

TUGAS AKHIR

IDENTIFIKASI DAN ANALISIS RISIKO KEGAGALAN *BLADDER* DENGAN METODE RCA DAN FMEA (STUDI KASUS PT XYZ)



Disusun Oleh:

**ALVITARA ADITA PUTRI
2203048**

**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
BADAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA**

2025

LEMBAR PENGESAHAN**IDENTIFIKASI DAN ANALISIS RISIKO KEGAGALAN *BLADDER*
DENGAN METODE RCA DAN FMEA (STUDI KASUS PT XYZ)**

Disusun oleh:

ALVITARA ADITA PUTRI
NIM. 2203048
Program Studi Teknologi Pengolahan Karet Dan Plastik

Pembimbing



Pani Satwikanitya, M.Eng.
NIP. 198709102020122001

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

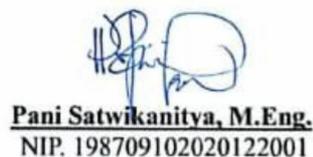


Dr. Ratri Retno Utami, S.TP, M.T.
NIP. 198203312008032001

Anggota



Ir. E. Ratna Utarianingrum, M.Si.
NIP. 196410231994032001



Pani Satwikanitya, M.Eng.
NIP. 198709102020122001

Yogyakarta, 28 Juli 2025
Direktur Politeknik ATK Yogyakarta



Dr. Sonny Taufan, S.H., M.H.
NIP. 198402262010121002

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT., yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir tepat waktu. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya Diploma III di Politeknik ATK Yogyakarta. Dengan selesainya Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam segala aspek, terutama kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Sonny Taufan, S.H., M.H, Direktur Politeknik ATK Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Wisnu Pambudi, M. Sc., Ketua Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik.
3. Ibu Pani Satwikanitya. M.Eng., Dosen Pembimbing yang telah membantu untuk memberikan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Kepala Departemen Quality and Technology di PT XYZ.
5. Bapak Donny Tyastono Pembimbing Magang pada Departement Quality and Technology.
6. PT XYZ, tempat pelaksanaan magang.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan kesehatan, rahmat dan karunia yang melimpah kepada semua pihak yang telah membantu untuk terselesainya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran dari pembaca sangat diperlukan demi perbaikan di masa yang akan datang.

Akhirnya, penulis berharap semoga segala hal yang telah penulis tuangkan dalam Tugas Akhir ini dapat memberikan tambahan pengetahuan bagi penulis dan kalangan akademis maupun praktisi. Lebih dan kurang penulis mohon maaf, kepada Allah SWT., penulis mohon ampun.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Yogyakarta, 15 Juli 2025



Alvitara A P

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
MOTTO.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
INTISARI.....	x
ABSTRACT.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Karya Akhir	6
D. Manfaat Karya Akhir.....	7
E. Batasan Masalah.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Definisi Ban	9
1. Jenis-Jenis Ban.....	9
2. Proses Vulkanisasi (<i>Curing</i>)	12
B. <i>Bladder</i> pada Proses Vulkanisasi	15
1. Fungsi <i>Bladder</i>	15
2. Permasalahan Umum pada <i>Bladder</i>	16
C. Jenis Perawatan (<i>Maintenance</i>).....	18
1. <i>Corrective Maintenance</i>	18
2. <i>Preventive Maintenance</i>	18
D. Metode Analisis Data	20
E. <i>Root Cause Analysis</i> (RCA).....	22
1. Pengertian dan tujuan	22

2. <i>Tools</i> yang digunakan	22
3. Penerapan dalam industri.....	23
F. <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).....	24
1. Pengertian dan Tujuan	24
2. Langkah-langkah FMEA	25
3. Peran FMEA dalam proses pencegahan kerusakan mesin/komponen	26
BAB III MATERI DAN METODE KARYA AKHIR.....	28
A. Metode Pengumpulan Data.....	28
1. Pengumpulan Data Primer	29
2. Pengumpulan Data Sekunder	30
B. Metode Pengolahan Data	30
C. Waktu dan Penelitian Karya Akhir	31
1. Waktu Penelitian Karya Akhir	31
2. Tempat Penelitian Karya Akhir.....	31
D. Tahapan Proses.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
A. Jenis Alasan Pergantian <i>Bladder</i>	38
B. Jenis Kerusakan <i>Bladder</i>	41
C. Analisis RCA (<i>Root Cause Analysis</i>).....	49
1. <i>Fishbone</i> Diagram.....	49
2. Studi Kasus <i>5 why</i>	54
D. Analisis FMEA (<i>Failure mode and Effect Analysis</i>)	55
E. Peningkatan Kinerja <i>Bladder</i>	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
A. KESIMPULAN.....	69
B. SARAN.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	76

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Jenis Cacat Pada <i>Bladder</i>	48
Tabel 2. FMEA Kerusakan Dini <i>Bladder</i> – Versi Lengkap	56
Tabel 3. Hasil Kuesioner FMEA	57
Tabel 4. Tabel Data <i>Bladder</i> Selama 3 bulan	61
Tabel 5. Standar Operasioal Prosedur (SOP) Pelumasan <i>Bladder</i> di PT XYZ	63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Bladder</i> ketika mengempis.....	3
Gambar 2. Konstruksi ban radial dan ban bias.....	9
Gambar 3. Lapisan Ban Radial Dan Bias.....	10
Gambar 4. Proses Produksi Ban	11
Gambar 5. Lapisan Pada Ban	12
Gambar 6. <i>Bladder</i> dan <i>greentire</i>	12
Gambar 7. Proses Vulkanisasi Ban Mobil Radial.....	13
Gambar 8. Ilustrasi Pengembangan <i>Bladder</i>	15
Gambar 9. <i>Bladder</i>	16
Gambar 10. Tahapan Proses Penelitian.....	32
Gambar 11. Diagram siklus pakai <i>bladder</i> bulan Maret total 144 unit.....	35
Gambar 12. Perbandingan rata-rata siklus pemakaian <i>bladder</i> bulan Maret 2025 dengan target perusahaan.	36
Gambar 13. Monitor pada mesin <i>curing</i>	37
Gambar 14. Grafik Alasan Pergantian <i>Bladder</i>	39
Gambar 15. <i>Bladder</i> Meletus	41
Gambar 16. Cacat Ban Akibat <i>Bladder</i> Terlipat.....	43
Gambar 17. <i>Bladder</i> Bocor	44
Gambar 18. <i>Greentire</i> Menempel pada <i>bladder</i> ,	45
Gambar 19. <i>Bladder</i> Aus dan <i>Bladder</i> Baru	47
Gambar 20. Diagram <i>Fishbone</i> Hasil <i>Brainstorming</i>	49
Gambar 21. Kondisi Pabrik Tahap Pembangunan).....	52
Gambar 22. Peningkatan Frekuensi Penggunaan <i>Bladder</i>	60
Gambar 23. Persentase Alasan Pergantian <i>Bladder</i>	60
Gambar 24. Agen Pelumas (<i>release agent</i>) dan Pelumasan	64

Catatan:

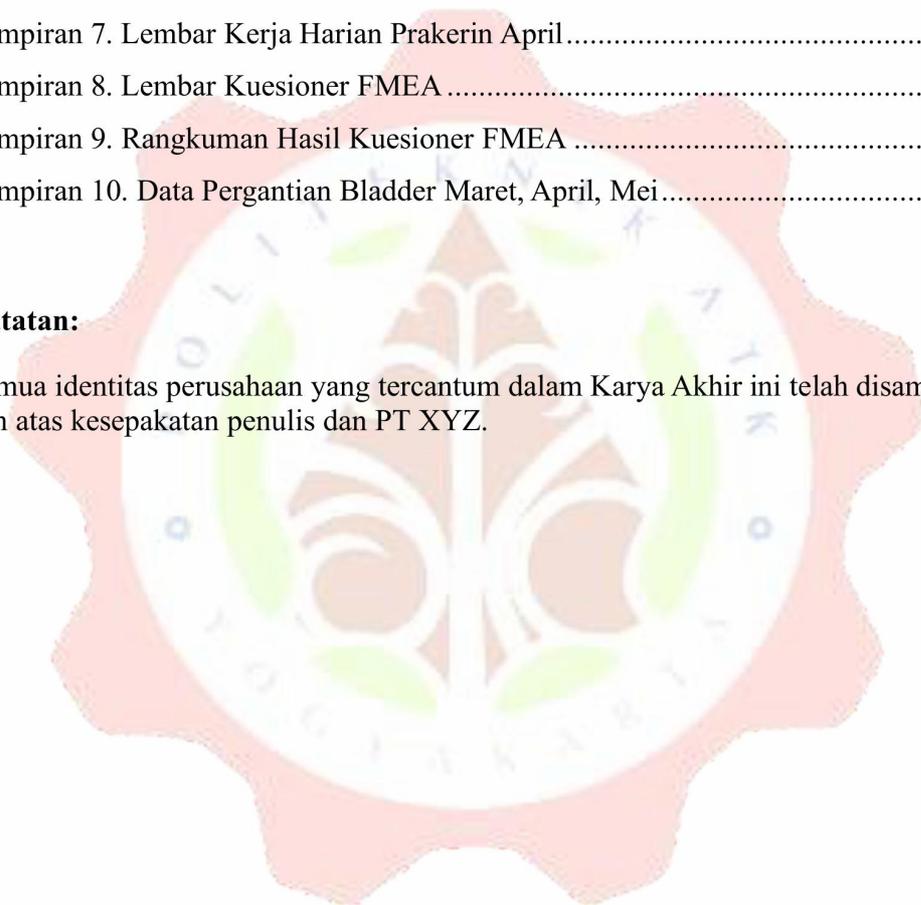
Semua dokumentasi yang tercantum dalam Karya Akhir ini telah diperiksa dan disetujui oleh PT XYZ.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Form Penilaian Magang	76
Lampiran 2. Lembar Kerja Harian Prakerin November	77
Lampiran 3. Lembar Kerja Harian Prakerin Desember	78
Lampiran 4. Lembar Kerja Harian Prakerin Januari.....	79
Lampiran 5. Lembar Kerja Harian Prakerin Februari.....	80
Lampiran 6. Lembar Kerja Harian Prakerin Maret	82
Lampiran 7. Lembar Kerja Harian Prakerin April.....	83
Lampiran 8. Lembar Kuesioner FMEA	84
Lampiran 9. Rangkuman Hasil Kuesioner FMEA	86
Lampiran 10. Data Pergantian Bladder Maret, April, Mei.....	87

