$*

di mana:

H_0 : Variabel waktu tunggu *green tire* tidak berpengaruh signifikan terhadap kualitas produk.

H_1 : Variabel waktu tunggu *green tire* berpengaruh signifikan terhadap kualitas produk.

α : Taraf signifikansi ($\alpha = 0,05$)

Penolakan H_0 mengindikasikan adanya perbedaan yang signifikan antara nilai rata-rata kelompok variabel yang diuji (Fitrayudha et al, 2020)

Selain itu, hasil dari ANOVA didapatkan standar deviasi sampel. Varians merupakan salah satu teknik statistik yang digunakan untuk menjelaskan tingkat homogenitas dalam suatu kelompok data. Varians dihitung sebagai jumlah kuadrat dari semua deviasi (penyimpangan) nilai-nilai individual terhadap rata-rata kelompok. Akar kuadrat dari varians disebut sebagai standar deviasi atau simpangan baku. Simbol

varians untuk populasi adalah σ^2 (dibaca: sigma kuadrat), sedangkan simbol varians untuk sampel adalah s^2 (Sugiyono, 2018). Kemudian symbol standar deviasi atau simpangan baku untuk populasi yaitu (σ) *dibaca sigma*. Sedangkan untuk standar deviasi atau simpangan baku untuk sampel yaitu s yang rumusnya seperti pada persamaan 4 dibawah ini (Sutisna, 2020).

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}} \dots \dots (4)$$

Di mana:

s = simpangan baku sampel

X_i = nilai individu ke- i

$\bar{X}$ = rata-rata (mean) dari sampel

n = jumlah sampel

$\sum$ = simbol penjumlahan

$(X_i - \bar{X})^2$ = kuadrat deviasi tiap data terhadap rata-rata

G. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan kajian literatur, waktu tunggu *green tire* sebelum proses vulkanisasi terbukti berpengaruh besar terhadap kualitas produk akhir. (Sya'bani et al, 2023) menjelaskan bahwa penyimpanan kompon karet dalam waktu tertentu, meskipun pada suhu ruang, dapat memicu reaksi vulkanisasi dini (pre-curing). Hal ini menyebabkan pembentukan ikatan silang lebih awal, sehingga proses vulkanisasi utama menjadi kurang maksimal. Akibatnya, sifat-sifat penting seperti waktu scorch, waktu curing optimum, laju vulkanisasi (CRI), dan torsi efektif menjadi tidak optimal, serta ikatan silang cenderung berkurang. Sedangkan, menurut Pireno et al, 2013 juga menyatakan bahwa waktu dan suhu selama vulkanisasi sangat

menentukan. Jika terlalu lama atau terlalu panas, bisa terjadi *over curing*, yang menyebabkan penurunan kekuatan tarik, elastisitas, kekerasan, dan daya tahan sobek karet.

Berdasarkan temuan dari kedua penelitian, dapat disimpulkan bahwa pengendalian waktu tunggu *green tire* sebelum proses vulkanisasi merupakan aspek yang sangat penting dalam menjaga kualitas produk ban. *Green tire* yang dibiarkan terlalu lama dalam kondisi belum divulkanisasi dan diletakkan di ruangan vulkanisasi yang panas berisiko mengalami reaksi vulkanisasi dini. Reaksi ini dapat menyebabkan penurunan sifat mekanis ban, seperti berkurangnya kekerasan tapak, munculnya cacat internal, atau deformasi bentuk yang berdampak langsung pada performa dan keamanan ban saat digunakan. Oleh karena itu, percobaan ini dilakukan untuk mengkaji secara mendalam pengaruh waktu tunggu *green tire* terhadap parameter kualitas ban, khususnya kekerasan tapak dan jumlah cacat yang muncul. Tujuan akhirnya adalah untuk menentukan waktu tunggu yang paling terbaik, yaitu waktu tunggu yang mampu meminimalkan cacat dan menjaga kekerasan tapak ban tetap berada dalam standar mutu yang ditetapkan oleh perusahaan. Dengan demikian, hasil percobaan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengendalian proses produksi, khususnya dalam tahapan antara pembentukan *green tire* dan proses vulkanisasi.

