

TUGAS AKHIR
IDENTIFIKASI CACAT DAN USULAN PERBAIKAN
PRODUKSI *STEEL CORD* MENGGUNAKAN FMEA DAN RCA
DI PT. Z



KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R I
BADAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA

2025

TUGAS AKHIR
IDENTIFIKASI CACAT DAN USULAN PERBAIKAN
PRODUKSI *STEEL CORD* MENGGUNAKAN FMEA DAN RCA
DI PT.Z



KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R I
BADAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA

2025

LEMBAR PENGESAHAN

IDENTIFIKASI CACAT DAN USULAN PERBAIKAN PRODUKSI *STEEL CORD* MENGGUNAKAN FMEA DAN RCA DI PT.Z

Disusun oleh :

DZURIA HUSNITA

NIM. 2203029

Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik

Pembimbing

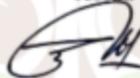


Andri Saputra, M.Eng.
NIP. 199301222020121002

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

Tanggal: 28 Juli 2025

TIM PENGUJI
Ketua



Sigit Susanto, S.T., M.T.
NIP. 197806042008031001
Anggota



Midarto Dwi Wibowo, S.T., M.T.
NIP. 198209222008031002



Andri Saputra, M.Eng.
NIP. 199301222020121002

Yogyakarta, 29 Juli 2025
Direktur Politeknik ATK Yogyakarta



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji syukur senantiasa Penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, karya Tugas Akhir ini Penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Penulis, Bapak Wakhid dan Ibu Afifah yang telah memberikan kasih sayang yang tiada duanya, semangat, dukungan dan kecukupan secara mental maupun finansial. Terima kasih atas segala pengorbanan dan doa yang dipanjatkan setiap saat, semoga selalu sehat dan bahagia.
2. Diri sendiri, Dzuria Husnita yang telah berusaha untuk mencapai di titik ini. Terima kasih atas perjuangan dan keberaniannya.
3. Adik tercinta, Iza terima kasih telah menjadi sumber tambahan kelucuan, penyemangat dan rasa rindu pulang.
4. Keluarga besar yang telah memberi dukungan dan semangat untuk membuktikan bahwa banyak jalan menuju kesuksesan.
5. Bapak Andri, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah sabar membimbing, memberikan masukan, dan memberikan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Mr. Qu Yun Zhong (曲云忠) dan Ms. Meng Rou, selaku pembimbing lapangan pertama saat prakerin hingga saat ini. Terima kasih atas ilmu dan pembelajaran yang telah diberikan serta kepekaan untuk belajar bahasa lebih mendalam lagi.
7. Bapak Donny Tyastono dan Bapak Bryan Christus Lee, selaku atasan Quality and Technology beserta jajaran pimpinan lainnya. Terima kasih telah memberikan arahan serta bantuan untuk terus berusaha melakukan yang terbaik saat magang.
8. Teman Penghuni KOS, Cinta yang telah membantu dalam segala hal, partner main, dan sebagainya, Restu, Novi, Shafa, ce Intan, dan yuk Selvi yang telah

- memberikan rasa keseruan selama tinggal di kosan. Terima kasih sudah menjadi teman Penulis, semoga sukses selalu.
9. Keluarga Kos Bu Murtini, terima kasih atas segala bantuan dan rasa kekeluargaan yang diberikan saat Penulis tinggal di kosan.
 10. Teman sejawat, Sabrina dan Nabilah yang membantu hal apapun dalam kurun waktu terakhir ini. Terima kasih dan semoga sukses selalu.
 11. Teman-teman magang, Alvitara, Luthfi, Abdul, Eza, Andrian, Dhafa, Andre, Yudha, Ifwa, Danu, Ikhsan, dan Imam. Terima kasih atas perjuangan dan kebersamaannya, semoga sukses selalu.
 12. Teman-teman satu angkatan 2022 TPKP, TPPK, dan TPK yang tidak bisa disebut satu-persatu. Terima kasih sudah pernah mengenal dan menjadi teman Penulis selama masa-masa kuliah, semoga sukses selalu
 13. Teman-teman proses teknologi, Mbak Dyah, mas Afif, Kiki, Taufik, mbak Badriah. QC, pak Heru, mas Hadi, Elly, mbak Uli, mbak Dian, mas Lutfi, Saron, Fadhli, mas Taufiq, mbak Eka. Operator mesin *calendering*, Mr. Fang Jinsheng, Mr. Li Yuanlei, mas Nurwakhid, mas Ilham, dll. Operator mesin *bead*, Mr. Hao Feifei, mas Sholikin, Faisal, mas Rizal, mas Nanang, dll. Operator mesin *cutting*, Ms. Ma Li, Ms. Sun, mas Arif, Budi, mas Yusuf, mas Edi, mas Lutfi, Dimas, Roby, mas Basari, Adit, Wahyu dan Agus. Operator mesin *belt 0°* Nungki dan Bahar. Terima kasih telah membagikan pengalaman dan kerjasamanya dalam membantu Penulis untuk melakukan observasi dan menyelesaikan Tugas Akhir.
 14. Teman-teman *officer* mbak Okta, mbak Ayu, mbak Anes, mbak Dila, dan mbak Ade. Terima kasih sudah membuat hari-hari Penulis menyenangkan dan selalu mengingatkan untuk menyelesaikan TA.
 15. Teman-teman MAKORA, terima kasih atas pengalamannya, semoga sukses.
 16. Playlist Mixing, avv, dan 456 di Spotify dan Youtube Music yang telah menemani Penulis dari pertengahan kuliah sampai menyelesaikan Tugas Akhir.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur Penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma III (D3) pada Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, Penulis menyadari bahwa keberhasilan yang dicapai tidak terlepas dari dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Sonny Taufan, SH., MH. selaku Direktur Politeknik ATK Yogyakarta;
2. Yuli Suwarno, ST., M.Sc. selaku Pembantu Direktur I Politeknik ATK Yogyakarta;
3. Dr. Wisnu Pambudi, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik;
4. Andri Saputra, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir;
5. Dosen, Asisten Dosen, dan Staf Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik (TPKP) di Politeknik ATK Yogyakarta;
6. Mr. Qu Yun Zhong selaku pembimbing lapangan magang di PT. Z;
7. Pimpinan dan Staf karyawan di PT. Z, khususnya Donny Tystono dan Bryan Christus Lee selaku atasan Departemen Quality and Technology.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh civitas akademika Politeknik ATK Yogyakarta, khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik.

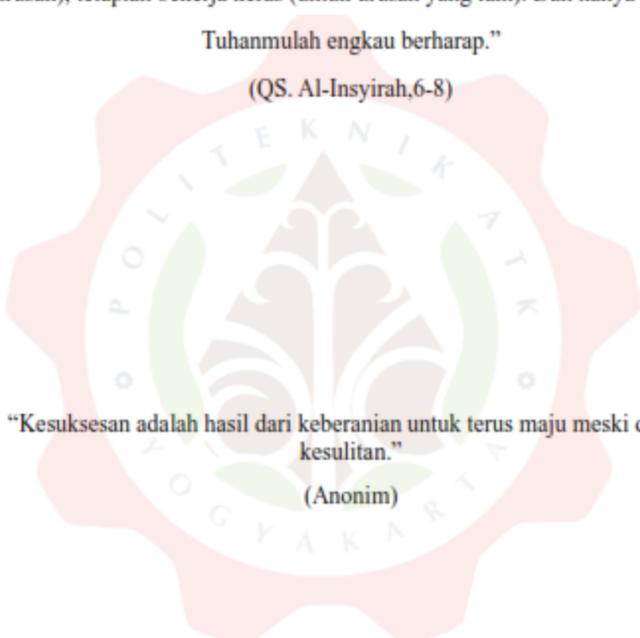
Yogyakarta, 16 Juli 2025

Dzuria Husnita

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

(QS. Al-Insyirah,6-8)



“Kesuksesan adalah hasil dari keberanian untuk terus maju meski dalam kesulitan.”

(Anonim)

“Hidup penuh cobaan, makanya harus dicobain”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
MOTTO	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
INTISARI.....	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Karya Akhir.....	5
D. Manfaat Karya Akhir.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Ban.....	7
B. <i>Steel cord</i>	15
C. Proses <i>Calendering</i>	17
D. Cacat Pada <i>Steel Cord</i>	20