Catatan:

Semua identitas perusahaan yang tercantum dalam Karya Akhir ini telah disamarkan atas kesepakatan penulis dan PT XYZ.



INTISARI

Proses vulkanisasi menjadi salah satu tahap penting dalam pembuatan ban mobil karena berpengaruh langsung terhadap kekuatan, elastisitas, dan kualitas akhir ban. Salah satu komponen utama proses vulkanisasi adalah *bladder*, yaitu kapsul karet yang berfungsi menyalurkan tekanan dan panas dari dalam ban ke permukaan cetakan (*mold*). Tetapi dalam kenyataannya, *bladder* sering mengalami kerusakan sebelum mencapai batas standar pemakaian, yaitu 350 siklus. Berdasarkan data dari PT XYZ, kerusakan bisa terjadi saat *bladder* digunakan kurang dari 100 siklus. Rata-rata penggunaan *bladder* pada bulan Maret 2025 hanya mencapai 240 siklus, dengan alasan pergantian didominasi oleh kesalahan manusia 49% dan usia pakai *bladder* sebesar 48%. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi faktor penyebab utama kerusakan *bladder*. Metode yang digunakan meliputi pengamatan langsung, pencatatan data pergantian *bladder*, serta analisis data menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk melihat risiko kerusakan mana yang paling prioritas dan apa akar masalahnya. Dari hasil analisis, ditemukan bahwa kesalahan manusia seperti pelumasan yang tidak merata, prosedur kerja yang tidak sesuai SOP, serta kesalahan saat pemasangan menjadi penyebab utama kerusakan *bladder*. Setelah penerapan perbaikan dan pelatihan, pada bulan April dan Mei terdapat peningkatan rata-rata penggunaan *bladder* menjadi 270 dan 279 serta penurunan alasan pergantian akibat manusia menjadi 45% dan 40%. Dengan mengetahui akar permasalahan dan tingkat keparahan risikonya, penelitian ini diharapkan bisa memberikan solusi preventif seperti pelatihan operator, penyempurnaan prosedur kerja, dan penggunaan cairan pelumas (*anti tack*) yang lebih tahan panas untuk memperpanjang umur *bladder*, mengurangi *downtime* mesin, dan proses vulkanisasi menjadi lebih efisien.

Kata kunci: vulkanisasi, *bladder*, kerusakan, Preventif

ABSTRACT

The vulcanization process is a crucial step in tire manufacturing because it directly impacts the tire's strength, elasticity, and final quality. One of the main components of the vulcanization process is the bladder, a rubber capsule that transfers pressure and heat from inside the tire to the mold surface. However, bladders often fail before reaching their standard usage limit of 350 cycles. Data from PT XYZ indicates that failure can occur when the bladder is used for less than 100 cycles. The average bladder usage in March 2025 was only 240 cycles, with replacements dominated by human error and a bladder lifespan of 49%. This study aims to identify the main causes of bladder failure. The methods used include direct observation, recording bladder replacement data, and data analysis using Root Cause Analysis (RCA) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to identify the most prioritized damage risks and their root causes. The analysis revealed that human error, such as uneven application, non-standard operating procedures, and installation errors, were the main causes of bladder failure. Following the implementation of improvements and training, the average bladder usage increased to 270 and 279 in April and May, respectively, and the human-caused replacement reasons decreased to 45% and 40%. By understanding the root cause and the severity of the risks, this study is expected to provide preventive solutions such as operator training, improved work procedures, and the use of more heat-resistant (anti-tack) lubricants to extend bladder life, reduce machine downtime, and improve vulcanization efficiency.

Keywords: *vulcanization, bladder, damage, preventive*

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

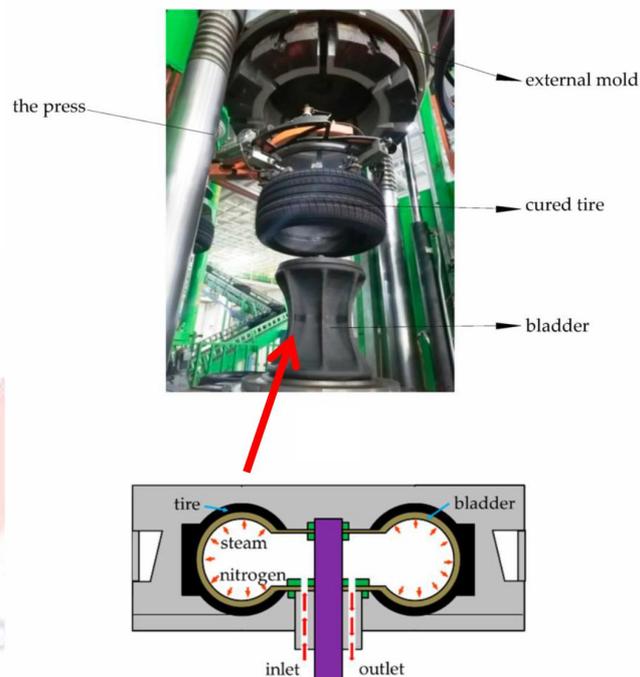
Industri manufaktur merupakan sektor yang memiliki peran dominan dalam perekonomian global, termasuk di Indonesia. Berdasarkan data dari Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, industri manufaktur menyumbang sekitar 20% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional, menjadikannya sektor terbesar dibandingkan sektor lainnya (Indonesia., 2023). Salah satu subsektor penting dalam industri manufaktur adalah industri otomotif, dan di dalamnya terdapat industri ban sebagai komponen vital kendaraan bermotor. Ban tidak hanya berfungsi sebagai media penggerak kendaraan, tetapi juga sebagai penopang beban, peredam guncangan, serta penentu arah dan stabilitas kendaraan.

Proses pembuatan ban sendiri melibatkan beberapa tahap penting, mulai dari tahap pertama yaitu pencampuran bahan (*mixing*), di mana karet mentah dicampur dengan karbon hitam, sulfur, dan akselerator untuk menghasilkan *compound* karet. Selanjutnya, *compound* dibentuk menjadi berbagai bagian seperti *tread*, *sidewall*, *bead*, dan *innerliner*. Setelah itu, seluruh komponen disusun menjadi bentuk ban mentah (*greentire*) melalui proses perakitan ban (*building*). *Greentire* kemudian diproses pada tahap vulkanisasi (*curing*) dengan suhu dan tekanan tertentu untuk membentuk ikatan silang (*cross-linking*) antar molekul karet sehingga ban menjadi elastis, kuat, dan tahan terhadap panas (Erwin, 2020). Tahap akhir adalah pemeriksaan kualitas (*inspection*) yang

meliputi uji visual, uji *X-ray*, dan uji keseimbangan untuk memastikan bahwa ban memenuhi standar keselamatan dan performa (Shidiq *et al.*, 2024).

Proses vulkanisasi (*curing*) menjadi penentu kualitas akhir ban karena pada tahap inilah ban memperoleh sifat fisik dan kimia yang dibutuhkan untuk performa maksimal di jalan (Hidayat. T *et al.*, 2015). Proses vulkanisasi atau *curing* merupakan proses pematangan *greentire* dengan cara dipanaskan pada suhu dan tekanan tertentu di dalam *mold* mesin vulkanisasi dengan memanfaatkan tiga komponen utama dalam prosesnya yaitu tekanan, waktu, dan suhu. Metode ini paling praktis dan merupakan tahap penting dalam produksi ban, karena mengubah sifat fisik dan kimia *compound* karet menjadi *lebih* kuat, elastis, dan tahan aus, sehingga menjadi ban yang siap digunakan (Hidayat. L *et al.*, 2015).