BAB III

METODE DAN MATERI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir yang dikaji merupakan penyelesaian masalah tentang lama waktu tunggu *green tire* sebelum proses vulkanisasi yang terbaik terhadap kualitas ban radial di PT XYZ.

A. Lokasi dan Waktu

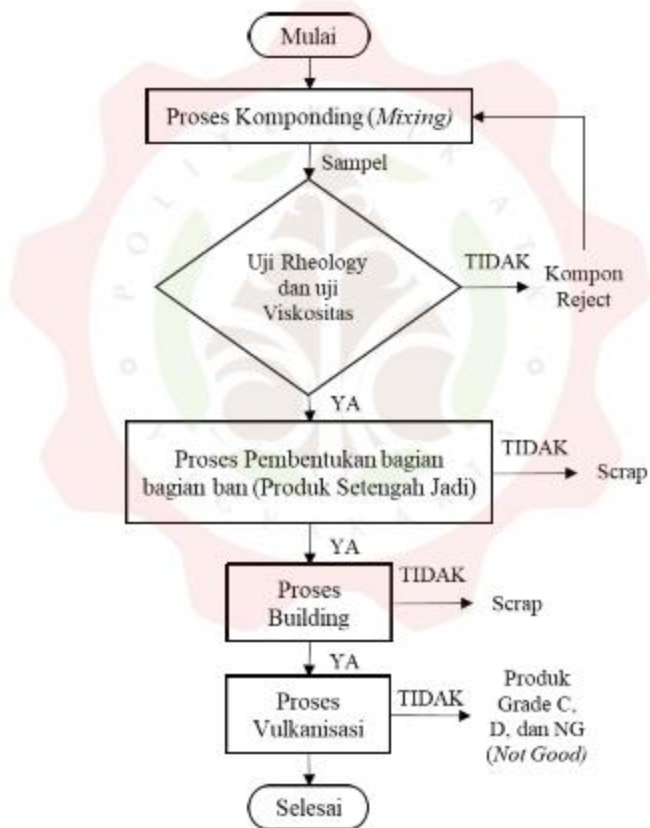
Proses pengambilan data Tugas Akhir dilakukan di salah satu industry manufaktur ban pada divisi vulkanisasi yang berlokasi di Provinsi Jawa Tengah. Pengambilan data dilakukan pada waktu pelaksanaan magang selama 3 bulan sejak tanggal 23 Februari hingga 23 Mei 2025.

B. Materi Tugas Akhir

Materi dalam Tugas Akhir ini berupa serangkaian percobaan yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu tunggu (*holding time*) *green tire* terhadap kualitas ban radial, serta menentukan waktu tunggu yang paling optimal untuk meminimalkan cacat dan menjaga mutu produk. *Green tire* merupakan tahap penting dalam proses produksi ban, di mana bentuk ban masih bersifat mentah dan belum mengalami proses pematangan melalui vulkanisasi. Oleh karena itu, durasi waktu tunggu sebelum *green tire* diproses lebih lanjut menjadi faktor kritis yang dapat memengaruhi struktur internal dan performa akhir ban.

Untuk memberikan pemahaman menyeluruh mengenai alur produksi, Gambar 3.1 menyajikan *flowchart* proses pembuatan ban radial

mulai dari tahap awal pencampuran bahan (komponding) hingga tahap akhir berupa proses vulkanisasi. Diagram alur tersebut menjelaskan setiap tahapan penting yang dilalui kompon karet hingga menjadi produk akhir, termasuk titik kritis di mana *green tire* mengalami waktu tunggu sebelum masuk proses vulkanisasi.



Gambar 3. 1 Alur proses pembuatan ban Radial

Gambar 3.1 menunjukkan proses produksi ban dimulai dari komponding (*mixing*), yaitu tahap pencampuran bahan-bahan dasar seperti karet alam,

karet sintetis, karbon hitam, minyak proses, serta bahan kimia lainnya untuk menghasilkan kompon karet. Kompon yang telah selesai dicampur akan diambil sampelnya untuk melalui tahap pengujian rheologi dan viskositas. Tahapan ini penting untuk memastikan bahwa karakteristik kompon memenuhi standar pemrosesan dan performa yang ditentukan.