E. Analisis Kuantifikasi Persentase Cacat	25
F. Analisis Faktor Penyebab Masalah.....	27
G. Kajian Tedahulu	28
BAB III METODOLOGI.....	33
A. Lokasi dan Waktu.....	33
B. Materi Tugas Akhir	33
C. Tahapan Proses.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
A. Identifikasi Jenis Cacat Dengan Resiko Tertinggi Pada Produk <i>Steel Cord Calendering</i>	41
B. Hasil Analisis Faktor Utama Yang Menyebabkan Terjadinya Cacat Dengan Resiko Tertinggi Pada Proses Pembuatan <i>Steel Cord</i>	43
C. Saran Perbaikan Mengatasi Cacat Dengan Resiko Tertinggi Pada Proses Produksi <i>Steel Cord</i>	48
D. Ringkasan Analisis Identifikasi Cacat, Faktor Penyebab, dan Saran Perbaikan	62
BAB V PENUTUP.....	64
A. Kesimpulan.....	64
B. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Penelitian Terdahulu Terkait Pelapisan <i>Steel Cord</i> dan Penerapan FMEA serta RCA	29
Tabel 2. 1 Kajian Penelitian Terdahulu Terkait Pelapisan <i>Steel Cord</i> dan Penerapan FMEA serta RCA	30
Tabel 3. 1 Panduan Pengisian Nilai Pada Kuesioner FMEA	37
Tabel 3. 2 Panduan Pengisian Nilai Pada Kuesioner RCA	39
Tabel 4. 1 Persentase Cacat <i>Steel Cord Calendering</i> di PT. Z	41
Tabel 4. 2 Hasil Pengumpulan Data FMEA	43
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan RPN	43
Tabel 4. 4 Hasil Pengumpulan Data RCA	44
Tabel 4. 5 Faktor Penyebab Utama Cacat Delaminasi Nilai $\geq 8,0$	45
Tabel 4. 6 Analisis 5 <i>Whys</i> Kategori Manusia	49
Tabel 4. 7 Analisis 5 <i>Whys</i> Kategori Mesin	51
Tabel 4. 8 Analisis 5 <i>Whys</i> Kategori Material	53
Tabel 4. 9 Analisis 5 <i>Whys</i> Kategori Metode	55
Tabel 4. 10 Analisis 5 <i>Whys</i> Kategori Lingkungan	57
Tabel 4. 11 Saran Perbaikan Berdasarkan 5 Kategori	59
Tabel 4. 12 (Lanjutan) Saran Perbaikan Berdasarkan 5 Kategori	60
Tabel 4. 13 Hasil Prioritas Saran Perbaikan	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbedaan konstruksi ban bias dan ban radial.....	8
Gambar 2. 2 Alur produksi ban.....	10
Gambar 2. 3 Struktur <i>steel cord calendaring</i>	15
Gambar 2. 4 Alur proses produksi <i>steel cord</i>	18
Gambar 2. 5 Cacat kawat menyilang atau kawat tipis (<i>thin cord</i>).....	21
Gambar 2. 6 Cacat <i>steel cord</i> terbuka (<i>exposed cord</i>)	22
Gambar 2. 7 Cacat delaminasi	23
Gambar 2. 8 Cacat kompon matang.....	24
Gambar 2. 9 Cacat potongan tepi <i>steel cord</i> buruk	24
Gambar 3. 1 Alur proses penyelesaian Tugas Akhir	35
Gambar 4. 1 <i>Fishbone diagram</i> cacat delaminasi.....	45
Gambar 4. 2 Alur proses analisis cacat resiko tertinggi dan penyusunan saran perbaikan.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Format kuesioner penilaian FMEA cacat <i>steel cord</i>	71
Lampiran 2 Format kuesioner penilaian RCA cacat delaminasi	73
Lampiran 3 Hasil pengamatan proses produksi <i>steel cord</i>	76
Lampiran 4 Hasil pengumpulan data FMEA	77
Lampiran 5 Hasil pengumpulan data RCA	79
Lampiran 6 Lembar bimbingan Tugas Akhir	81
Lampiran 7 Lembar penilaian PRAKERIN	82
Lampiran 8 Lembar harian PRAKERIN bulan November	83
Lampiran 9 Lembar harian PRAKERIN bulan Desember.....	85
Lampiran 10 Lembar harian PRAKERIN bulan Januari	87
Lampiran 11 Lembar harian PRAKERIN bulan Februari	90
Lampiran 12 Lembar harian PRAKERIN bulan Maret	92
Lampiran 13 Lembar harian PRAKERIN bulan April.....	94
Lampiran 14 Lembar harian PRAKERIN bulan Mei	96
Lampiran 15 Hasil diskusi 5 <i>Whys</i> dengan supervisor.....	122
Lampiran 16 Hasil diskusi prioritas usulan perbaikan.....	124

INTISARI

Proses *calendering* pada produksi *steel cord* memiliki peranan penting dalam menjamin daya rekat antara kompon karet dan kawat baja. Selama praktik di PT. Z, ditemukan delaminasi sebagai cacat dengan risiko tertinggi terhadap penurunan kualitas produk akhir. Percobaan ini bertujuan untuk menganalisis akar penyebab utama dari cacat delaminasi menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Root Cause Analysis* (RCA). Hasil analisis menunjukkan bahwa delaminasi memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 277,8. Melalui pendekatan RCA dan metode *5 Whys*, ditemukan bahwa kelalaian operator, kerusakan sensor mesin, serta kondisi material yang tidak optimal merupakan penyebab utamanya. Berdasarkan hasil tersebut, dirumuskan usulan perbaikan berupa pelatihan teknis kepada teknisi, perawatan mesin secara terjadwal, serta pengawasan lingkungan kerja secara berkala.

Kata kunci: delaminasi, FMEA, perbaikan, RCA, *steel cord*

ABSTRACT

The calendaring process in steel cord manufacturing is critical for achieving optimal adhesion between rubber compounds and steel wires. Observations conducted at PT. Z revealed that delamination is the most significant defect affecting the final product quality. This study aims to identify and analyze the root causes of delamination by applying Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Root Cause Analysis (RCA) methodologies. The FMEA results indicate that delamination holds the highest Risk Priority Number (RPN) of 277,8. Further investigation using the RCA and the 5 Whys technique identified key contributing factors, including operator error, sensor malfunction, and inconsistent material properties. Based on the analysis, several corrective actions are recommended, such as targeted technical training for operators, implementation of scheduled maintenance procedures, and continuous monitoring of production parameters to ensure process stability..

Keywords: *delamination, FMEA, Improvement, RCA, steel cord*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri otomotif mengalami pertumbuhan signifikan dalam beberapa tahun terakhir, termasuk industri ban sebagai bagian penting dari ekosistemnya (Noya *et al.*, 2023). Industri ban sebagai bagian dari industri hilir karet alam berkembang seiring kemajuan teknologi dan meningkatnya kebutuhan kendaraan. Sekitar 70–80% produksi karet alam dunia digunakan untuk ban, yang menunjukkan eratnya keterkaitan antara kedua sektor tersebut. Produksi kendaraan global pada tahun 2022 mencapai lebih dari 85 juta unit, disertai peningkatan permintaan ban berkualitas tinggi (OICA, 2023). Di Indonesia, industri ban tumbuh rata-rata 8% per tahun dan terus meningkat sejak 2020, sehingga pemerintah menargetkan produksi 2 juta kendaraan per tahun (Setiadi, 2025). Asosiasi Perusahaan Ban Indonesia (APBI) dan Dewan Karet Indonesia (Dekarindo) memproyeksikan bahwa pada tahun 2025, produksi ban sepeda akan meningkat sebesar 50,02% dan penjualannya sebesar 36,99%. Ban radial menguasai lebih dari 80% pasar ban premium global pada tahun 2024, didorong oleh tren radialisasi di kawasan Asia Pasifik yang menyumbang 51,7% pangsa pasar dan terus meningkat di Indonesia (FBI, 2025).

Ban radial merupakan jenis ban dengan konstruksi khusus, di mana serat-serat kerangka disusun dengan sudut tegak lurus 90° terhadap garis tengah ban, serta dilengkapi dengan sabuk penguat (*belt*) yang melingkar di bawah tapak (*tread*)

(Koraboyevna, 2025). Ban ini menggunakan *steel cord* sebagai material utama pada sabuk penguat untuk memberikan kekakuan dan stabilitas, berbeda dengan ban bias yang menggunakan susunan serat menyilang (Meng *et al.*, 2024). Ban radial menjadi pilihan dominan dalam industri otomotif modern karena memiliki umur pakai yang lebih panjang, hambatan gelinding (*rolling resistance*) yang lebih rendah, serta kenyamanan berkendara yang lebih baik. Stabilitas dan traksinya pun lebih tinggi dibandingkan ban bias, berkat desain dan konstruksi materialnya yang unggul. Selain itu, ban radial juga berkontribusi terhadap efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi gas buang (Ramasubraman dan Gunasekaran 2021). Proses pembuatan ban radial mencakup pencampuran bahan baku karet, pembentukan komponen, perakitan, vulkanisasi, hingga inspeksi akhir. Salah satu tahap penting adalah proses *calendering*, yaitu penggabungan lembaran karet dengan kawat baja untuk membentuk kerangka ban yang disebut *steel cord* (Saragih dan Riawati, 2018).

Steel cord adalah komponen utama dalam pembuatan ban radial yang berfungsi memperkuat struktur ban seperti kerangka (*carcass*), sabuk penguat, dan lapisan pelindung cincin kawat baja (*steel chafer*). *Steel cord* terbuat dari serat baja berkarbon tinggi yang dilapisi kuningan untuk meningkatkan adhesi (daya rekat) dengan karet. Proses pembuatan *steel cord* melibatkan tahap *calendering*, di mana karet ditekan dan dilapiskan secara merata pada untaian kawat baja menggunakan mesin *calender*. Proses pelapisan ini sangat penting untuk memastikan bahwa komponen karet menempel kuat pada kawat baja (*steel wire*), sehingga menghasilkan *steel cord* yang memiliki daya tahan tinggi dan mampu mendistribusikan beban

secara optimal saat ban digunakan. Menjaga kualitas proses *calendering* sangat penting dalam pembuatan *steel cord*, karena pelapisan karet yang tidak optimal dapat menyebabkan cacat dan menurunkan kualitas produk akhir (Muttaqin dan Elmiawan, 2021).

Berdasarkan pengamatan selama praktik kerja industri (prakerin) di PT. Z, ditemukan beberapa cacat pada lembaran *steel cord* selama proses produksi menggunakan mesin *calender*. Cacat tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor dalam proses *calendering*. Beberapa penelitian telah mengidentifikasi jenis cacat dan faktor penyebabnya pada proses *calendering steel cord*. Ketidakstabilan suhu dan tekanan pada mesin *calender* dapat menyebabkan ketebalan lapisan karet tidak merata (*uneven gauge*), yang selanjutnya mengurangi kekuatan adhesi antara karet dan *steel cord* (Shilavant *et al.*, 2023). Hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan produksi yang terlalu tinggi dapat memicu terbentuknya *void* atau rongga udara di antara lapisan karet dan kawat baja, sehingga berpotensi menyebabkan kegagalan struktural pada ban. Menekankan pentingnya viskositas dan sifat aliran (*flow behavior*) karet dalam proses *calendering*. Komposisi kompon yang tidak optimal dapat menghambat adhesi kompon ke dalam struktur *steel cord* dan menyebabkan kegagalan daya rekat (*adhesion failure*) (Ishikawa dan Hotaka, 2017). Namun hingga kini, penyebab cacat dalam proses produksi *steel cord* di PT. Z belum diketahui. Penyebab cacat tersebut dapat menyebabkan peningkatan limbah (*scrap*), menurunkan efisiensi proses, meningkatkan biaya produksi, serta menurunkan kualitas dan ketahanan produk akhir.