Mesin vulkanisasi ban dilengkapi dengan kapsul (*bladder*), yaitu sebuah kantung elastis berbahan karet atau material tahan panas yang dipasang didalam ban selama proses vulkanisasi menggunakan mesin *curing press* (Febriana *et al.*, 2020). *Bladder* merupakan komponen vital yang berfungsi sebagai media penekan dan penghantar panas ke dalam struktur ban saat dilakukan proses vulkanisasi (Raju, 2022). Cara kerjanya mirip seperti balon yang mengembang didalam *greentire* untuk menekan ban keluar kearah *mold* cetakan. Kualitas *bladder* yang baik sangat menentukan hasil akhir ban, terutama pada bagian *innerliner* yang menjadi lapisan kedap udara dan berperan penting dalam menjaga tekanan angin ban (Feng & Isayev, 2006)



Gambar 1. *Bladder* ketika mengempis

Sumber: <https://tiberman.com/wp-content/uploads/2022/12/applsci-10-00079-g001-886x1024.webp>

Bladder pada proses vulkanisasi dapat dilihat pada Gambar 1 berperan sebagai media perantara untuk mentransfer panas secara merata ke seluruh permukaan bagian dalam *greentire* dan membentuknya menjadi ban jadi. *Bladder* ini dipasangkan didalam *greentire*, kemudian diberi tekanan uap didalam mesin vulkanisir. Panas dan tekanan dari mesin vulkanisir kemudian mendorong *bladder* untuk mengembang, sehingga *greentire* mengikuti bentuk cetakan dan membentuk pola ban (*pattern*) (Zhang *et al.*, 2020).

Kerusakan pada *bladder* seperti bocor/berlubang, *bladder* meletus, terlipat, berkerut, atau bahkan sobek, dan *bladder* aus sebelum 100 kali pakai yang terjadi selama proses vulkanisasi dapat berdampak langsung terhadap cacat pada lapisan

innerliner seperti bekas kerusakan *bladder* dan lipatan. Selain itu, kerusakan pada *bladder* juga dapat menurunkan efisiensi produksi dan meningkatkan biaya produksi akibat waktu tunggu (*downtime*) karena penggantian komponen yang lebih sering.

Downtime adalah waktu dimana mesin atau peralatan tidak dapat digunakan untuk proses produksi, baik karena kerusakan, perawatan, penyesuaian, maupun persiapan produksi lainnya. *Downtime* dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu, *planned downtime* merupakan waktu henti yang direncanakan, misalnya untuk pemeliharaan rutin atau penggantian *mold*. Kemudian *unplanned downtime* yaitu waktu henti tidak terencana akibat kerusakan mesin atau gangguan mendadak lainnya. *Downtime* dihitung sebagai jumlah waktu yang digunakan untuk *setup & adjustment* (persiapan produksi) dan waktu *breakdown* (kerusakan mesin), sehingga selama *downtime*, mesin tidak menghasilkan output produksi (Husen, 2021).

Berdasarkan data penggunaan *bladder* di PT XYZ pada bulan Maret 2025 rata-rata siklus penggunaannya hanya 240 siklus dengan alasan pergantian didominasi kesalahan manusia sebesar 49% dan penuaan *bladder* sebesar 48%. Berdasarkan kondisi umum di industri dan referensi teknis dari produsen *bladder*, umur pakai *bladder* optimal berada pada kisaran 300 hingga 400 siklus vulkanisasi tergantung kondisi operasi (Group, 2020). Di PT XYZ sendiri, target umur *bladder* ditetapkan sebesar 350 siklus. Namun, observasi di lapangan menunjukkan banyak *bladder* mengalami kerusakan dini bahkan sebelum mencapai 100 siklus, yang menunjukkan adanya permasalahan operasional.

Dampak kerusakan dini yang signifikan pada *bladder* yaitu meningkatkan biaya pergantian *bladder* atau biaya produksi (*cost impact*), jika *bladder* diganti setiap 250 siklus dengan standar yang seharusnya 350 siklus, maka PT XYZ perlu mengganti *bladder* 40% lebih sering dari seharusnya. Kemudian biaya energi dan material terbuang, setiap vulkanisasi gagal akibat *bladder* rusak seperti pemborosan *steam*, listrik, dan kompon karet serta biaya *repair* atau *scrap* ban cacat (Ardi *et al.*, 2020)

Beberapa studi terdahulu oleh Rodgers *et al.*, (2022) menemukan bahwa kegagalan komponen *curing* (termasuk *bladder*) menyebabkan 19-25% total *downtime* di 4 pabrik ban Asia Tenggara. Selain itu, laporan teknis oleh Michelin Group (2021) menyatakan *bladder failure* merupakan penyebab 21% *unplanned downtime* di divisi PCR. Oleh karena itu diperlukan usaha perbaikan untuk mencegah kerusakan dini pada *bladder* dengan memperhatikan faktor material pada *bladder* (Mobley, 2002; Stamatis, 2003)

Pencegahan terhadap kegagalan dini, seperti kerusakan *bladder* dalam proses vulkanisasi, memerlukan pendekatan perawatan preventif yang berbasis analisis. Metode *Root Cause Analysis* (RCA) digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama kerusakan yang telah terjadi, sedangkan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan secara proaktif untuk memetakan potensi kegagalan yang mungkin muncul dalam proses produksi. Kombinasi keduanya dipilih karena mampu meningkatkan efektivitas perawatan serta mendukung efisiensi dan kualitas produk secara berkelanjutan (Kumar & Singh, 2020; Lee *et al.*, 2022).

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui akar penyebab masalah dan mendapatkan solusi preventif untuk mencegah kerusakan dini dengan pendekatan melalui metode RCA dan FMEA sehingga diharapkan dapat membantu mencegah masalah berulang, meningkatkan kualitas, pemahaman tentang penyebab masalah dan efisiensi proses, serta keselamatan juga untuk mengurangi risiko sehingga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih efektif (Da Silva & Costa, 2017).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan tersebut didapat rumusan masalah sebagai berikut.

1. Mengapa *bladder* di PT XYZ mengalami kerusakan dini sebelum mencapai umur pakai yang ditargetkan (350 siklus)?
2. Bagaimana penerapan metode RCA dapat membantu mengidentifikasi akar penyebab kerusakan dini *bladder*?
3. Bagaimana metode FMEA dapat digunakan untuk menentukan prioritas tindakan perbaikan terhadap kerusakan *bladder*?

C. Tujuan Karya Akhir

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan karya akhir ini yaitu:

1. Dapat mengetahui penyebab utama kerusakan dini (sebelum siklus normal) pada *bladder*.
2. Menganalisis penerapan metode *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dalam mengidentifikasi akar penyebab kerusakan dini *bladder*.

3. Memberikan rekomendasi perbaikan teknis untuk memperpanjang umur *bladder*.

D. Manfaat Karya Akhir

Berdasarkan tujuan karya akhir diatas, manfaat karya akhir ini yaitu:

1. Bagi penulis menambah ilmu dan wawasan tentang *bladder* khususnya kualitas dan masa pakainya.
2. Menjadi bahan atau referensi untuk mengurangi *downtime* dan *cost* serta menambah data dan analisis sebagai pengambilan keputusan terkait pergantian *bladder*.
3. Memberikan andil dan kontribusi untuk penelitian selanjutnya serta menambah kajian mengenai kerusakan dini pada *bladder*, perawatan preventif, dan ketahanan *lifetime* (umur pakai) *bladder*.

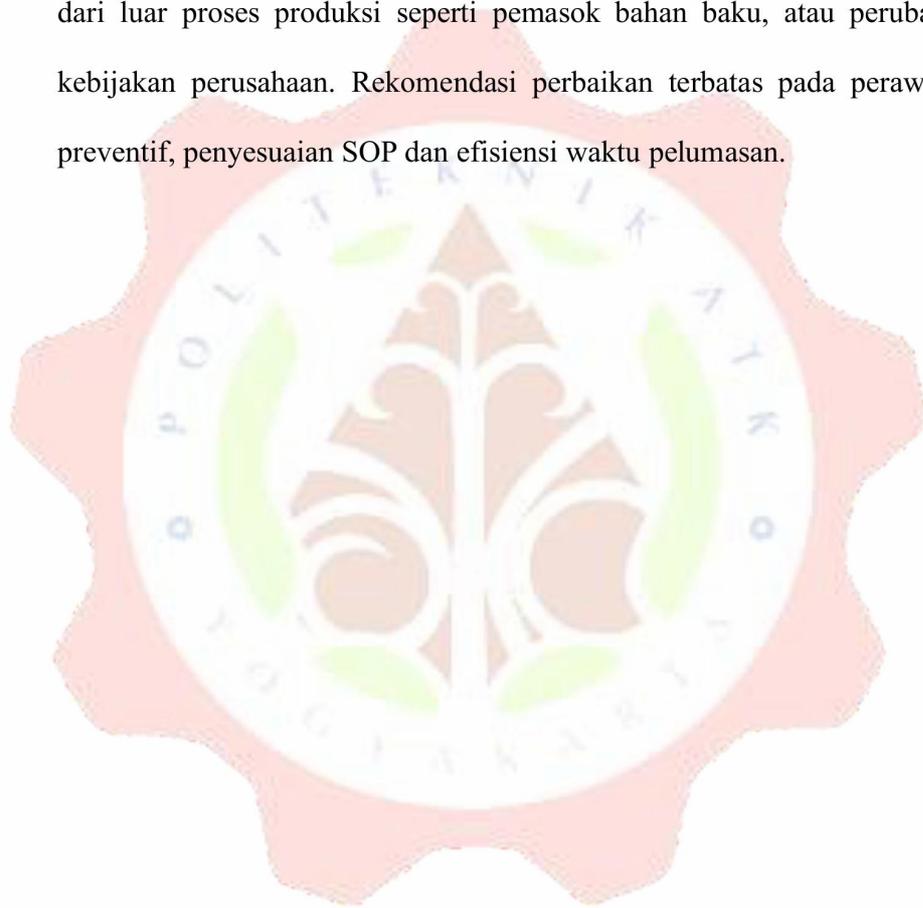
E. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam karya akhir ini yaitu:

1. Objek penelitian dibatasi pada penggunaan dan kerusakan *bladder* pada proses vulkanisasi ban radial di PT XYZ selama periode Maret-Mei 2025. Penelitian difokuskan untuk menganalisis *bladder* yang digunakan untuk ban radial di PT XYZ.
2. Fokus utama masalah adalah pada kerusakan dini *bladder*, seperti bocor, meletus, atau terlipat, sebelum mencapai target 350 siklus pemakaian.
3. Analisis kerusakan dini dilakukan menggunakan pendekatan RCA (*Root Cause Analysis*) dan metode FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*). RCA digunakan untuk menangani masalah yang sudah terjadi dengan

mencari akar penyebabnya, sedangkan FMEA mencegah masalah dengan mengantisipasi risiko kegagalan di masa depan.

4. Penelitian hanya membahas faktor-faktor internal (aspek-aspek dalam proses produksi) yang berkaitan dengan pelumasan, pemasangan, dan pemeliharaan *bladder*. Bukan mengacu pada faktor eksternal, yang berasal dari luar proses produksi seperti pemasok bahan baku, atau perubahan kebijakan perusahaan. Rekomendasi perbaikan terbatas pada perawatan preventif, penyesuaian SOP dan efisiensi waktu pelumasan.

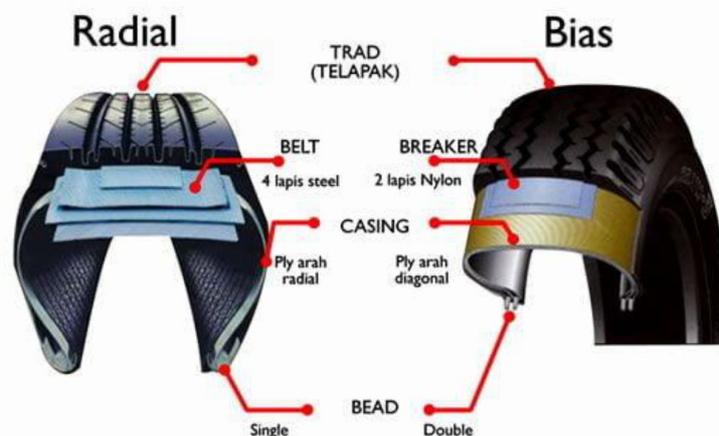


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Ban

Ban merupakan salah satu komponen paling vital dalam sistem kendaraan karena berfungsi sebagai satu-satunya bagian yang bersentuhan langsung dengan permukaan jalan. Secara umum, ban memiliki tiga fungsi utama (1) menopang beban kendaraan, (2) meneruskan gaya gerak dan gaya pengereman, serta (3) meredam getaran dari permukaan jalan sehingga memberikan kenyamanan dan stabilitas saat berkendara (Widodo & Wibowo, 2016).

1. Jenis-Jenis Ban



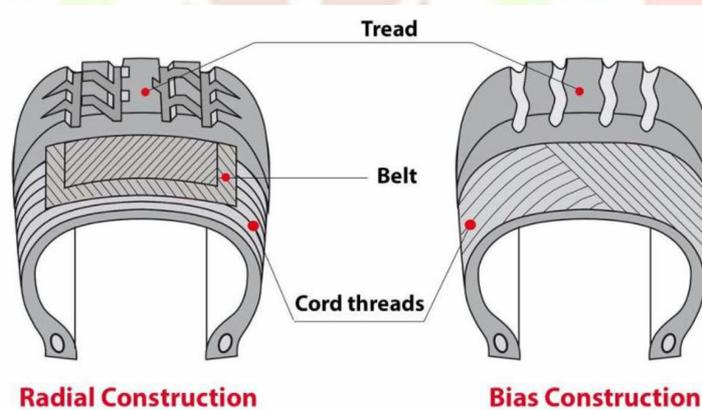
Gambar 2. Konstruksi ban radial dan ban bias

Sumber: https://tiberman.comblogwp-content/uploads202210/perbedaan_ban.jpg

Ban terbagi menjadi dua jenis utama berdasarkan konstruksinya. Berdasarkan lapisannya dapat dilihat pada Gambar 2, yaitu ban bias dan ban radial. Ban bias memiliki lapisan ply (kerangka benang nilon atau poliester) yang disusun secara menyilang dengan sudut sekitar 30° – 40° terhadap garis tengah telapak ban. Konstruksi ini membuat dinding ban lebih kaku namun

kurang fleksibel, sehingga menghasilkan tingkat gesekan dan panas yang lebih tinggi saat digunakan. Sebaliknya, ban radial dirancang dengan lapisan *ply* yang disusun secara radial atau tegak lurus terhadap arah putaran ban, membentuk sudut 90° terhadap garis tengah telapak ban (Setiawan, 2018).

Ban radial memiliki sejumlah keunggulan dalam hal konstruksi dibandingkan dengan ban bias. Karena lapisan *ply*-nya tersusun secara radial, ban ini memiliki fleksibilitas dinding samping yang lebih tinggi, sehingga mampu memberikan kenyamanan berkendara yang lebih baik, traksi (penarikan) yang optimal, serta kestabilan saat kendaraan bermanuver (perubahan cepat yang terjadi) (Anna *et al.*, 2017).

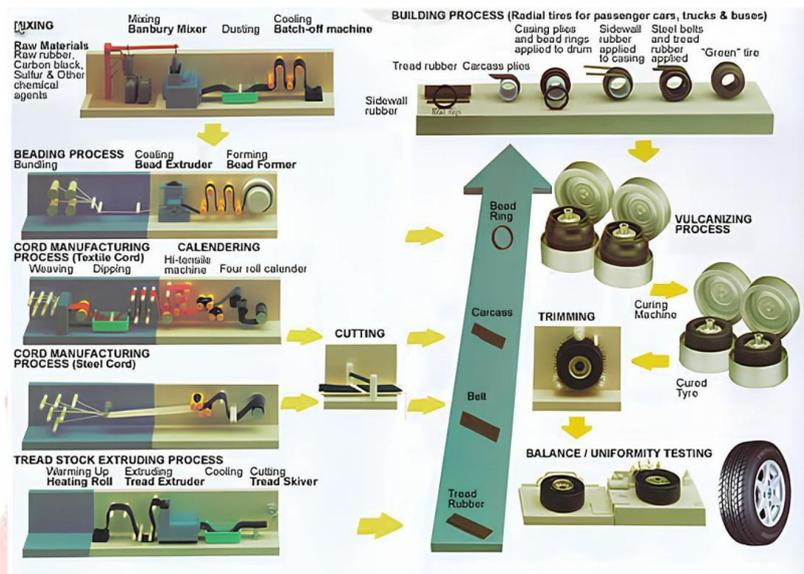


Gambar 3. Lapisan Ban Radial Dan Bias

Sumber: tirereview.com Radial vs. Bias Tires

Selain itu, ban radial biasanya diperkuat dengan beberapa lapisan sabuk (*belt*) terlihat pada Gambar 3 yang terbuat dari kawat baja atau serat sintetis yang dipasang di atas lapisan *ply*. Sabuk ini berfungsi memperkuat bagian telapak ban, meningkatkan daya tahan terhadap aus, serta mendukung efisiensi bahan bakar kendaraan (Michelin, 2017) Proses

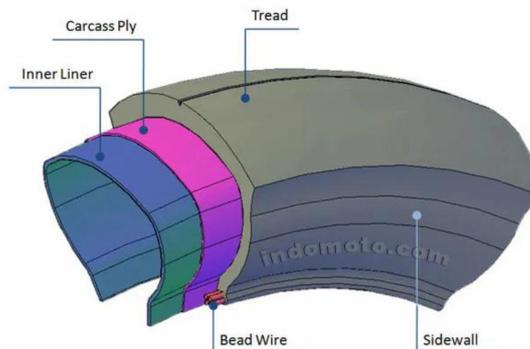
produksi ban melibatkan beberapa tahap utama yang harus dilakukan secara berurutan dengan tetap menjaga kualitasnya.