Jika hasil uji menunjukkan kompon tidak sesuai spesifikasi, maka kompon tersebut akan dikategorikan sebagai kompon reject. Sebaliknya, kompon yang lolos uji akan lanjut ke tahap pembentukan bagian-bagian ban seperti *tread*, *sidewall*, *bead*, *innerliner*, dan *breaker* yang kemudian disebut sebagai produk setengah jadi.

Bagian-bagian tersebut kemudian dirakit dalam proses building menjadi *green tire*, yaitu bentuk ban mentah yang belum divulkanisasi. Di sinilah fokus penelitian ini mengambil tempat. Dalam praktik produksi, sering terjadi antrean atau keterlambatan proses akibat ketidakseimbangan antara jumlah *green tire* yang dihasilkan dan kapasitas mesin vulkanisasi. Kondisi tersebut menyebabkan variasi durasi waktu tunggu *green tire* sebelum memasuki tahap berikutnya.

Waktu tunggu ini menjadi variabel penting karena *green tire* yang terlalu lama menunggu berisiko mengalami deformasi atau perubahan struktur internal akibat pengaruh suhu lingkungan dan gravitasi, terutama karena sifat kompon karet masih lunak. Dampaknya dapat terlihat pada penurunan kekerasan tapak ban atau munculnya cacat visual maupun internal setelah proses vulkanisasi.

Proses berikutnya adalah vulkanisasi, yaitu pemanasan *green tire* dalam cetakan dengan tekanan dan suhu tertentu untuk membentuk ban jadi yang elastis dan kuat. Jika proses ini dilakukan pada *green tire* yang telah mengalami degradasi akibat waktu tunggu yang terlalu lama, maka kemungkinan besar hasilnya adalah produk cacat yang masuk kategori *Grade C, D*, atau *NG (Not Good)*. Sebaliknya, *green tire* yang diproses pada waktu optimal akan menghasilkan ban dengan kualitas baik yang siap dipasarkan.

Namun, dalam praktiknya di lapangan, terjadi ketidakseimbangan antara kapasitas produksi *green tire* dan kapasitas mesin vulkanisasi. Hal ini menyebabkan terjadinya bottleneck pada tahap vulkanisasi, sehingga *green tire* harus menunggu dalam waktu tertentu sebelum diproses lebih lanjut. Waktu tunggu inilah yang menjadi fokus dalam percobaan ini, sehingga diambil yaitu hasil percobaan durasi tunggu: tanpa waktu tunggu, 30, 60, dan 90 menit terhadap kekerasan tapak ban sebelum dan setelah vulkanisasi serta banyaknya cacat visual dan *x-ray* yang muncul pada ban jadi setelah vulkanisasi.

Tujuan dari percobaan tersebut yaitu untuk mengetahui pengaruh waktu tunggu *green tire* dan menentukan waktu tunggu *green tire* yang terbaik agar cacat pada ban radial dapat diminimalkan. Tugas Akhir ini, aspek pengendalian kualitas dilakukan untuk mengevaluasi apakah waktu tunggu *green tire* sebelum proses vulkanisasi memengaruhi kualitas ban. Pengamatan difokuskan pada jumlah dan jenis cacat yang muncul setelah

ban diproses. Hasil percobaan ini diharapkan bisa menjadi dasar untuk memperbaiki SOP (*Standar Operasional Prosedur*) agar kualitas ban tetap terjaga dan kerja produksi lebih efisien.

C. Metode Pelaksanaan Tugas Akhir

Metode pelaksanaan Tugas Akhir menggunakan percobaan dan analisis kualitas, dan pengolahan data dilakukan dengan beberapa metode statistik. Jumlah variasi pada percobaan ini menggunakan empat variasi waktu tunggu *green tire* yakni tanpa waktu tunggu, 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Pengujian yang dilakukan yakni kekerasan, inspeksi secara visual dan dengan mesin x-ray untuk mengetahui cacat akibat waktu tunggu. Masing-masing *green tire* dilakukan pengujian kekerasan sebanyak dua titik untuk menghasilkan data yang akurat dan valid. Pengujian kuat tarik tidak dilakukan sebab sampel yang digunakan yakni ban jadi. Bahan, alat, dan prosedur percobaan antara lain:

1. Bahan

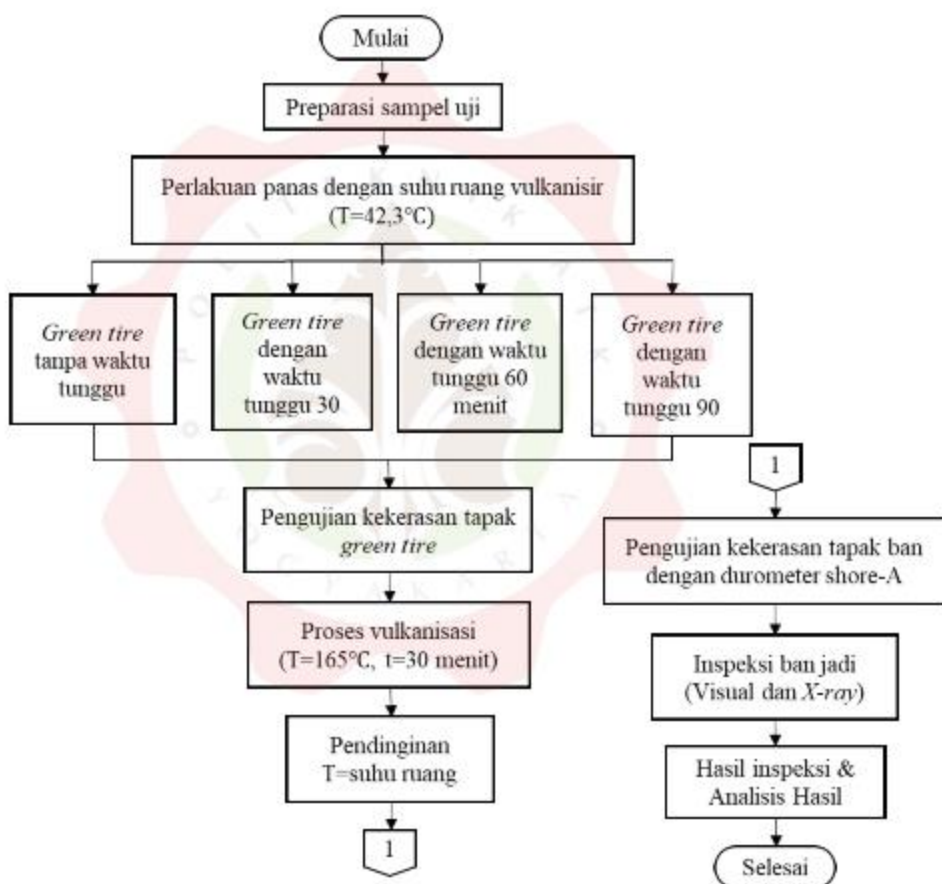
Bahan-bahan untuk proses percobaan yakni berupa *green tire* dengan kode *spray* 7.50R16-14PR A C ID dan untuk bahan pengujian berupa ban radial dengan spesifikasi 7.50R16-14PR AZ676.

2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam proses percobaan yakni mesin vulkanisasi *mold* ganda (*Tire Curing Press*) dan alat untuk pengujian diantaranya yaitu, durometer *digital shore-A*, *thermo-hygrometer digital*, kapur, senter *superfireA2-S*, dan mesin *x-ray*.

3. Prosedur Percobaan

Tahapan prosedur kerja percobaan durasi tunggu *green tire* terhadap pengujian kekerasan dan kualitas ban jadi diilustrasikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Percobaan Durasi Waktu Tunggu *Green Tire* terhadap kualitas ban jadi

Gambar 3.2 adalah diagram alir proses dari percobaan durasi tunggu *green tire* terhadap hasil inspeksi kualitas produk ban. Keempat sampel percobaan memiliki prosedur yang sama. Perbedaannya hanya terletak pada durasi tunggu sebelum proses vulkanisasi pada *green tire*. Tahapannya terdiri dari beberapa proses yakni preparasi sampel uji, pengujian kekerasan sebelum vulkanisasi, proses vulkanisasi, pendinginan, pengujian kekerasan setelah vulkanisasi, dan terakhir inspeksi visual dan *x-ray* dari cacat produk jadi. Penjelasan diagram alir proses sebagai berikut.