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, Penulis mengangkat permasalahan ini dalam Tugas Akhir dengan tema analisis kegagalan proses produksi *steel cord calendaring*. Percobaan ini menggunakan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *Root Cause Analysis (RCA)*. Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi dan memetakan potensi kegagalan secara sistematis berdasarkan tiga parameter utama, yaitu tingkat keparahan (*severity*), Persentase kemungkinan terjadi (*occurrence*), dan kemampuan dalam mendeteksi kegagalan (*detection*). Dengan pendekatan ini, prioritas perbaikan dapat ditetapkan secara lebih terukur dan objektif (Ridlo *et al.*, 2023). Sementara itu, RCA digunakan untuk menelusuri akar penyebab dari masing-masing kegagalan melalui pendekatan sebab-akibat yang terstruktur (Chusnah dan Cahyana, 2024). Meskipun analisis yang berkaitan dengan produksi *steel cord calendaring* telah dilakukan sebelumnya menggunakan sistem kontrol *conveyor feeding* (Muttaqin dan Elmiawan, 2021; Olvianda *et al.*, 2022), struktur permukaan (Jakovljević dan Petrović, 2009), dan kekuatan adhesi *steel cord* (Ishikawa dan Hotaka 2017). Namun, pendekatan analisis resiko menggunakan FMEA dan RCA masih belum diterapkan dalam produksi *steel cord* di PT. Z.

Meskipun metode FMEA dan RCA telah terbukti efektif di berbagai sektor industri dalam menurunkan jumlah cacat dan meningkatkan stabilitas proses seperti, industri plastik (Arifianto dan Briliana, 2021; Bimo *et al.*, 2022), sistem bahan bakar produk (Yaqin *et al.*, 2020), dan lain-lain. Namun penerapannya secara bersamaan dalam menganalisis kegagalan proses produksi *steel cord* masih jarang ditemukan dalam studi terdokumentasi. Oleh karena itu, Penulis menggunakan metode FMEA

dan RCA sebagai pendekatan sistematis dalam memberikan saran perbaikan pada proses produksi *steel cord calendaring*. Pendekatan ini tidak hanya membantu mengidentifikasi dan memprioritaskan penyebab kegagalan secara objektif, tetapi juga dapat menjadi dasar dalam membangun sistem pengendalian kualitas yang berkelanjutan dan adaptif terhadap risiko operasional di masa mendatang.

B. Rumusan Masalah

Pemecahan masalah Tugas Akhir ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Apa jenis cacat dengan resiko tertinggi pada produk *steel cord* selama proses *calendering* di PT. Z?
2. Apa saja faktor yang menjadi penyebab utama terjadinya cacat dengan resiko tertinggi pada proses pembuatan *steel cord*?
3. Apa saran perbaikan untuk mengatasi cacat dengan resiko tertinggi pada proses produksi *steel cord*?

C. Tujuan Karya Akhir

Pemecahan masalah dalam Tugas Akhir ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi jenis cacat yang memiliki resiko tertinggi pada produk *steel cord* selama proses *calendering* di PT. Z menggunakan metode FMEA.
2. Menganalisis faktor utama yang menyebabkan terjadinya cacat dengan resiko tertinggi pada proses pembuatan *steel cord* menggunakan metode RCA.
3. Memberikan saran perbaikan mengatasi cacat dengan resiko tertinggi pada proses produksi *steel cord* menggunakan metode 5 *Whys*.

D. Manfaat Karya Akhir

Pemecahan masalah dalam Tugas Akhir ini diharapkan memberikan

manfaat kepada beberapa pihak antara lain:

1. Bagi perusahaan, Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi masukan yang bermanfaat dalam mengatasi permasalahan produksi, khususnya dalam mengurangi cacat pada proses pembuatan *steel cord*. Selain itu, hasil analisis ini juga dapat digunakan sebagai acuan dalam menyusun rencana perbaikan proses yang lebih tepat sasaran dan membantu meningkatkan efisiensi kerja secara keseluruhan.
2. Bagi mahasiswa, melalui Tugas Akhir ini mahasiswa dapat belajar langsung bagaimana menerapkan metode FMEA dan RCA dalam menyelesaikan permasalahan nyata di dunia industri. Proses ini juga menjadi pengalaman berharga dalam mengasah kemampuan berpikir kritis, menganalisis penyebab masalah, serta merancang solusi perbaikan yang aplikatif.
3. Bagi Politeknik ATK Yogyakarta Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi yang memperkaya literatur akademik, khususnya dalam penerapan teknik pengendalian kualitas di industri manufaktur berbasis karet. Selain itu, dapat memperkuat sinergi antara institusi pendidikan dan kebutuhan industri dalam mencetak lulusan yang kompeten dan siap terjun ke dunia kerja.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Ban

Ban merupakan komponen komposit elastis berbentuk cincin berongga yang dipasang pada velg. Komponen ini berfungsi untuk menopang beban, meredam getaran jalan, serta menjaga traksi saat kendaraan bergerak, berakselerasi, atau mengerem (Sesa dan Buyung, 2020). Untuk menjalankan fungsi tersebut, ban disusun dari bahan seperti karet alami atau sintetis, serat tekstil (rayon dan poliester), serta kawat baja yang memberikan kekuatan mekanik (Olvianda *et al.*, 2022). Sebagai penghubung utama antara kendaraan dan permukaan jalan, ban melapisi velg dan mengurangi getaran akibat gesekan. Oleh karena itu, desain dan konstruksi ban harus mampu mendukung performa kendaraan secara optimal (Muttaqin dan Elmiawan, 2021).

Industri ban dikategorikan berdasarkan jenis kendaraan menjadi dua sektor utama, yaitu ban untuk mobil dan ban untuk sepeda motor. Ban mobil terdiri atas berbagai tipe yang dirancang sesuai karakteristik penggunaan, meliputi *passenger*, *all terrain (A/T)*, *mud terrain (M/T)*, *high terrain (H/T)*, *commercial*, truk dan bus, *competition*, dan industrial. Adapun ban motor memiliki tipe-tipe spesifik seperti *all terrain (A/T)*, *off-road*, *racing*, *sport*, *touring*, dan *urban*, yang disesuaikan dengan kondisi jalan dan kebutuhan performa (Rodgers dan Waddell, 2005). Terdapat dua tipe yang paling umum digunakan adalah ban bias dan ban radial, yang masing-masing memiliki struktur dan karakteristik performa yang berbeda. Ban radial mempunyai telapak ban yang lebih tipis dibanding ban bias namun daya

cengkering dengan permukaan jalan lebih bagus (Kristanto dan Abduh, 2017).

Perbedaan konstruksi ban bias dan ban radial seperti dalam Gambar 2.1.



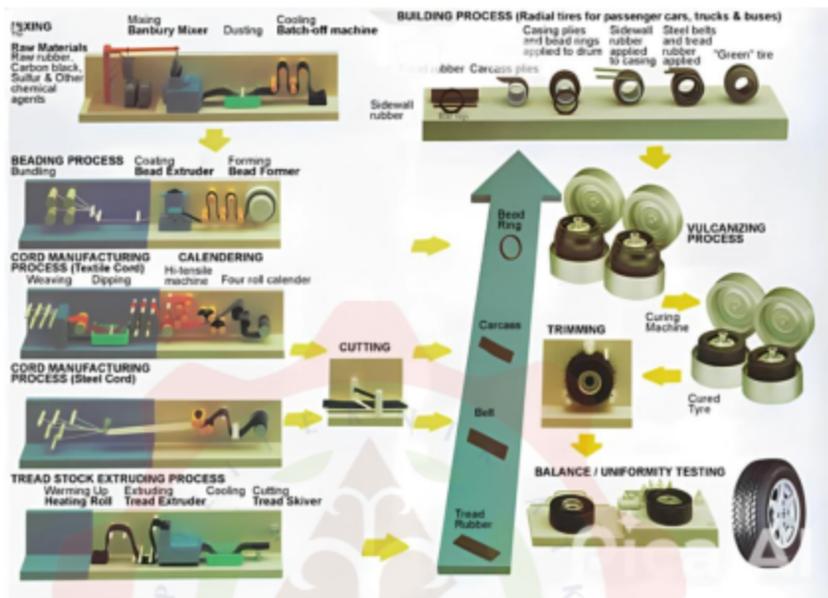
Gambar 2. 1 Perbedaan konstruksi ban bias dan ban radial (Aristyo, 2018)

Konstruksi ban bias terdiri atas beberapa lapisan serat tekstil, seperti nilon, yang disusun secara menyilang. Lapisan-lapisan ini membentuk satu kesatuan antara bagian tapak dan dinding samping (*sidewall*) ban. Ketika ban mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) lentur, pergerakan pada bagian dinding samping turut memengaruhi distribusi tekanan pada area tapak, sehingga menyebabkan perubahan luas bidang kontak antara tapak ban dan permukaan jalan. Selain itu, tumpukan antar lapisan menimbulkan gesekan internal yang menghasilkan panas berlebih (Rodgers dan Waddell, 2005). Ban bias memiliki keunggulan dalam menahan beban berat dan tahan terhadap kerusakan akibat benda tajam karena struktur anyaman silang yang merata dalam mendistribusikan beban (Fahmi, 2020). Namun, ban ini cenderung lebih berat, kurang efisien dalam mencengkering

permukaan jalan, dan memiliki usia pakai lebih pendek dibandingkan ban radial (Milano *et al.*, 2021).

Konstruksi ban radial menggunakan satu lapis kawat baja yang dipasang dari *bead ke bead* dengan sudut 90 derajat terhadap arah gerak ban. Pada struktur lapisan penguat ban radial, terdapat beberapa lapisan stabilisator seperti sabuk baja (*steel belts*) dan lapisan pelindung tambahan (*cap ply*) yang berfungsi memperkuat bentuk ban dan melindungi dari gaya putaran serta tekanan saat ban menyentuh jalan (Liu dan Gao, 2019). Desain ini memungkinkan tapak ban bekerja tanpa dipengaruhi deformasi dari dinding samping, sehingga luas permukaan ban yang menyentuh jalan tetap stabil (Marcin *et al.*, 2024). Struktur ini menghasilkan performa ban yang lebih stabil, dengan nilai hambatan gelinding yang rendah dan suhu operasional yang lebih terkendali. Selain itu, ban radial memiliki sejumlah keunggulan lain, antara lain umur pakai yang lebih panjang, efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi, daya cengkeram yang lebih optimal, karakteristik penggelindingan yang baik, serta kemudahan dalam proses reparasi apabila terjadi kebocoran (Li dan West, 2019). Perbedaan karakteristik antara ban bias dan ban radial tidak hanya terletak pada susunan lapisannya, tetapi juga memengaruhi pendekatan teknis dalam proses produksinya.