Gambar 4. Proses Produksi Ban

Sumber: process <https://blogger.googleusercontent.com>

Tahapan utama dalam proses produksi ban dapat dilihat pada Gambar 4 meliputi pencampuran bahan (*mixing*), di mana karet mentah dicampur dengan bahan kimia lainnya seperti karbon hitam, sulfur, dan akselerator menggunakan *internal mixer*. Proses ini bertujuan menghasilkan *compound* karet dengan sifat fisik dan mekanik yang diinginkan. Selanjutnya, pada tahap pembentukan komponen (*component preparation*), *compound* dibentuk menjadi berbagai bagian seperti *tread* (tapak ban), *sidewall* (dinding samping ban), *bead* (kerangka kaki ban), *carcass ply* (kerangka ban) dan *innerliner* (lapisan dalam) dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini. Setelah itu, seluruh komponen disusun menjadi bentuk ban mentah (*greentire*) melalui proses perakitan ban (*building*).



Gambar 5. Lapisan Pada Ban, Sumber: Indomoto.com

Greentire kemudian diproses pada tahap vulkanisasi (*curing*) dengan suhu dan tekanan tertentu untuk membentuk ikatan silang (*cross-linking*) antar molekul karet sehingga ban menjadi elastis, kuat, dan tahan terhadap panas (Erwin, 2020). Tahap akhir adalah pemeriksaan kualitas (*inspection*) yang meliputi uji visual, uji *X-ray*, dan uji keseimbangan untuk memastikan bahwa ban memenuhi standar keselamatan dan performa (Shidiq *et al.*, 2024).

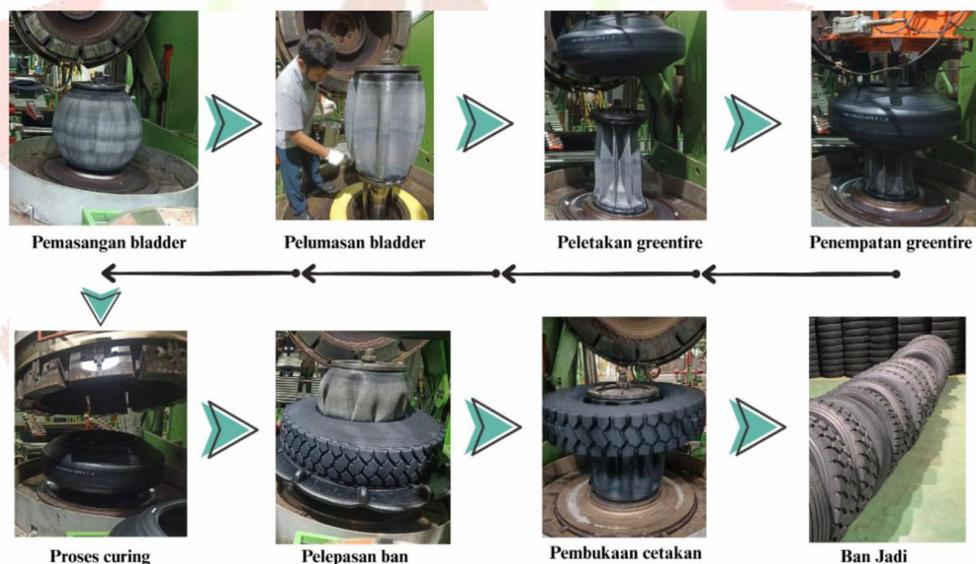
2. Proses Vulkanisasi (*Curing*)



Gambar 6. Bladder dan greentire

Sumber: [tire-curing http://sindomoto.com/pcontent/uploads/201703/tirecuring](http://sindomoto.com/pcontent/uploads/201703/tirecuring)

Vulkanisasi (*curing*), merupakan salah satu tahap paling penting dalam proses produksi ban karena menentukan performa akhir dari produk. Secara umum, pada tahap ini ban memperoleh sifat fisik dan kimia yang dibutuhkan untuk performa maksimal di jalan (Hidayat. T *et al.*, 2015). Proses vulkanisasi menggunakan *bladder*, yaitu kantung karet (kapsul) khusus yang ditempatkan di bagian dalam *greentire* (lihat Gambar 6). Fungsinya adalah memberikan tekanan ke arah dalam ban agar permukaan dalam menekan dinding cetakan secara merata. *Bladder* berperan penting dalam memastikan pembentukan pola tapak yang presisi serta perekatan sempurna antar lapisan ban selama *curing* berlangsung.



Gambar 7. Proses Vulkanisasi Ban Mobil Radial, Sumber: PT XYZ (2025)

Proses vulkanisasi dilakukan setelah tahap perakitan ban (*building*), dan diawali dengan proses pelumasan *bladder* dalam kondisi mengempis untuk memudahkan operator menjangkau seluruh permukaannya (lihat Gambar 7). Setelah itu, *greentire* dimasukkan ke dalam cetakan pemanas

(*mold*) yang memiliki pola tapak (*tread pattern*). Cetakan ini dilengkapi dengan alat bantu berupa *bladder*, yaitu kantung karet (kapsul) khusus yang ditempatkan di bagian dalam *greentire*. Ketika tekanan uap panas dialirkan, *bladder* akan mengembang dan menekan bagian dalam ban ke arah dinding cetakan, sehingga ban membentuk pola sesuai dengan cetakan.

Selama vulkanisasi, suhu proses dijaga pada kisaran 150–200 °C dan tekanan *bladder* sekitar 20–30 bar, disesuaikan dengan formulasi *compound* yang digunakan. Waktu *curing* bervariasi antara 10 hingga 60 menit, bergantung pada jenis dan spesifikasi ban yang diproduksi (Erwin, 2020). Hasil dari proses ini adalah ban yang sudah berbentuk final, dengan pola tapak (*tread*) yang tercetak sempurna dan sifat mekanik yang stabil. Vulkanisasi tidak hanya memberikan kekuatan dan daya tahan pada ban, tetapi juga meningkatkan ketahanan terhadap panas, tekanan udara, dan gesekan dengan jalan. Tanpa proses ini, ban akan mudah mengalami deformasi (perubahan bentuk), sobek, atau gagal saat digunakan dalam kondisi jalan yang ekstrem (Widodo & Wibowo, 2016).

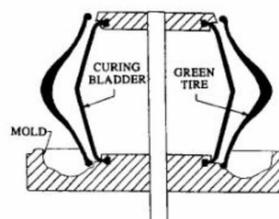
Efektivitas proses vulkanisasi sangat dipengaruhi oleh kondisi *bladder*. Jika *bladder* mengalami kerusakan, seperti meletus, bocor, terlipat, atau pemasangan yang tidak sesuai, maka tekanan yang diberikan pada permukaan dalam ban tidak akan merata terutama dibagian *innerliner*. Akibatnya, bisa terjadi cacat seperti bagian ban tidak mencetak sempurna, gelembung udara terperangkap, atau ketebalan tapak

(*tread*) yang tidak konsisten. Oleh karena itu, *bladder* harus diperiksa secara berkala dan dipastikan kondisinya baik sebelum digunakan dalam siklus produksi berikutnya.

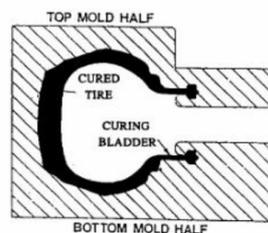
B. *Bladder* pada Proses Vulkanisasi

1. Fungsi *Bladder*

Bladder adalah salah satu komponen penting dalam proses vulkanisasi ban yang berfungsi sebagai media internal atau perantara untuk memberikan tekanan dari dalam ban selama proses pemanasan (*curing*) dalam cetakan, dapat dilihat pada Gambar 8. Komponen ini terbuat dari karet khusus yang memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, tekanan, serta kontak berulang dengan permukaan ban bagian dalam (Erwin, 2020). Proses vulkanisasi diawali dengan penempatan ban mentah (*greentire*) ke dalam *mold*. Setelah itu, *greentire* yang telah dimasukkan ke dalam *bladder* akan mengembang akibat tekanan uap panas atau fluida termal lainnya.

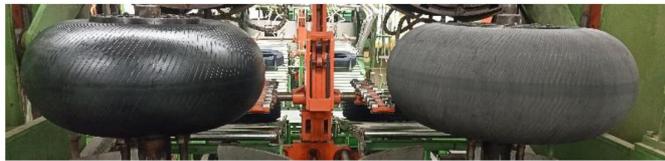


Pemasangan greentire kedalam cetakan sebelum proses vulkanisasi



Kondisi greentire dan mold saat proses vulkanisasi berlangsung

Gambar 8. Ilustrasi Pengembangan *Bladder* Sumber: USS-Method for Producing Tire-Curing *Bladder*



Gambar 9. *Bladder*, Sumber: PT.XYZ (2025)

Pengembangan *bladder* (gambar 9) ini menyebabkan bagian dalam ban terdorong ke luar, menempel rapat pada dinding *mold*, sehingga pola tapak ban tercetak sempurna dan distribusi panas berlangsung merata (Funt, 2014). Selain memberikan tekanan, *bladder* juga berperan dalam transfer panas dari *fluida* pemanas ke struktur ban. Efektivitas pemanasan sangat tergantung pada kontak merata antara *bladder* dengan permukaan dalam ban. Oleh karena itu, *bladder* memiliki peran ganda, yaitu menjamin pembentukan dimensi akhir ban serta kestabilan ikatan antar lapisan ban, dan memfasilitasi perpindahan panas yang efisien selama *curing* (Mark *et al.*, 2005).