a. Preparasi sampel uji dan perlakuan pada suhu ruangan vulkanisasi

Preparasi sampel uji dilakukan dengan meletakkan *green tire* di area depan mesin vulkanisasi sebelum proses pemanasan. Lokasi ini dipilih karena merupakan area yang paling sering digunakan untuk penempatan *green tire* saat menunggu proses vulkanisasi, sehingga dapat merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Selama masa tunggu, *green tire* dibiarkan dalam kondisi terbuka pada suhu ruang dalam *range* sebesar $42,3^{\circ}\text{C}$, yang merupakan suhu rata-rata di sekitar mesin vulkanisasi. Suhu tersebut diukur menggunakan alat *thermo-hygrometer* digital untuk memastikan keakuratan kondisi lingkungan saat proses waktu tunggu berlangsung. Gambar 3.3 berikut ini merupakan hasil pengukuran suhu ruangan vulkanisasi menggunakan alat *thermo-hygrometer*.



Gambar 3. 3 Alat pengukur suhu dan kelembaban di ruangan vulkanisasi
Sumber: Dokumentasi

- b. *Green Tire* dengan waktu tanpa waktu tunggu, 30, 60, dan 90 menit

Satu kali percobaan, disiapkan empat sampel dengan variasi waktu tunggu, yaitu tanpa waktu tunggu, 30 menit, 60 menit, dan 90 menit berdasarkan dari waktu vulkanisasi ban. Setiap sampel diletakkan pada suhu ruangan vulkanisasi sesuai dengan waktu tunggu yang masing-masing yang terjadi di area produksi. Variasi waktu tunggu ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana lamanya waktu sebelum proses vulkanisasi dapat mempengaruhi kualitas produk, baik dari sisi kekerasan maupun potensi cacat yang muncul. Seluruh sampel ditempatkan dalam lingkungan yang sama agar suhu yang diterima seragam, sehingga hasil pengujian menjadi lebih akurat.

- c. Pengujian kekerasan tapak ban sebelum proses vulkanisasi

Pengukuran kekerasan dilakukan sebelum proses vulkanisasi, dengan fokus pada bagian tapak ban menggunakan durometer digital skala Shore A. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengidentifikasi sejauh mana suhu ruangan vulkanisasi dapat

menyebabkan perubahan kekerasan pada tapak ban, terutama akibat proses vulkanisasi dini selama masa tunggu. Melalui pengujian ini, dapat diketahui pengaruh suhu lingkungan terhadap karakteristik fisik *green tire* sebelum mengalami proses vulkanisasi secara menyeluruh.

d. Proses vulkanisasi dan pendinginan

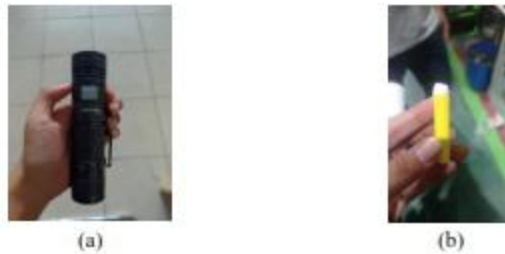
Proses vulkanisasi dilakukan pada suhu 165°C selama 30 menit menggunakan mesin vulkanisasi dengan *mold* ganda untuk memastikan pemanasan yang merata pada seluruh permukaan ban. Setelah proses pemasakan selesai, ban dikeluarkan dari mesin dan dibiarkan mendingin pada suhu ruang. Tahap pendinginan ini diperlukan agar suhu ban mencapai kondisi stabil sebelum dilakukan pengujian kekerasan, khususnya pada bagian tapak ban.

e. Pengujian kekerasan setelah proses vulkanisasi

Pengukuran kekerasan setelah vulkanisasi menjadi penting karena tingkat kekerasan ini memengaruhi sifat mekanik ban, termasuk daya tahan terhadap abrasi. Kekerasan yang diukur hanya pada tapak ban. Kekerasan yang sesuai akan memberikan ketahanan aus yang optimal, sehingga hasil uji abrasi nantinya dapat mencerminkan kualitas akhir produk ban. Tetapi, pada percobaan kali ini tidak sampai pada pengujian abrasi hanya mengetahui kekerasannya dan membandingkannya dengan kekerasan standar perusahaan.