Proses manufaktur ban dilakukan secara terstruktur melalui sejumlah tahapan, dimulai dari penerimaan bahan baku hingga tahap akhir pengemasan produk. Setiap tahap memiliki fungsi krusial dalam memastikan mutu produk akhir tetap konsisten dan sesuai spesifikasi. Alur produksi ban secara umum seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Alur produksi ban (Zohari, 2019)

Tahapan proses manufaktur ban radial secara umum terdiri atas beberapa langkah utama yang saling terhubung. Penjabaran proses secara sistematis disajikan sebagai berikut:

1. Proses pencampuran bahan baku (*mixing*)

Proses diawali dengan pencampuran bahan-bahan utama seperti karet alam atau sintetis, dan berbagai zat aditif menggunakan mesin *banbury mixer* sehingga terbentuk kompon. Kompon ini kemudian didinginkan dan diberi pelapis anti-lengket melalui *batch-off machine*, untuk menjaga stabilitas kompon sebelum dilakukan proses lanjutan (Sisanth *et al.*, 2017).

2. Proses Pembentukan cincin kawat (*beading process*)

Pada proses ini, kawat baja terlebih dahulu dilapisi karet menggunakan mesin *bead extruder*, kemudian dibentuk menjadi cincin kawat baja melalui mesin *bead spinning*. Setelah terbentuk, cincin kawat baja dilaminasi secara spiral dengan lapisan pembungkus cincin kawat (*flipper*), lalu dikombinasikan dengan komponen pengisi seperti pengisi cincin kawat baja (*bead filler*) untuk membentuk struktur penguat pada bagian *velg* (Palit *et al.*, 2015).

3. Proses *calendering*

Proses *calendering* merupakan salah satu teknik pembentukan lembaran karet. Proses ini dilakukan dengan melewati kompon karet melalui serangkaian rol logam yang berputar (*calender roll*) dan menghasilkan lembaran karet dengan ketebalan, lebar, dan permukaan yang seragam, atau untuk melapisi material penguat seperti serat tekstil dan kawat baja *velg* (Kristanto dan Abduh, 2017). Dalam manufaktur ban, proses *calendering* dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan tujuan penggunaannya, yaitu:

a. *Calendering* Penipisan (*Sheeting Calendering*)

Proses ini menghasilkan lembaran karet dengan ketebalan tertentu. Kompon karet yang telah diplastisasi dilewatkan melalui beberapa rol logam untuk diratakan menjadi lembaran tipis. Produk dari proses ini umumnya digunakan untuk membentuk *inner liner*, yaitu lapisan kedap udara pada bagian dalam ban, serta *strip line*, yaitu lembaran karet tambahan yang berfungsi sebagai penguat atau penyeimbang dimensi dalam struktur ban (Xu *et al.*, 2024).

b. *Calendering* Pelapisan (*Coating Calendering*)

Jenis *calendering* ini bertujuan untuk melapisi bahan penguat seperti nilon dan kawat baja dengan lapisan kompon karet. Proses pelapisan ini menghasilkan struktur komposit yang menggabungkan kekuatan tarik dari material penguat dengan elastisitas dan daya rekat karet. Hasilnya digunakan dalam pembentukan lapisan kerangka dan sabuk penguat ban (Jakovljević dan Petrović, 2009).

4. Proses ekstrusi (*stock extruding*)

Proses ekstrusi merupakan proses dimana kompon dimasukkan ke dalam mesin ekstrusi dan ditekan melalui cetakan logam khusus (*dies*) untuk membentuk profil dengan dimensi tertentu. Sebelum proses ekstrusi berlangsung, kompon terlebih dahulu dipanaskan hingga mencapai viskositas optimal agar dapat mengalir dengan baik dan menghasilkan bentuk yang seragam serta presisi saat keluar dari cetakan. Terdapat dua metode pemasukan bahan dalam proses ekstrusi, yaitu *hot feeding* dan *cold feeding*. Metode *hot feeding* dilakukan dengan cara memanaskan kompon terlebih dahulu di luar ekstruder dengan mesin *openmill*. Sementara itu, pada metode *cold feeding*, kompon dimasukkan dalam kondisi dingin dan kemudian mengalami pemanasan secara bertahap di dalam ekstruder melalui kombinasi pemanas internal dan gesekan mekanis. Proses ekstrusi umumnya digunakan untuk membentuk komponen ban antara lain tapak ban, dinding samping ban, pengisi cincin kawat baja, dan baji bahu ban (*shoulder wedge*) (Laksanawati dan Yulianto, 2022).

5. Proses pemotongan komponen (*cutting*)

Proses pemotongan komponen (*cutting*) merupakan tahap lanjutan setelah *calendering* untuk memotong *nylon cord* dan *steel cord* menjadi bagian-bagian ban. Terdapat dua metode pemotongan yang digunakan, yaitu pemotongan lurus (*straight cutting*) dan pemotongan bersudut (*bias cutting*). Pemotongan lurus pada *nylon cord* pada digunakan untuk bagian pelindung cincin kawat baja (*bead chaffer*) dan pembungkus cincin kawat baja (*flipper*), dan pada *steel cord* digunakan untuk bagian kerangka ban radial. Sementara itu, pemotongan bersudut diterapkan untuk *nylon cord* dalam pembentukan kerangka (*carcass ply*) pada ban bias, dengan sudut sekitar 30–40°, dan untuk *steel cord* dalam pembentukan sabuk penguat dan lapisan pelindung cincin kawat baja pada ban radial, dengan sudut sekitar 15–55° (Liu dan Gao, 2018).

6. Proses perakitan ban (*building process*)

Proses perakitan ban (*building process*) merupakan tahap penyusunan komponen ban di atas building drum hingga membentuk ban mentah (*green tire*). Proses ini dimulai dengan pemasangan lapisan kerangka dan cincin kawat baja, dilanjutkan dengan pelipatan tepi kerangka untuk mengunci cincin kawat baja. Selanjutnya ditambahkan lapisan dinding samping, sabuk penguat baja, dan diakhiri dengan penempelan lapisan tapak (Tian *et al.*, 2011).

7. Proses vulkanisasi (*vulcanizing process*)

Proses vulkanisasi merupakan tahap akhir dalam manufaktur ban yang dilakukan untuk memberikan sifat fisik dan mekanik yang dibutuhkan. Ban mentah (*green tire*) dimasukkan ke dalam cetakan (*mold*) pada mesin curing, kemudian

dipanaskan dengan suhu tinggi dan diberi tekanan internal melalui *bladder*. Proses ini menyebabkan terjadinya reaksi kimia antara karet dan zat vulkanisasi (seperti sulfur), yang membentuk ikatan silang (*cross-linking*) pada struktur molekul karet. Hasilnya, karet menjadi lebih kuat, elastis, tahan aus, dan stabil terhadap deformasi. Selain itu, cetakan akan secara bersamaan membentuk pola tapak dan *marking* dinding samping ban secara permanen sesuai desain (Kannan *et al.*, 2020).

8. Proses pemangkasan (*trimming*)

Proses pemangkasan (*trimming*) merupakan tahap pasca-vulkanisasi yang bertujuan untuk menghilangkan sisa komponen berlebih, seperti sisa komponen lembaran tipis yang keluar di sela-sela sambungan cetakan (*flash*) atau tonjolan kecil pada tepi atau sudut ban (*burr*), yang muncul di sepanjang garis cetakan. Pemangkasan dilakukan menggunakan pisau putar atau alat pemotong presisi untuk memastikan bentuk akhir ban sesuai dimensi desain serta memenuhi standar estetika dan fungsional (Dahlan, 2019).

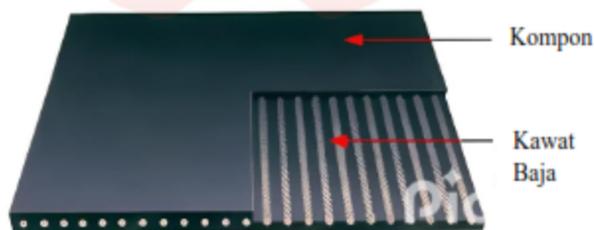
9. Pengujian keseimbangan dan keseragaman (*balance and uniformity testing*)

Pengujian keseimbangan dan keseragaman merupakan bagian dari kontrol mutu akhir untuk memastikan performa ban saat digunakan. Dalam pengujian ini, ban diputar menggunakan mesin uji khusus untuk mengevaluasi keseimbangan rotasi (*balance*), yang mengukur distribusi massa agar tidak terjadi getaran saat ban berputar, serta keseragaman (*uniformity*), yang mencakup variasi gaya radial, gaya lateral, dan penyimpangan akibat ketidakteraturan bentuk atau distribusi massa. Hasil pengujian digunakan untuk menyaring ban yang tidak memenuhi toleransi standar (Helexa *et al.*, 2024).

B. *Steel cord*

Steel cord komposit adalah material inovatif yang menggabungkan kawat baja dengan serat atau matriks lain seperti polimer, karbon, atau keramik untuk menciptakan struktur yang ringan, berkekuatan tinggi, serta memiliki ketahanan tinggi terhadap kondisi ekstrem. Material ini banyak digunakan di industri otomotif, *aerospace*, dan konstruksi. Material ini berbasis serat baja yang digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) dalam berbagai industri, terutama ban kendaraan, sabuk konveyor, dan struktur komposit. Material ini dikenal karena kekuatan tariknya yang tinggi, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap beban dinamis (Shilavant *et al.*, 2024).