2. Permasalahan Umum pada *Bladder*

Umur pakai *bladder* umumnya ditentukan dalam jumlah siklus vulkanisasi (*curing cycle*) dan dapat bervariasi tergantung pada merek, spesifikasi bahan, serta faktor operasional di lapangan. Umumnya, *bladder* dirancang untuk bertahan sekitar 300 hingga 400 siklus vulkanisasi (*curing cycles*) pada kondisi ideal (Michelin, 2017). Namun, dalam praktik di industri, kerusakan dini sering terjadi seperti meletus, sobek, terlipat, *greentire* menempel pada *bladder*, dan *bladder* bocor, sehingga menurunkan kualitas hasil *curing* dan memicu cacat pada produk ban. Beberapa faktor utama penyebab kerusakan dini *bladder* meliputi:

- a. Kesalahan pemasangan, seperti pemasangan yang tidak simetris atau tidak sesuai prosedur standar, dapat menyebabkan bagian *bladder* terlipat sehingga rentan bocor saat mengembang.
- b. Pelumasan *release agent* yang tidak merata pada permukaan *bladder* dan bagian dalam ban dapat menyebabkan *bladder* mengalami gesekan berlebih atau lengket dengan permukaan ban, yang pada akhirnya mengganggu proses pengembangan.
- c. Tekanan atau suhu tidak stabil yang melebihi standar selama proses *curing* juga dapat menyebabkan *bladder* mengalami degradasi material secara cepat, seperti retak termal atau meletus (Erwin, 2020).
- d. Kontaminasi dari sisa material karet, oli, atau kotoran juga dapat mempercepat proses penuaan *bladder* dan mengurangi daya tahannya.

Kerusakan seperti terlipat, bocor, atau meletus tidak hanya menurunkan efisiensi produksi karena *downtime* (waktu henti) mesin, tetapi juga dapat menyebabkan cacat pada produk ban, seperti ketebalan tidak seragam, tapak tidak tercetak sempurna, hingga *bubble internal* (Widodo & Wibowo, 2016). Oleh karena itu, monitoring kondisi *bladder* secara berkala dan penerapan perawatan preventif sangat penting untuk menjaga kestabilan proses produksi dan kualitas ban akhir.

C. Jenis Perawatan (*Maintenance*)

Sistem perawatan atau pemeliharaan peralatan memegang peran penting dalam industri manufaktur untuk menjamin keberlangsungan proses produksi, menjaga performa mesin, dan mencegah kerugian akibat kerusakan mendadak.

Sistem ini dibagi menjadi beberapa jenis utama, di antaranya:

1. *Corrective Maintenance*

Corrective maintenance adalah jenis perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau kegagalan fungsi pada mesin atau peralatan. Perawatan ini bersifat reaktif, yaitu tindakan perbaikan hanya dilakukan ketika komponen atau sistem sudah tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Meskipun metode ini sederhana dalam penerapannya, *corrective maintenance* dapat menyebabkan *downtime* produksi yang signifikan, peningkatan biaya perbaikan, dan berpotensi mengganggu jadwal produksi (Mobley, 2002).

2. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance adalah jenis perawatan yang dilakukan secara terjadwal dan berkala, tanpa menunggu peralatan mengalami kerusakan. Tujuan utama dari *preventive maintenance* adalah mencegah kegagalan fungsi, memperpanjang umur pakai komponen, mengurangi waktu henti (*downtime*), serta meningkatkan efisiensi dan keselamatan kerja (Wireman, 2014). Kegiatan *preventive maintenance* dapat meliputi

inspeksi visual, pelumasan, penggantian komponen sebelum aus, serta pencatatan riwayat pemakaian peralatan.

Penerapan *preventive maintenance* pada *bladder* dalam proses vulkanisasi ban terutama untuk mencegah kerusakan dini pada *bladder* sangat diperlukan. *Bladder* bekerja dalam kondisi ekstrem, yaitu suhu tinggi, tekanan besar, serta siklus kerja berulang. Oleh karena itu, *bladder* sangat rentan mengalami keausan, kebocoran, atau kerusakan jika tidak dirawat dengan baik. Penerapan *preventive maintenance* menjadi strategi penting untuk mencegah terjadinya kerusakan dini *bladder* yang dapat mengganggu proses produksi dan menurunkan kualitas produk ban (Erwin, 2020).

Beberapa langkah *preventive maintenance* yang disarankan untuk *bladder* meliputi:

- a. Pemantauan kondisi *bladder* secara visual meliputi pengecekan kebocoran, lipatan, kerusakan fisik seperti sobekan atau keausan, yang dilakukan setiap beberapa siklus vulkanisasi,
- b. Pelumasan *bladder* secara merata dan sesuai SOP agar tidak terjadi gesekan berlebih,
- c. Pencatatan umur pemakaian *bladder*, termasuk jumlah siklus *curing* yang telah dilalui,
- d. Penggantian *bladder* secara terjadwal sebelum melebihi batas usia maksimal (misalnya 350 siklus),
- e. Pemeriksaan tekanan dan suhu dalam sistem *curing* untuk memastikan kondisi kerja tidak melebihi spesifikasi desain *bladder*.

Penerapan *preventive maintenance* yang konsisten memungkinkan perusahaan untuk menurunkan risiko downtime, menjaga kualitas vulkanisasi, serta meningkatkan efisiensi produksi secara keseluruhan (Widodo & Wibowo, 2016).

D. Metode Analisis Data

Umumnya terdapat beberapa metode analisis data yang biasa digunakan pada penelitian yaitu sebagai berikut:

1. *Define Measure Analyze Improve Control* (DMAIC), berfungsi sebagai kerangka kerja *Six Sigma* untuk perbaikan proses yang sistematis dan terukur. Tujuannya mengontrol dan meningkatkan kualitas proses, dengan kelebihan terstruktur dan lengkap dari indentifikasi hingga hasil. Kekurangannya tidak langsung fokus pada penyebab kecuali dikombinasikan dengan RCA/FMEA. Metode ini termasuk kedalam analisis faktor penyebab khususnya pada tahap *Analyze* menggunakan RCA atau FMEA di dalamnya (Nasution *et al.*, 2025).
2. *Statistical Process Control* (SPC)/ *Control Chart*, berfungsi memonitor proses produksi secara statistik dan mendeteksi ketidaksesuaian. Tujuannya mengetahui apakah proses berada dalam kendali atau tidak. Kelebihannya dapat mendeteksi lebih awal jika proses mulai keluar dari batas kendali terhadap variasi proses. Kekurangannya tidak menjelaskan penyebab variasi (hanya mendeteksi). Metode ini bukan analisis faktor penyebab secara langsung tetapi bisa digunakan sebagai indikasi awal perlunya analisis lebih lanjut (Nasution *et al.*, 2025).

3. *Root Cause Analysis* (RCA), merupakan metode sistematis berbasis reaktif, yang digunakan setelah masalah terjadi, untuk menelusuri dan mengidentifikasi akar penyebab utama dari suatu kerusakan, bukan hanya gejalanya (Nasution *et al.*, 2025). Pendekatan ini penting digunakan agar solusi yang diberikan lebih tepat sasaran dan mencegah berulangnya permasalahan yang sama. Kelebihannya fokus dan akurat dalam menemukan sumber utama masalah. Kekurangannya bersifat reaktif (dilakukan setelah masalah muncul). Metode ini termasuk metode utama dalam analisis faktor penyebab (Nasution *et al.*, 2025).
4. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), yaitu metode proaktif yang berfungsi untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam sistem atau proses sebelum masalah terjadi. FMEA mengevaluasi mode kegagalan (*failure mode*), dampaknya terhadap sistem (*effect*), dan membantu merancang tindakan pencegahan atau perbaikan yang sesuai. Tujuan mencegah masalah dengan mengenali risiko dan memprioritaskannya. Kelebihannya proaktif (sebelum masalah terjadi) membantu tim fokus pada risiko terbesar. Kekurangannya subjektif jika tidak didukung data akurat dan membutuhkan tim lintas fungsi. Metode ini termasuk analisis faktor penyebab dalam bentuk prediksi risiko (Integra, 2023).

Permasalahan teknis di industri manufaktur, khususnya yang berkaitan dengan kerusakan komponen seperti *bladder*, memerlukan pendekatan analisis yang tidak hanya mampu mengatasi masalah yang telah terjadi, tetapi juga dapat mencegah potensi kegagalan serupa di masa mendatang. Oleh karena itu, pemilihan metode

RCA dan FMEA secara bersamaan dipertimbangkan karena saling melengkapi: RCA fokus pada perbaikan masalah aktual, sedangkan FMEA memberikan panduan mitigasi risiko di masa depan. Kombinasi keduanya memungkinkan perusahaan tidak hanya menyelesaikan masalah kerusakan *bladder* yang telah terjadi, tetapi juga membangun sistem pengendalian mutu dan perawatan yang lebih efisien dan berkelanjutan (Kumar & Singh, 2020; Lee *et al.*, 2022).