f. Inspeksi visual dan *x-ray*

Setelah pengujian kekerasan pada tapak ban selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah inspeksi visual untuk mendeteksi kemungkinan cacat pada ban jadi. Pemeriksaan ini dilakukan oleh operator dengan menggunakan senter Superfire guna membantu melihat permukaan ban secara lebih jelas. Pemeriksaan difokuskan pada hasil dari empat variasi waktu tunggu yang telah diuji sebelumnya. Jika ditemukan cacat seperti retakan, goresan, atau ketidaksempurnaan lainnya, bagian tersebut diberi tanda menggunakan kapur putih. Setelah itu, semua ban baik yang ada cacat maupun tidak akan diperiksa lebih lanjut menggunakan alat *x-ray* untuk memastikan letak dan jenis cacat secara detail. Semua hasil dari pemeriksaan visual dan *x-ray* kemudian dikumpulkan sebagai data pendukung dalam evaluasi kualitas ban. Pengaruh menurunnya kualitas pada ban akibat dari durasi waktu tunggu *green tire* dianalisis dengan inspeksi secara visual dengan bantuan alat yakni senter dan kapur untuk penanda cacat pada ban dapat dilihat pada Gambar 3.4 inspeksi ban juga dilakukan dengan mesin *x-ray* untuk menganalisis cacat yang tidak terlihat langsung oleh mata dan terdapat dibagian dalam ban.



Gambar 3. 4 Alat yang digunakan untuk inspesi visual (a) Senter untuk mendeteksi cacat (b) Kapur untuk penanda cacat pada ban

Sumber: Dokumentasi

g. Analisis Statistik

1) Regresi Linear

Metode regresi linear digunakan dalam percobaan ini untuk memprediksi banyaknya cacat yang muncul tiap menit. Hasil regresi ini digunakan untuk mengetahui waktu tunggu yang terbaik untuk *green tire* agar cacat dapat diminimalkan. metode regresi linear digunakan sebagai pendekatan statistik untuk memodelkan dan memprediksi jumlah cacat yang muncul pada ban setiap satuan waktu, khususnya dalam hitungan per menit. Metode ini dipilih karena sesuai untuk jenis data diskrit yang bersifat cacahan (*count data*), di mana variabel respon berupa jumlah cacat tidak bisa bernilai negatif dan mengikuti distribusi. Melalui analisis ini, diperoleh gambaran mengenai pola hubungan antara durasi waktu tunggu *green tire* sebelum proses vulkanisasi dengan banyaknya cacat yang muncul pada produk akhir.

Model regresi memungkinkan estimasi yang lebih akurat terhadap tren jumlah cacat seiring bertambahnya waktu tunggu, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi seberapa besar pengaruh waktu tunggu terhadap kualitas ban. Dari hasil model ini, dapat diidentifikasi waktu tunggu yang paling optimal, yaitu durasi yang menghasilkan jumlah cacat paling minimal. Penentuan waktu tunggu yang optimal ini sangat penting dalam proses produksi ban radial, karena dapat digunakan sebagai acuan dalam pengaturan proses manufaktur guna meningkatkan efisiensi produksi serta menurunkan tingkat produk cacat. Dengan demikian, hasil analisis ini tidak hanya memberikan informasi statistik, tetapi juga dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan teknis dalam operasional pabrik.

2) *One-Way Anova*

Metode *One-Way ANOVA* digunakan dalam percobaan ini untuk menganalisis perbedaan nilai kekerasan tapak ban sebelum dan setelah proses vulkanisasi pada beberapa kelompok perlakuan. *One-Way ANOVA (Analysis of Variance satu arah)* merupakan metode statistik parametrik yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dari tiga kelompok atau lebih yang bersifat independen. Dalam konteks ini, kelompok yang dimaksud dapat berupa ban yang divulkanisasi dengan waktu tunggu *green tire* yang berbeda-beda. Penggunaan *One-Way*

ANOVA memungkinkan peneliti untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik pada nilai kekerasan tapak antar kelompok tersebut. Jika hasil *ANOVA* menunjukkan perbedaan yang signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa faktor waktu tunggu *green tire* sebelum vulkanisasi memberikan pengaruh terhadap kekerasan tapak ban yang dihasilkan.