Dalam industri ban, material *steel cord* digabungkan dengan material kompon menjadi *steel cord* komposit. *Steel cord* komposit merupakan hasil dari kemajuan teknologi material yang mampu menghasilkan solusi inovatif bagi berbagai industri, mulai dari kendaraan listrik berperforma tinggi hingga infrastruktur tahan guncangan. Struktur komponen *steel cord* seperti dalam Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Struktur *steel cord calendering* (Jakovljević dan Petrović, 2009)

Kawat baja memegang peran penting dalam struktur komposit ban sebagai elemen utama yang memberikan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap beban mekanis. Kawat baja ini umumnya berfungsi menopang beban dan menjaga kestabilan keseluruhan struktur ban (Jakovljević dan Petrović, 2009). Sebagai bahan penguat, kawat baja diproduksi dalam berbagai spesifikasi teknis sesuai kebutuhan aplikasi industri, dengan klasifikasi sebagai berikut (Widodo dan Iswanto, 2022):

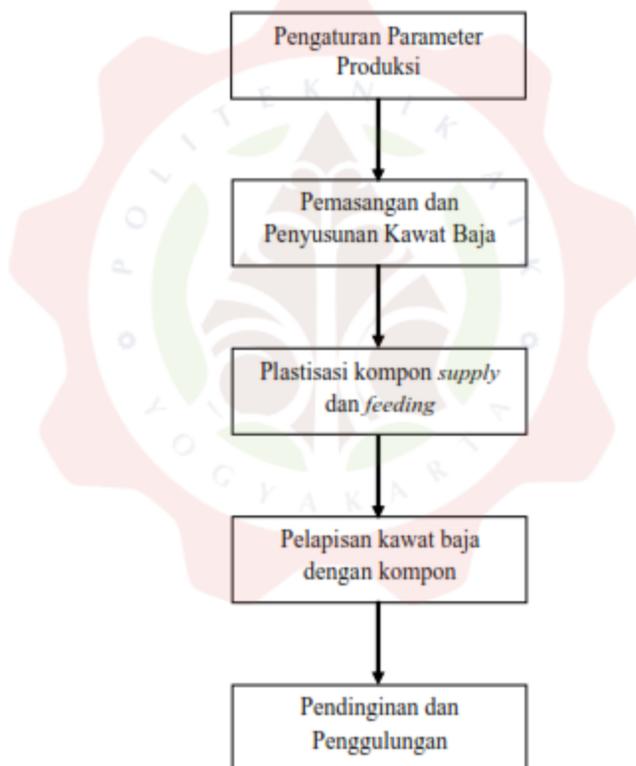
1. *Normal Tensile* (NT): kawat baja dengan kekuatan tarik standar, digunakan untuk aplikasi umum yang tidak memerlukan ketahanan tinggi.
2. *High Tensile* (HT): memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dibandingkan NT, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap beban besar.
3. *Super Tensile* (ST): memiliki kekuatan tarik sangat tinggi, digunakan pada produk yang menuntut performa mekanis tinggi seperti ban radial berkinerja tinggi.
4. *Ultra Tensile* (UT): merupakan kawat baja dengan kekuatan tarik tertinggi di antara seluruh kelas, biasa digunakan pada aplikasi ekstrem yang memerlukan daya tahan maksimum terhadap tegangan.
5. *High Elongation* (HE): dirancang memiliki kemampuan mulur (regangan) tinggi tanpa mudah patah, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kelenturan tinggi.
6. *High Impact* (HI): memiliki ketahanan tinggi terhadap beban kejut, sehingga sesuai untuk kondisi kerja dinamis dengan getaran tinggi, seperti pada industri kendaraan atau alat berat.

Steel cord ini digunakan sebagai bagian struktural dalam beberapa komponen ban, yaitu lapisan kerangka (*carcass*), lapisan sabuk penguat (*belt*), dan lapisan pelindung cincin kawat baja (*steel chafer*). Lapisan kerangka berfungsi sebagai struktur utama yang menahan beban, tekanan internal ban, sekaligus menjaga bentuk ban. Lapisan sabuk penguat memperkuat kerangka dan memberikan kestabilan serta ketahanan terhadap beban dinamis. Sementara itu, bagian lapisan pelindung cincin kawat baja berfungsi memperkuat sambungan antara ban dan *velg*, menahan tekanan samping akibat gesekan, dan melindungi cincin kawat baja dari keausan (Liu dan Gao, 2019).

C. Proses *Calendering*

Calendering adalah proses pengolahan material menggunakan rol bertekanan dengan panas yang dikontrol untuk membentuk lapisan yang memiliki ketebalan dan permukaan yang seragam. Tujuan proses ini adalah untuk menghasilkan permukaan material yang halus, rata, mengilap, atau memiliki lapisan serta tekstur tertentu sesuai spesifikasi (Oliveira *et al.*, 2022). Dalam proses produksi *steel cord*, proses *calendering* merupakan tahap krusial di mana kompon karet ditekan untuk melapisi kawat baja secara presisi menggunakan mesin *calender*. Kualitas hasil *calendering* sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter proses, antara lain stabilitas suhu dan tekanan pada rol, viskositas kompon karet, kecepatan produksi, serta ketepatan pengaturan tegangan kawat baja (Shilavant *et al.*, 2023). Kekuatan dan adhesi antara kawat baja dan kompon karet merupakan faktor penting dalam struktur ban, karena berperan langsung dalam menentukan stabilitas mekanis, keamanan, serta umur pakai produk. Adhesi yang baik memastikan perpindahan

beban yang efisien dari material karet ke kawat baja, mencegah pergeseran kawat, serta mengurangi risiko kegagalan struktural. Ikatan adhesif yang kuat antara kawat baja dan kompon karet berfungsi sebagai penghalang dari peresapan kelembapan dan zat korosif yang dapat menyebabkan korosi internal pada kawat baja dan mempercepat degradasi material (Ishikawa dan Hotaka, 2017). Alur proses produksi *steel cord* seperti dalam Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Alur proses produksi *steel cord*

Proses produksi *steel cord* menggunakan mesin *calender* melalui lima tahap utama sebagai berikut:

1. Proses pengaturan parameter produksi

Tahap awal dimulai dengan pengaturan spesifikasi teknis sesuai jenis produk yang akan diproduksi. Operator melakukan input parameter pada panel mesin, seperti kode produk, jenis kompon, target ketebalan lapisan karet. termasuk suhu proses, kecepatan proses, tekanan proses, jarak antar rol, dan pemasangan rol *bearing* sesuai nomer kode produk, Pengaturan ini memastikan bahwa seluruh proses berjalan sesuai standar teknis dan kualitas yang diharapkan (Choudhury, 2017).

2. Proses pemasangan dan penyusunan kawat baja

Proses pemasangan kawat baja (*steel wire*) pada ruang spindel. Kawat-kawat tersebut kemudian disusun pada papan braket dan ditarik untuk disusun secara sejajar dan teratur melalui sistem *roller bearing*. Ukuran *roller bearing* ditentukan sesuai dengan spesifikasi produk yang akan dibuat. Susunan ini harus presisi agar distribusi kawat saat pelapisan karet tetap konsisten dan tidak bergeser selama proses berjalan (Hentati *et al.*, 2016).

3. Proses plastisasi kompon *supply* dan *feeding*

Kompon karet yang akan digunakan untuk melapisi kawat baja diproses melalui ekstruder untuk memperkecil ukuran kompon, lalu diplastisasi dengan *openmill* sebagai pemanas untuk mencapai kondisi plastis. Proses ini bertujuan untuk menurunkan viskositas kompon sehingga mudah melekat dengan permukaan kawat saat proses pelapisan. Kompon yang telah plastis akan memiliki sifat aliran (*flowability*) yang cukup, sehingga kompon dapat menempel secara merata (Ishikawa dan Hotaka, 2017).

4. Proses pelapisan kawat baja dengan kompon karet

Pada tahap ini, kompon karet dimasukkan ke dalam dua celah rol, yaitu antara rol 1–2 dan rol 3–4, untuk membentuk dua lembaran kompon karet tipis. Sementara itu, kawat baja yang telah disusun secara sejajar diarahkan masuk ke dalam celah antara rol 2 dan 3, atau disebut juga *nip gap*, yaitu titik kontak antara dua rol yang berputar berlawanan arah. Pada titik ini, kedua lembaran kompon dari rol 1–2 dan rol 3–4 secara bersamaan ditekan kuat terhadap permukaan kawat baja, sehingga membungkus dan melapisinya secara merata. Proses ini dikenal dengan istilah *rubberizing*, yang sangat penting untuk memastikan daya rekat yang kuat antara kawat baja dan karet. Ketebalan lapisan karet dikontrol secara presisi melalui pengaturan tekanan dan jarak antar rol, untuk memastikan hasil akhir sesuai spesifikasi teknis yang dibutuhkan dalam struktur ban (Shilavant *et al.*, 2023).

5. Proses pendinginan dan penggulungan produk

Setelah dilapisi, produk yang masih panas akan melewati unit pendingin (*cooling unit*) untuk menurunkan suhu dan menstabilkan bentuk. Selanjutnya, produk *steel cord* berlapis karet tersebut digulung secara otomatis dalam bentuk roll untuk memudahkan penyimpanan dan proses selanjutnya. Tahap ini berperan sebagai pemeriksaan akhir terhadap aspek visual dan kesesuaian dimensi produk (Zhang, 2006).

D. Cacat Pada *Steel Cord*

Produk cacat adalah salah satu permasalahan kompleks yang dapat berdampak serius pada perusahaan. Produk cacat memiliki potensi untuk mengurangi kualitas produk akhir yang dihasilkan, dan ini dapat berakibat buruk

pada tujuan utama perusahaan, yaitu memperoleh laba maksimal (Pumomo dan Rambe, 2021). Dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaan, langkah awal yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi berbagai jenis cacat yang muncul selama proses produksi *steel cord*. Berikut beberapa jenis cacat yang ditemukan pada proses produksi *steel cord calendaring* (Olvianda *et al.*, 2022).