E. Root Cause Analysis (RCA)

1. Pengertian dan tujuan

Root Cause Analysis (RCA) adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi penyebab mendasar (*root cause*) dari suatu masalah atau kejadian yang tidak diinginkan. Tujuan utama dari RCA bukan hanya menyelesaikan masalah secara sementara, melainkan mencegah kemunculan kembali masalah serupa dengan mengidentifikasi dan mengeliminasi akar penyebabnya. RCA bersifat retrospektif, yaitu dilakukan setelah terjadi kegagalan atau kerusakan (*Corrective Action* → penyebab), untuk mengetahui penyebab munculnya masalah serta bagaimana sistem memungkinkan terjadinya masalah tersebut (Okes, 2009).

2. Tools yang digunakan

Root Cause Analysis (RCA) adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi akar penyebab dari suatu permasalahan. Tujuan utama RCA adalah untuk menemukan penyebab dasar (*root cause*) yang jika diatasi dapat mencegah masalah serupa terjadi kembali di masa mendatang. Beberapa alat yang umum (*tools*) digunakan dalam RCA antara lain:

- a. *Fishbone* diagram atau *Ishikawa* diagram yaitu alat yang digunakan untuk mengklasifikasikan penyebab suatu masalah ke dalam beberapa kategori utama, seperti: *Man* (manusia), *Machine* (mesin), *Method* (metode), *Material* (bahan), *Measurement* (pengukuran), dan *Milieu* (lingkungan). Diagram ini membantu menganalisis penyebab dengan cara visual dan sistematis (Tague, 2005).
- b. Metode 5 *Whys* adalah teknik bertanya “mengapa” secara berulang (umumnya lima kali) hingga menemukan akar penyebab suatu masalah. Meski sederhana, teknik ini tetap relevan dan banyak digunakan di industri seperti *Lean*, *Six Sigma*, dan manufaktur modern. Tujuan dan manfaatnya yaitu (Okes, 2019):
 - Untuk menelusuri alur sebab–akibat: teknik ini berfokus menghindari asumsi dan mengeksplorasi secara sistematis hubungan sebab dan akibat hingga akar masalah.
 - Meningkatkan pemahaman masalah dengan pengulangan pertanyaan, tim terdorong untuk melihat lebih dalam dan memahami konteks proses secara menyeluruh

3. Penerapan dalam industri

Penerapan Root Cause Analysis (RCA) sangat penting dalam industri manufaktur untuk menganalisis berbagai bentuk kegagalan, termasuk kasus kerusakan dini *bladder* pada proses vulkanisasi ban. Penggunaan tools seperti Fishbone Diagram dan 5 Whys membantu

perusahaan mengidentifikasi penyebab utama kerusakan *bladder* serta menyusun langkah perbaikan yang berbasis data.

F. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

1. Pengertian dan Tujuan

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah suatu alat yang secara sistematis mengidentifikasi akibat atau konsekuensi dari kegagalan sistem atau proses serta mengurangi atau mengeliminasi peluang terjadinya kegagalan tersebut. FMEA digunakan untuk menganalisis potensi kegagalan (*Preventive*) atau pencegahan pada suatu proses, produk, atau peralatan, serta menilai dampaknya terhadap keandalan (probabilitas) dan kinerja sistem (Hermanto & Wiratmani, 2019). FMEA merupakan *living document* sehingga perlu dilakukan *review* dan di *update* secara teratur apabila ditemukan masalah baru yang mengakibatkan terjadinya kegagalan (Rafi, 2020). Tujuan dari FMEA adalah untuk mengurangi risiko dengan menganalisis akibat, penyebab, dan kemungkinan terjadinya kegagalan, serta memberikan solusi perbaikan. FMEA dibagi menjadi 2 jenis yaitu (Astuti, 2024):

- a. *Design FMEA*, alat yang digunakan untuk memastikan bahwa *potential failure modes*, sebab dan akibatnya telah diperhatikan terkait dengan karakteristik produk yang akan dibuat oleh *Design Engineer Team (Designer)* serta fokus pada desain produk (Sari, 2023).

- b. *Process FMEA*, alat yang digunakan untuk memastikan bahwa *potential failure modes*, sebab dan akibatnya telah diperhatikan sesuai dengan karakteristik prosesnya oleh *Process Engineer Team*, serta fokus pada proses manufaktur dan operasional (Wahyudi, 2020).

2. Langkah-langkah FMEA

Terdapat langkah dasar *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi fungsi pada proses produksi
- b. Mengidentifikasi *failure mode* pada setiap tahapan proses produksi
- c. Mengidentifikasi *potential failure effect* kegagalan produksi
- d. Mengidentifikasi *potential failure cause* dari masing-masing penyebab kegagalan produksi
- e. Mengidentifikasi mode-mode deteksi proses produksi
- f. Memberikan skor:
 - *Severity* (S), tingkat keparahan dampak kegagalan.
 - *Occurrence* (O), seberapa sering kegagalan terjadi.
 - *Detection* (D), seberapa besar kemungkinan kegagalan terdeteksi sebelum berdampak.
- g. Menghitung *Risk Priority Number* (RPN) = $S \times O \times D$.
- h. Menyusun perbaikan untuk *failure mode* dengan nilai RPN tertinggi.

FMEA digunakan untuk menganalisis *failure mode* (cara terjadinya kegagalan), dampaknya, penyebabnya, dan menentukan tindakan perbaikan

untuk mencegah terulangnya kegagalan tersebut. FMEA melibatkan tiga parameter utama S, O, dan D masing-masing diberi parameter skor dari 1 sampai 10. Nilai-nilai tersebut kemudian dikalikan untuk mendapatkan *Risk Priority Number* (RPN). Mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi diprioritaskan untuk perbaikan (Wahyudi, 2020).

3. Peran FMEA dalam proses pencegahan kerusakan mesin/komponen

- a. F (*Failure Mode* /Cara Kegagalan), adalah cara atau bentuk kegagalan yang mungkin terjadi pada suatu proses, komponen, atau produk. Contohnya *bladder* bocor, *bladder* terlipat saat pemasangan, atau *bladder* pecah saat proses *curing* adalah contoh *failure mode*. Bertujuan agar tim bisa mengenali berbagai skenario kegagalan potensial sebelum terjadi, untuk mengurangi risiko kerugian produksi atau kecelakaan kerja.
- b. M (*Mode Effect* /Dampak Kegagalan), adalah konsekuensi atau dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya kegagalan (*failure mode*) terhadap keseluruhan sistem atau proses. Penilaian terhadap tingkat keparahan (*severity*) dari suatu kegagalan diperlukan untuk menentukan prioritas penanganan yang tepat. Sebagai contoh, jika *bladder* mengalami kebocoran, distribusi panas menjadi tidak merata sehingga proses vulkanisasi tidak berjalan sempurna. Akibatnya, ban berisiko mengalami cacat dimensi maupun struktur.
- c. E (*Effect Cause* /Penyebab Kegagalan), adalah akar penyebab yang dapat memicu terjadinya kegagalan untuk mengetahui sumber masalah

agar langkah perbaikan bisa ditargetkan secara tepat. Bisa berasal dari kesalahan manusia, bahan, alat, atau metode kerja. Contohnya pelumasan *bladder* yang tidak merata, penggunaan *bladder* di luar batas siklus umur pakainya, dan kesalahan saat pemasangan *bladder*.

- d. A (*Action* /Tindakan Perbaikan atau Pencegahan), adalah langkah korektif atau preventif untuk mencegah dan mengurangi kemungkinan kegagalan kembali terjadi. Bertujuan agar solusi konkret dapat diterapkan dalam praktik kerja guna meningkatkan keandalan sistem dan meminimalkan *downtime*. Seperti menjadwalkan *preventive maintenance* secara berkala, melatih operator pemasangan *bladder*, memastikan pelumasan sesuai SOP, mengganti *Bladder* sebelum mencapai siklus maksimal.

Penelitian ini menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk menelusuri dan memprioritaskan penyebab kerusakan *bladder*, serta menyusun rekomendasi preventif sebelum kegagalan berdampak besar. Dokumen FMEA juga berfungsi sebagai *living document* yang diperbarui secara berkala saat data baru tersedia, sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan secara sistematis dan efisien. Selain itu, digunakan untuk mengidentifikasi jenis kerusakan *bladder* yang paling kritis serta memberikan rekomendasi perbaikan berdasarkan prioritas risiko. Nilai hasil perkalian dengan total RPN tertinggi menjadi prioritas perbaikan (Hermanto & Wiratmani, 2019).

BAB III

MATERI DAN METODE KARYA AKHIR

A. Metode Pengumpulan Data

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi pendekatan kualitatif dan kuantitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus. Metode deskriptif bertujuan untuk menggambarkan secara sistematis fakta-fakta atau fenomena yang terjadi di lapangan, tanpa memberikan perlakuan atau intervensi (pengubahan kondisi) tertentu terhadap variabel yang diteliti (Sugiyono, 2017).

Pendekatan kuantitatif deskriptif merupakan pendekatan yang berfokus pada pengumpulan dan pengolahan data numerik untuk menggambarkan kondisi objektif suatu fenomena. Data-data seperti jumlah siklus pemakaian *bladder*, frekuensi kerusakan *bladder*, serta skor *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* dalam FMEA akan dianalisis secara statistik deskriptif (Creswell, 2019).