1. Cacat kawat menyilang atau kawat tipis (*thin cord*)

Cacat kawat menyilang atau kawat tipis (*thin cord*) merupakan kondisi di mana susunan kawat baja tidak sejajar secara konsisten, melintasi satu sama lain atau bergeser dari posisi ideal selama proses pelapisan. Cacat ini umumnya disebabkan oleh tegangan kawat yang tidak sesuai, gangguan pada sistem spindel, atau fluktuasi kecepatan penarikan kawat (*wire drawing speed*). Akibatnya, distribusi kawat dalam lembaran menjadi tidak merata, sehingga menghasilkan area dengan densitas kawat yang rendah. Hal ini menurunkan kekuatan tarik dan rentan terhadap deformasi maupun kegagalan struktural saat ban mengalami beban dinamis selama pemakaian (Nunes *et al.*, 2023). Cacat kawat tipis seperti dalam Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Cacat kawat menyilang atau kawat tipis (*thin cord*)

2. Cacat *steel cord* terbuka (*exposed cord*)

Cacat *steel cord* terbuka (*exposed cord*) merupakan kondisi di mana kawat baja tidak tertutup secara sempurna oleh lapisan kompon karet selama proses *calendering*. Cacat ini umumnya disebabkan oleh *nip gap* yang terlalu sempit, ketebalan kompon yang tidak sesuai spesifikasi, atau distribusi kompon yang tidak merata pada *roller* penipisan. Kondisi ini menyebabkan sebagian kawat terekspos, sehingga rentan mengalami korosi akibat kontak langsung dengan udara atau kelembapan. Selain itu, kondisi ini juga mengganggu stabilitas adhesi antara kawat dan karet, yang dapat mempercepat kerusakan struktur komposit dan menurunkan kualitas produk (Olvianda *et al.*, 2022). Produk dengan cacat *steel cord* terbuka seperti dalam Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Cacat *steel cord* terbuka (*exposed cord*)

3. Cacat delaminasi

Delaminasi merupakan cacat adhesi yang terjadi akibat gagalnya pembentukan ikatan antara kompon karet dan permukaan kawat baja pada tahap pelapisan. Cacat ini umumnya disebabkan oleh permukaan kawat yang terkontaminasi seperti oli, debu, atau oksidasi tembaga, suhu proses yang tidak optimal serta tekanan *nip gap* pada rol *calender* yang tidak sesuai untuk

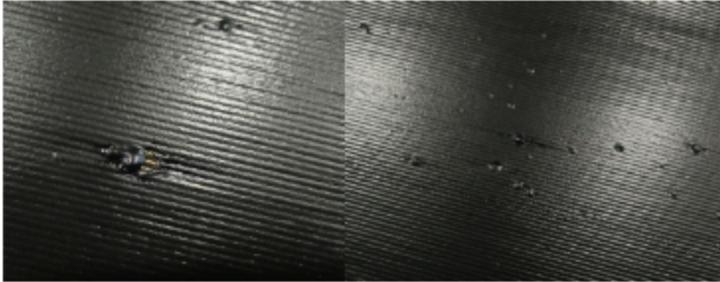
memastikan kompon merekat secara merata. Kegagalan adhesi pada karet dan kawat ini menghasilkan rongga mikro yang sulit dideteksi secara visual. Rongga tersebut dapat menjadi titik awal terjadinya kerusakan saat material menerima tegangan tarik, tekanan, atau beban berulang selama proses manufaktur lanjutan maupun saat digunakan. Delaminasi pada tahap ini dapat menurunkan daya rekat antarmaterial dan melemahkan struktur komposit secara keseluruhan (Ismail dan Harun, 2017). Produk dengan cacat delaminasi seperti dalam Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Cacat delaminasi

4. Cacat kontaminasi gumpalan kompon matang (*scorch*)

Gumpalan kompon *scorch* merupakan bagian kompon karet yang mengalami pematangan dini sebelum proses vulkanisasi berlangsung. Kondisi ini umumnya disebabkan oleh proses pencampuran yang berlangsung terlalu lama atau pada suhu dan kecepatan yang melebihi batas optimal atau penyimpanan kompon pada suhu yang terlalu tinggi. Gumpalan tersebut tidak dapat menyatu secara homogen dalam lembaran karet, sehingga membentuk titik-titik keras yang mengurangi fleksibilitas material dan berpotensi menjadi titik awal terjadinya retakan pada struktur ban (Challis *et al.*, 2021). Produk dengan cacat kompon matang seperti Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Cacat kompon matang

5. Cacat potongan tepi *steel cord* buruk

Cacat potongan tepi *steel cord* buruk merupakan cacat yang terjadi akibat ketidak presisian proses pemotongan sisa kompon yang tidak melapisi *steel cord*, sehingga bagian tepi mengalami ketidakteraturan seperti sobekan, serat terurai, atau kawat baja yang terlihat. Hal ini umumnya disebabkan oleh benang pemotong yang putus atau kesalahan dalam pengaturan posisi potong. Bagian tepi yang tidak rapi akan menyulitkan proses pemotongan dan penyambungan *steel cord*, dan dapat menyebabkan kerusakan fisik pada produk akhir (Baruth *et al.*, 2024). Produk dengan cacat potongan tepi *steel cord* buruk seperti Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Cacat potongan tepi *steel cord* buruk

E. Analisis Kuantifikasi Persentase Cacat

Analisis kuantifikasi persentase cacat adalah proses pengukuran dan evaluasi terhadap jumlah dan jenis cacat yang terjadi dalam proses produksi dalam periode tertentu. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi seberapa sering suatu jenis cacat muncul, sehingga dapat dijadikan landasan dalam pengambilan keputusan terkait peningkatan kualitas dan optimalisasi efisiensi produksi. Tujuan dari semua metode analisis kuantifikasi persentase cacat adalah untuk menciptakan budaya perbaikan berkelanjutan (Arifin dan Agustin, 2023).

Berbagai metode analisis dapat digunakan untuk mengukur persentase cacat, antara lain Analisis Pareto, histogram dan *benchmarking*, *Statistical Process Control (SPC)*, *Root Cause Analysis (RCA)*, *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*. Metode-metode ini dirancang untuk mengkuantifikasi persentase cacat serta memberikan wawasan yang mendukung perbaikan berkelanjutan. Analisis Pareto memfokuskan perhatian pada jenis cacat yang paling dominan, sehingga alokasi sumber daya dapat dilakukan secara lebih efisien terhadap masalah yang memiliki dampak terbesar. Histogram dan *benchmarking* juga bermanfaat untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja mutu, serta memungkinkan perusahaan melakukan perbandingan dengan standar industri dan pesaing (Rizkyllah *et al.*, 2025). SPC menggunakan grafik kontrol sebagai alat pemantauan proses secara real-time, sehingga variasi yang tidak diinginkan dapat dideteksi lebih awal. RCA membantu tim dalam mengidentifikasi akar penyebab cacat secara mendalam, yang kemudian digunakan untuk merumuskan solusi yang lebih tepat sasaran. Sementara itu, metode FMEA memberikan pendekatan sistematis dalam

mengevaluasi risiko dan mengidentifikasi penyebab cacat, sehingga tindakan pencegahan dapat diterapkan secara tepat (Chusnah dan Cahyana, 2024). Secara keseluruhan, semua metode ini bertujuan menciptakan upaya perbaikan berkelanjutan sehingga tidak hanya mengidentifikasi dan memperbaiki cacat, tetapi juga mencegah terjadinya cacat.

Keunggulan utama FMEA terletak pada kemampuannya mengidentifikasi potensi kegagalan secara sistematis dan proaktif (sebelum masalah terjadi). Dengan demikian, dalam mengambil keputusan dapat menetapkan prioritas pemeliharaan dan perbaikan sebelum terjadi cacat melalui penerapan langkah-langkah pencegahan yang tepat. Metode ini turut membantu menyusun data risiko secara terstruktur dan mendukung kolaborasi tim lintas disiplin dalam proses evaluasi risiko (Yaqin *et al.*, 2020).

Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi serta menghitung tingkat risiko dari setiap potensi tingkat keparahan (*S*, *severity*), persentase kemungkinan terjadi (*O*, *occurrence*), dan kemampuan dalam mendeteksi kegagalan (*D*, *detection*). Nilai *Risk Priority Number* (*RPN*) dihitung dengan mengalikan nilai *S*, *O*, dan *D*. *RPN* digunakan untuk memprioritaskan potensi kegagalan dalam proses dengan tujuan mengurutkan tingkat risiko secara relatif. Nilai *RPN* tertinggi diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1 (Mu'adzah & Firmansyah, 2020).

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

Selain dapat digunakan untuk mengevaluasi dan menguji komponen sistem guna mengurangi risiko maupun dampak kegagalan, metode ini mendukung penilaian kinerja sistem serta dapat digunakan untuk mengidentifikasi risiko sistem,

kecelakaan sistem, kegagalan produksi komponen, dan gangguan pada rantai pasok (Sukwadi *et al.*, 2017). FMEA membantu menetapkan prioritas tindakan perbaikan berdasarkan tingkat risiko tertinggi, mendukung upaya perbaikan berkelanjutan, dan mempercepat proses pengambilan keputusan. Dokumentasi hasil FMEA dapat digunakan sebagai acuan evaluasi dan pengembangan proses, sehingga risiko kerusakan dapat diminimalkan secara efektif (Hanan dan Suseno, 2025).

F. Analisis Faktor Penyebab Masalah

Analisis faktor penyebab masalah merupakan pendekatan sistematis yang digunakan bertujuan untuk mengidentifikasi akar permasalahan secara menyeluruh, guna memastikan solusi yang diterapkan mengacu pada sumber utama kesalahan, bukan sekadar mengatasi gejala yang tampak (Lestari *et al.*, 2024). RCA adalah salah satu metode yang umum diterapkan dalam analisis penyebab masalah, karena mampu mengidentifikasi berbagai kemungkinan akar kegagalan melalui pemetaan hubungan sebab-akibat secara sistematis dan terstruktur. RCA memiliki langkah-langkah analisis yang terstruktur, sehingga efektif dalam mendeteksi titik awal terjadinya kegagalan sistem atau peralatan, serta membantu merancang solusi yang mencegah masalah serupa terjadi (Budianto dan Suryadi, 2025). Penerapan RCA dalam industri manufaktur juga mendukung peningkatan keandalan sistem, efisiensi produksi, serta perlindungan terhadap keselamatan kerja dan lingkungan (Lestari *et al.*, 2024).

Fishbone diagram atau diagram tulang ikan merupakan salah satu alat bantu yang sering digunakan dalam penerapan RCA. Alat ini berfungsi untuk mengidentifikasi serta mengelompokkan berbagai faktor penyebab masalah secara

menyeluruh dan terstruktur, sehingga memudahkan analisis terhadap akar permasalahan (Hanan dan Suseno, 2025). Dalam struktur diagram ini, masalah utama ditempatkan pada bagian kepala ikan, sementara tulang-tulang yang menjulur ke samping merepresentasikan kategori penyebab utama yang dikenal sebagai 5 kategori, yaitu tenaga kerja (*man*), mesin atau peralatan (*machine*), bahan baku (*material*), metode kerja (*method*), dan lingkungan kerja (*environment*). *Fishbone diagram* umumnya digunakan bersama dengan teknik brainstorming, seperti metode 5 *Whys*. Metode ini merupakan pendekatan analitis yang bertujuan menelusuri akar penyebab permasalahan melalui pengajuan pertanyaan “mengapa” secara berurutan. Setiap jawaban dari pertanyaan sebelumnya menjadi dasar bagi pertanyaan selanjutnya, sehingga terbentuk rantai logis hubungan sebab-akibat yang mengarah pada penyebab utama masalah (Widodo *et al.*, 2024).

Keunggulan dari metode 5 *Whys* yaitu dapat diterapkan tanpa alat statistik atau perangkat khusus, cukup melalui diskusi langsung dengan tim terkait di lapangan. Metode ini membantu fokus tidak hanya pada gejala, tetapi juga pada akar penyebab, sehingga menghasilkan solusi yang lebih tepat dan berkelanjutan. Dalam penerapannya, metode ini sangat efektif jika digabungkan dengan *fishbone diagram*, karena mampu memberikan pemahaman yang komprehensif terhadap penyebab permasalahan serta menjadi landasan yang kuat dalam merumuskan saran perbaikan yang tepat (Baida dan Herwanto, 2025).

G. Kajian Tedahulu

Beberapa kajian terdahulu yang relevan dengan Tugas Akhir ini disajikan pada Tabel 2.1. Kajian-kajian tersebut memberikan gambaran mengenai penelitian

terkait proses pelapisan *steel cord* serta penerapan metode FMEA dan RCA dalam analisis kualitas dan perbaikan proses produksi, yang menjadi dasar perbandingan kebaruan dengan Tugas Akhir ini.

Tabel 2. 1 Kajian Penelitian Terdahulu Terkait Pelapisan *Steel Cord* dan Penerapan FMEA serta RCA

No	Peneliti & Tahun	Fokus Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Utama	Perbandingan Kebaruan (Gap)
1	Angga Olvianda, Muhamad Sodik Muttaqin, Surya Wirawan (2022)	Sinkronisasi kecepatan <i>conveyor</i> & <i>calender</i> pada pelapisan kawat baja (<i>steel cord</i>)	Desain sistem kontrol berbasis PLC & HMI	Berhasil mensinkronkan kecepatan <i>conveyor</i> dengan <i>calender</i> sehingga mengurangi cacat <i>exposed cord</i> dan ketebalan berlebih, serta menyesuaikan lebar <i>feedstrip</i> otomatis.	Memberikan rujukan proses pelapisan <i>steel cord</i> . Dalam Tugas Akhir ini tidak merancang kontrol, tetapi menggunakan analisis risiko (FMEA & RCA) untuk menemukan akar penyebab cacat dengan risiko tertinggi
2	Etik Puspitasari, Vinan Viyus, Nurchajat, Talifatim Machfuroh (2024)	Penerapan RCA & FMEA pada perawatan mesin <i>injection moulding</i>	RCA & FMEA untuk penilaian prioritas perbaikan	Ditemukan 4 komponen kritis penyebab keausan; tindakan <i>preventive maintenance</i> terbukti menurunkan <i>downtime</i> mesin.	Membuktikan RCA & FMEA efektif dalam mengurangi gangguan produksi dengan fokus perawatan mesin, bukan kualitas produk seperti pada Tugas Akhir ini

Tabel 2. 2 Kajian Penelitian Terdahulu Terkait Pelapisan *Steel Cord* dan Penerapan FMEA serta RCA

No	Peneliti & Tahun	Fokus Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Utama	Perbandingan Kebaruan (Gap)
3	Arnanda Ahmad Ar Ridlo, Efta Dhartikasari, Yanuar Pandu Negoro (2023)	Kualitas kawat baja <i>single wire</i>	FMEA untuk identifikasi mode kegagalan & perhitungan RPN	Tiga cacat utama dengan RPN tinggi (kawat bergelombang, diameter <i>over</i> , kawat gores). Usulan perbaikan berbasis prioritas RPN.	Menunjukkan FMEA efektif identifikasi cacat, sedangkan pada Tugas Akhir ini menambahkan RCA (5 <i>Whys</i>) menghasilkan usulan perbaikan lebih komprehensif (operator, mesin, material, lingkungan).

Berdasarkan kajian terdahulu, penelitian Olvianda *et al.* (2022) menunjukkan pengendalian proses pelapisan kawat baja (*steel cord*) melalui sinkronisasi kecepatan *conveyor* dan *calender* berbasis PLC dan HMI sebagai solusi untuk mengatasi masalah ketidaksinkronan kecepatan antara *conveyor* dan *calender* yang menyebabkan cacat seperti *supply compound* kurang mengakibatkan *exposed cord* atau kompon berlebih menyebabkan ketebalan yang tidak konsisten dan hasil produk yang tidak sesuai dengan standar, serta ketidaksesuaian lebar *feed strip* dengan standar yang diinginkan. Penelitian tersebut membahas aspek teknis kontrol, tetapi tidak mengevaluasi akar penyebab cacat secara sistematis.

Sementara itu, dan membuktikan bahwa metode FMEA dan RCA efektif dalam menganalisis penyebab masalah di sektor manufaktur. Penelitian Puspitasari *et al.* (2024) pada perawatan mesin *injection moulding* untuk menentukan prioritas

perbaikan preventif. Perusahaan berhasil mengidentifikasi komponen mesin injection moulding yang memiliki tingkat risiko kegagalan tertinggi dengan menggunakan RCA dan FMEA. Berdasarkan perhitungan RPN, komponen seperti *pin & bushing*, *permukaan platen*, *pitch tie bar & gear*, dan *adjustable nut* ditetapkan sebagai prioritas utama perbaikan. Dengan identifikasi ini, perusahaan dapat mengambil langkah preventif dan perawatan terencana untuk menekan potensi kerusakan dan downtime pada proses produksi. Dan pada penelitian Ridlo *et al.* (2023) digunakan untuk mengidentifikasi cacat utama pada kawat baja single wire. Dengan melakukan analisis ini, perusahaan dapat mengetahui mode kegagalan yang paling kritis, penyebab utama kerusakan, dan dampaknya terhadap kualitas produk dengan hasil perusahaan berhasil mengidentifikasi mode kegagalan yang paling berpengaruh dan berisiko tinggi dalam proses produksi kawat baja *single wire*. Dengan adanya penilaian RPN yang tinggi pada cacat seperti kawat bergelombang, diameter yang berlebih, dan kawat tergores, PT XYZ dapat mengambil tindakan prioritas untuk melakukan perbaikan pada proses terkait. Namun, keduanya tidak menyoroti proses pelapisan *steel cord*, serta tidak menggabungkan FMEA dan RCA secara terpadu.

Tugas Akhir ini melengkapi celah penelitian tersebut dengan menerapkan kombinasi FMEA dan RCA, termasuk analisis 5 *Whys*, untuk menganalisis cacat pada proses produksi *steel cord calendaring* di PT. Z. Melalui pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi cacat dengan risiko tertinggi, tetapi juga menguraikan akar penyebabnya secara sistematis dan menyusun usulan perbaikan yang mencakup aspek operator, perawatan mesin, parameter proses, serta

lingkungan kerja. Pendekatan tersebut memberikan kontribusi kebaruan sebagai acuan penerapan metode analisis risiko terpadu untuk peningkatan kualitas produksi *steel cord*. Maka, Penulis memperkirakan bahwa identifikasi cacat dan saran perbaikan pada produk *steel cord* bisa diselesaikan menggunakan metode FMEA dan RCA.



BAB III

METODOLOGI

Tugas Akhir ini merupakan identifikasi tentang akar permasalahan cacat dengan kuantifikasi resiko tertinggi di perusahaan PT. Z dengan rencana saran perbaikan menggunakan metode *5 Whys*.

A. Lokasi dan Waktu

Pengumpulan data dan penyusunan Tugas Akhir dilakukan di PT. Z, Perusahaan pembuatan ban radial yang berlokasi di Jalan Paraenom No. 17, Kawasan Industri Kendal, Desa Wonorejo, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal (51372), Provinsi Jawa Tengah, pada tanggal 11 November 2024 hingga 6 Mei 2025.

B. Materi Tugas Akhir

Materi dalam tugas akhir ini berkaitan dengan kegagalan proses produksi lembaran *steel cord* yang terjadi di mesin *calendering* meliputi bahan baku, bagian-bagian mesin, *setting* parameter proses (suhu, kecepatan, ketebalan, dan tekanan), jenis cacat yang dihasilkan, dan faktor penyebab terjadinya cacat. Saran perbaikan dilakukan berdasarkan cacat yang paling sering ditemui dari hasil *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) sehingga diharapkan dapat berpotensi untuk menurunkan cacat yang terjadi.

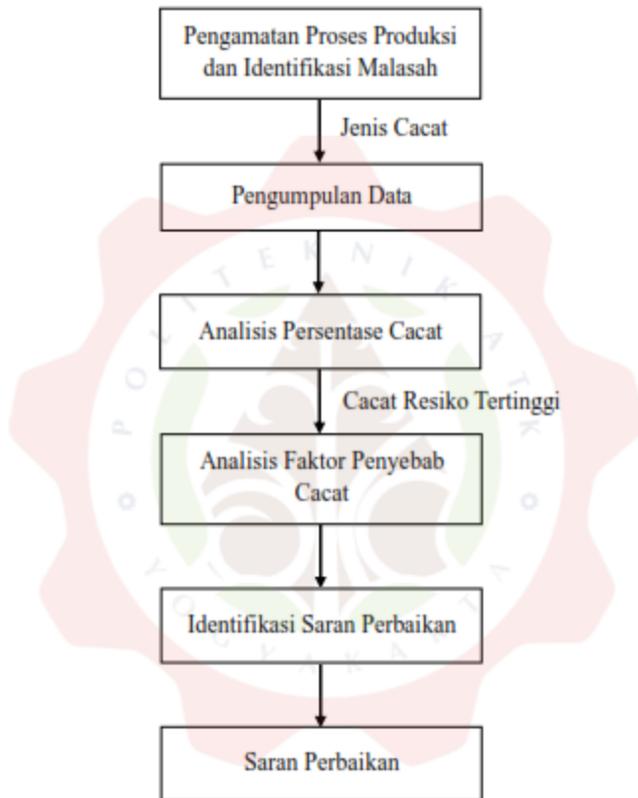
Dalam pelaksanaan kegiatan pengumpulan data dan analisis, digunakan beberapa alat dan bahan sebagai berikut:

1. Lembar Observasi Produksi: Digunakan untuk mencatat temuan langsung selama pemantauan proses produksi dan kondisi kerja di sekitar mesin *calendering*, berisi jenis dan Persentase cacat lembaran *steel cord* dalam periode tertentu yang didapatkan secara observasi.
2. Kuesioner FMEA: Berfungsi untuk mencatat failure mode, efek dari kegagalan, penyebab potensial, tingkat keparahan, rentang terjadinya, dan rentang terdeteksinya, serta perhitungan nilai RPN.
3. Kuesioner RCA: Dirancang untuk mengidentifikasi akar penyebab cacat berdasarkan pendapat dan pengalaman operator, staf pengendali kualitas, dan *supervisor*. Kuesioner memuat pertanyaan terbuka dan tertutup sesuai pendekatan fishbone diagram dan untuk tahap penyusunan saran perbaikan dengan 5 *Whys*.
4. Perangkat Penunjang: Laptop untuk pengolahan data, software Excel untuk analisis statistik dan grafik, serta alat tulis untuk pencatatan manual.
5. Dokumen SOP dan Panduan Proses: Sebagai acuan dalam mengevaluasi penyimpangan parameter proses dan perilaku kerja operator.