Pendekatan kualitatif deskriptif merupakan pendekatan yang bertujuan memperoleh pemahaman mendalam terhadap fenomena yang diteliti melalui pengumpulan data non-numerik, seperti wawancara, observasi, dan pengamatan langsung terhadap aktivitas kerja operator. Informasi kualitatif ini digunakan untuk memperkaya pemahaman mengenai kebiasaan kerja, kendala teknis, serta pelaksanaan SOP yang dapat memengaruhi kerusakan *bladder* (Mendra *et al.*, 2025).

Pengumpulan data dilakukan secara primer dan sekunder, serta didukung dengan metode *Root Cause Analysis* (RCA) dengan *fishbone* (diagram tulang ikan) dan 5 *why* sebagai pendukung, serta *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Data juga diperoleh melalui observasi langsung dan pendekatan prosedural operasional di lapangan. Metode pengumpulan data meliputi:

1. Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer merupakan pengumpulan data yang diperoleh secara langsung oleh penulis kepada objek sesuai dengan pokok pembahasan di perusahaan. Data primer merupakan sumber data yang langsung memberikan data ke peneliti (Sugiyono, 2017). Proses pengumpulan data primer didapat berdasarkan data bulanan pergantian *bladder* di lapangan dengan melakukan pengamatan di lokasi penelitian dan data akumulasi bulanan. Diperoleh langsung dari sumber karyawan QC dan Produksi bagian Vulkanisir di lapangan yang relevan dengan pokok permasalahan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode RCA (*Root Cause Analysis*) dan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) untuk mengidentifikasi dan menganalisis penyebab kerusakan *bladder*, serta mencari solusi peningkatan efisiensi proses *curing*. Observasi dilakukan secara langsung di area *curing* PT XYZ untuk mendapatkan data siklus pemakaian *bladder* hingga rusak, serta mendokumentasikan *bladder* yang mengalami kerusakan. Observasi ini juga mencakup:

- 1) Dokumentasi visual *bladder* yang mengalami kerusakan.
- 2) Wawancara dan *survey* kuesoner dengan teknisi dan operator terkait frekuensi dan jenis kerusakan *bladder*.
- 3) Pemantauan proses penggantian *bladder* selama tiga bulan masa pengamatan.

2. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan sumber data penelitian yang diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui media perantara (diperoleh dan dicatat oleh pihak lain). Data sekunder diperoleh dari dokumen internal perusahaan dan sumber lain yang relevan. Data ini mencakup:

- a. Standar Operasional Prosedur (SOP) penggunaan *bladder*.
- b. Data historis performa *bladder*.
- c. Literatur teknis terkait *bladder* dan proses *curing* dapat dijadikan sebagai data sekunder dalam penelitian ini. Menurut (Sugiyono, 2017), data sekunder adalah data yang telah tersedia dan dikumpulkan oleh pihak lain yang dapat digunakan sebagai pendukung penelitian.

B. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan mengintegrasikan pendekatan RCA dan FMEA. Adapun langkah-langkah pengolahan data sebagai berikut:

1. *Root Cause Analysis* (RCA) digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama (akar masalah) dari kerusakan dini *bladder* dengan menerapkan teknik 5 *Why* dan diagram *Fishbone*.

2. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Digunakan untuk mengevaluasi risiko dari setiap mode kegagalan yang terjadi. Penilaian dilakukan berdasarkan tiga aspek yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Nilai RPN (*Risk Priority Number*) dihitung dengan rumus:

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Pengumpulan data FMEA dilakukan melalui kuesioner yang diisi oleh 15 responden, terdiri dari 6 karyawan QC vulkanisir, 4 operator mesin *shift* B, dan 6 operator mesin vulkanisir *shift* C. Skor pada masing-masing parameter diperoleh dengan menghitung rata-rata penilaian dari seluruh responden. Risiko yang memiliki nilai RPN tertinggi kemudian dipilih sebagai prioritas utama untuk dianalisis dan diberikan rekomendasi perbaikannya.

C. Waktu dan Penelitian Karya Akhir

1. Waktu Penelitian Karya Akhir

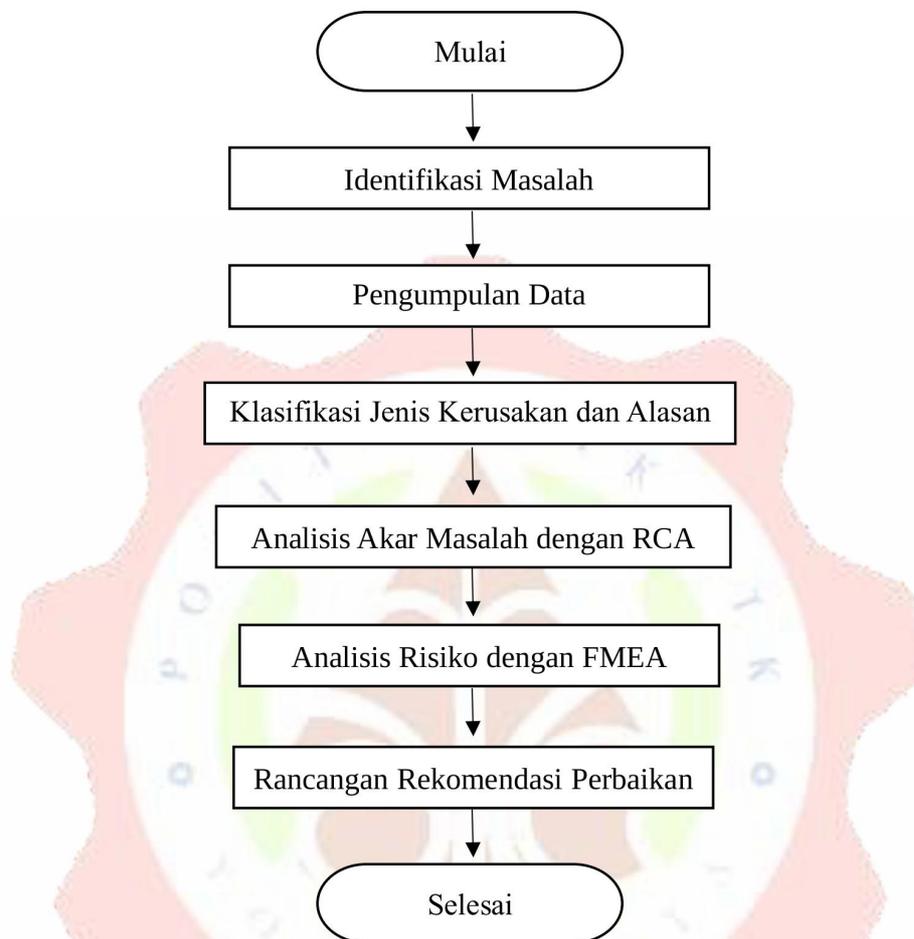
Penelitian ini dilaksanakan dari tanggal 01 Maret sampai 31 Mei 2025.

2. Tempat Penelitian Karya Akhir

Penelitian ini dilaksanakan di PT XYZ, khususnya pada area vulkanisir (*curing* proses) ban mobil radial.

D. Tahapan Proses

Alur penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan berikut (gambar 10):



Gambar 10. Tahapan Proses Penelitian

1. Identifikasi permasalahan, dengan mengamati kerusakan dini *bladder* yang sering terjadi pada proses vulkanisasi ban radial di PT XYZ, khususnya *bladder* yang rusak sebelum mencapai siklus ke-100.
2. Pengumpulan data primer dan sekunder, melalui observasi langsung di area vulkanisir, wawancara dengan operator dan QC, serta dokumentasi siklus penggunaan dan alasan pergantian *bladder*.

3. Klasifikasi jenis kerusakan dan alasan pergantian, *bladder* yang rusak dikategorikan berdasarkan jenis kerusakan (meletus, bocor, terlipat, adhesi, dan aus) dan diklasifikasikan menurut penyebabnya (penuaan, kesalahan manusia, adhesi).
4. Analisis akar masalah dengan RCA, menggunakan diagram *Fishbone* dan teknik *5 Why* untuk mengidentifikasi penyebab utama kerusakan *bladder* secara sistematis berdasarkan faktor *Man, Method, Machine, Material*, dan *Milieu*.
5. Analisis risiko dengan menyebarkan kuesioner FMEA kepada teknisi dan operator. Menentukan nilai *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, dan *Detection (D)* untuk setiap jenis kegagalan *Bladder*, lalu menghitung nilai *Risk Priority Number (RPN)*.
6. Penyusunan rekomendasi perbaikan, yaitu merumuskan tindakan preventif berdasarkan hasil analisis RCA dan FMEA, seperti pelatihan operator, penyesuaian SOP pelumasan dan pemasangan, serta penggunaan pelumas baru yang lebih tahan panas.

Melalui pendekatan ini, penyebab utama kerusakan dini *bladder* dapat diidentifikasi dan solusi preventif yang tepat dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi proses *curing* di PT XYZ.