C. Tahapan Proses

Prosedur penyelesaian masalah dalam Tugas Akhir ini, yaitu observasi proses produksi *steel cord*, identifikasi cacat yang dihasilkan saat pembuatan *steel cord*, pengumpulan data cacat yang dihasilkan saat pembuatan *steel cord*, menganalisis cacat yang paling beresiko menggunakan FMEA dan melakukan RCA untuk

mengidentifikasi akar penyebab dari cacat dengan resiko tertinggi dari proses pembuatan *steel cord* yang perlu diketahui secara detail. Alur proses penyelesaian masalah dalam Tugas Akhir ini seperti ditampilkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Alur proses penyelesaian Tugas Akhir

1. Pengamatan Proses Produksi Dan Identifikasi Permasalahan

Langkah awal dalam metode ini adalah melakukan pengamatan langsung terhadap proses produksi *steel cord* untuk mengidentifikasi jenis cacat yang muncul selama proses berlangsung. Pengamatan dilakukan secara komprehensif pada setiap

tahapan produksi, mulai dari penerimaan bahan baku, proses plastisasi, pelapisan (*calendering*), hingga tahap akhir sebelum produk diproses lebih lanjut.

Sebagai pelengkap data observasi, dilakukan wawancara dengan pihak yang terlibat langsung dalam proses produksi, seperti *supervisor* lini produksi *steel cord*, operator mesin *calender*, serta staf pengendalian kualitas. Wawancara ini bertujuan untuk menggali informasi terkait penyebab cacat yang sering terjadi dan mendapatkan perspektif teknis dari berbagai fungsi dalam operasional produksi. Hasil dari pengamatan dan wawancara digunakan untuk mengidentifikasi jenis cacat yang paling sering terjadi dan merumuskan permasalahan secara jelas dan terarah, yang kemudian menjadi dasar bagi tahapan analisis berikutnya.

2. Pengumpulan Data Cacat

Pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap setiap *batch* produksi, dengan mencatat jenis cacat, jumlah kejadian per jenis, serta jumlah produksi harian. Data yang diperoleh kemudian diolah secara statistik untuk menghitung persentase masing-masing jenis cacat dan mengidentifikasi pola kemunculannya. Hasil analisis Persentase ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis lanjutan prioritas risiko secara lebih menyeluruh.

3. Analisis Persentase Cacat

Setelah data Persentase cacat diperoleh dari hasil observasi produksi, dilakukan analisis lanjutan menggunakan metode FMEA untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi kegagalan yang dapat memengaruhi kualitas produk. Metode ini mempertimbangkan tiga aspek penilaian, yaitu tingkat S, O dan D. Data dikumpulkan melalui kuesioner yang disebarakan kepada operator, *supervisor*, dan

staf pengendalian kualitas pada proses *calendering*. Setiap responden diminta memberikan skor terhadap masing-masing jenis cacat berdasarkan pengalaman dan kondisi aktual di lapangan. Format kuesioner dapat dilihat pada Lampiran 1, dan panduan penilaian disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Panduan Pengisian Nilai Pada Kuesioner FMEA (Arifianto dan Briliana, 2021)

Nilai	<i>Severity</i> (Tingkat Keparahan)	<i>Occurrence</i> (Persentase Kejadian)	<i>Detection</i> (Kemudahan Deteksi)
1	Sangat ringan, tidak berdampak	Sangat jarang (hampir tidak pernah)	Sangat mudah dideteksi
2	Ringan, dampak nyaris tidak terasa	Sangat jarang	Sangat mudah dideteksi
3	Dampak kecil, tidak signifikan	Jarang terjadi	Mudah dideteksi
4	Dampak sedang, tidak mengganggu proses	Cukup jarang	Relatif mudah dideteksi
5	Dampak nyata, tapi masih dapat ditoleransi	Kadang-kadang	Sulit tapi masih bisa dideteksi
6	Cukup serius, memerlukan perhatian	Cukup sering	Cukup sulit dideteksi
7	Serius, memengaruhi kualitas akhir	Sering terjadi	Sulit dideteksi
8	Sangat serius, menyebabkan kerugian produk	Sering sekali	Sangat sulit dideteksi
9	Hampir fatal, menyebabkan produk gagal	Hampir selalu terjadi	Hampir tidak bisa dideteksi
10	Sangat fatal, menyebabkan keselamatan terganggu	Selalu terjadi	Tidak dapat dideteksi sama sekali

Setelah mendapatkan nilai S, O, dan D dari setiap jenis cacat yang teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai RPN dengan Persamaan 1. Penghitungan RPN memungkinkan pengelompokan data cacat

berdasarkan tingkat risiko yang ditimbulkan, di mana cacat dengan nilai RPN tinggi menunjukkan dampak signifikan terhadap kualitas produk dan kemungkinan terjadinya yang tinggi. Kemudian, fokus utama adalah pada cacat dengan RPN tertinggi, yang akan dianalisis lebih mendalam untuk menentukan penyebab utama dan dampaknya terhadap keseluruhan proses produksi.

4. Analisis Faktor Penyebab Masalah

Untuk mengidentifikasi akar penyebab dari cacat dengan tingkat risiko tinggi, diterapkan metode RCA dengan pendekatan kuesioner yang disebarakan kepada operator, *supervisor*, dan staf pengendalian kualitas pada proses *calendering*. Analisis ini bertujuan untuk mengklasifikasikan faktor-faktor potensial penyebab permasalahan ke dalam lima kategori utama, yaitu Manusia, Mesin, Metode, Material, dan Lingkungan. Penilaian terhadap masing-masing faktor dilakukan oleh responden dengan menggunakan skala dari 1 hingga 10, di mana skor yang lebih tinggi mengindikasikan tingkat kontribusi yang lebih signifikan terhadap terjadinya cacat. Format kuesioner dapat dilihat pada Lampiran 2. Setiap faktor dinilai berdasarkan tingkat kontribusinya terhadap terjadinya cacat, panduan pengisian kuesioner disajikan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Panduan Pengisian Nilai Pada Kuesioner RCA (Yusup dan Purbawati, 2022)

Nilai	Tingkat Kontribusi	Deskripsi Penilaian
1	Sangat Rendah	Tidak berkontribusi terhadap cacat dan tidak relevan dengan penyebab proses.
2	Sangat Rendah	Kontribusi sangat kecil dan tidak terlibat langsung dalam kejadian cacat.
3	Rendah	Jarang menjadi penyebab dan pengaruh terhadap cacat sangat minimal.
4	Rendah	Kadang terlibat, tetapi tidak memengaruhi hasil secara signifikan.
5	Sedang	Muncul pada beberapa kasus dan memiliki pengaruh sedang terhadap cacat.
6	Sedang	Cukup sering terlibat dan mulai menunjukkan kontribusi yang konsisten terhadap cacat.
7	Tinggi	Sering menjadi penyebab dan berdampak nyata terhadap kualitas produk.
8	Sangat Tinggi	Berkontribusi besar dan sering ditemukan sebagai faktor utama dalam cacat.
9	Sangat Tinggi	Menjadi penyebab utama dalam banyak kasus dan berdampak signifikan terhadap kualitas produk.
10	Kritis	Akar penyebab utama dan dominan dan wajib segera ditangani dalam tindakan perbaikan.

Faktor penyebab dengan skor tertinggi dari masing-masing kategori, dengan nilai minimal 8, dipilih untuk dijadikan dasar penyusunan *fishbone diagram*. Diagram ini digunakan untuk memetakan hubungan antara faktor-faktor utama dan permasalahan cacat yang terjadi, serta menjadi acuan dalam analisis mendalam menggunakan metode *5 Whys* pada tahap berikutnya.

5. Identifikasi dan Perumusan Saran Perbaikan

Setelah proses identifikasi faktor penyebab melalui analisis RCA, dilakukan analisis lanjutan dengan menggunakan metode *5 Whys* guna menelusuri akar

permasalahan secara lebih mendalam. Pendekatan ini diterapkan melalui observasi lapangan serta wawancara semi-terstruktur dengan supervisor yang terlibat langsung dalam proses *calendering*. Analisis dilakukan dengan mengajukan pertanyaan "mengapa" secara berulang untuk setiap faktor penyebab yang telah teridentifikasi, hingga diperoleh akar masalah yang paling fundamental. Proses ini dilaksanakan melalui diskusi kelompok terbatas (*focused group discussion*) bersama *supervisor*. Langkah-langkah yang dilakukan meliputi:

1. Mengidentifikasi faktor penyebab dengan skor kontribusi tertinggi berdasarkan hasil RCA.
2. Melakukan penggalian akar penyebab menggunakan pendekatan 5 *Whys*.
3. Menyusun alternatif solusi berdasarkan akar penyebab yang telah diidentifikasi.

Hasil dari proses ini menghasilkan saran perbaikan, yang dapat mencakup penyempurnaan prosedur kerja, peningkatan pelatihan operator, pengaturan ulang parameter proses, atau evaluasi teknis terhadap kondisi peralatan dan lingkungan kerja. Saran tersebut disusun berdasarkan hasil diskusi teknis dengan *supervisor* dan analisis langsung terhadap kondisi di lapangan.