

**Penerapan *K-Means* Dan FMEA Dalam Mengidentifikasi Prioritas
Cacat Produk Berdasarkan Data Klaim Pelanggan
(Studi Kasus: PT. XYZ)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Nabiilah Atha Fakhirah
No. Mahasiswa : 22522328

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 29 Mei 2026



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Nabiilah".

(Nabiilah Atha Fakhirah)

22522328

SURAT BUKTI PENELITIAN

**SURAT KETERANGAN**

No. 18480 /DL.02.01/KP/XII/2025

Diberikan Kepada :

N A M A : NABIILAH ATHA FAKHIRAH
PT/SEKOLAH : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
PROGRAM STUDI : TEKNIK INDUSTRI

Telah melaksanakan Praktek Kerja Industri (Prakerin) pada :

MARKET RESEARCH & DEVELOPMENT DEPARTMENT**PT. KRAKATAU STEEL (Persero) Tbk.**

Mulai : 22 September 2025 s/d 22 Desember 2025

Dengan hasil : **BAIK**

Demikian surat keterangan ini dibuat, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Cilegon, 23 Desember 2025

HUMAN CAPITAL ADMINISTRATION & LEARNING CENTER**PT.KRAKATAU STEEL(Persero) Tbk.**


EDY SUCIPTO
Superintendent



Cilegon Office
Technology Building
Pusat Operasional Steel
Jl. Raya Nagas, Cilegon 42432, Banten
P +62 254 100576

PT Krakatau Steel (Persero) Tbk.
Kratatau Steel Building
Jl. Jend. Sudik Sudarto Km. 14
Jakarta Selatan 12942
P +62 21 1005750 @tubling

www.krakatausteel.com

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**Penerapan *K-Means* Dan FMEA Dalam Mengidentifikasi Prioritas
Cacat Produk Berdasarkan Data Klaim Pelanggan
(Studi Kasus: PT. XYZ)**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Nabiilah Atha Fakhirah

No. Mahasiswa : 22522328



Yogyakarta,

Dosen Pembimbing

Dr. Harwati, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Penerapan *K-Means* Dan FMEA Dalam Mengidentifikasi Prioritas Cacat Produk Berdasarkan Data Klaim Pelanggan (Studi Kasus: PT. XYZ)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Nabilah Atha Fakhirah

No. Mahasiswa : 22 522 328

Telah dipertahankan di depan sidang pengujian sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta,

Tim Penguji

Dr. Harwati, S.T., M.T.

Ketua

Joko Sulistio, S.T., M.Sc., M.T.

Anggota I

Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc.

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

NIK 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim. Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan kemudahan-nya. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, semangat, serta dukungan hingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik.

MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(Q.S. Al-Insyirah: 6)

“Barang siapa menempuh jalan untuk menuntut ilmu, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.”

(HR. Muslim)

“Bermimpilah setinggi langit, jika engkau jatuh, engkau akan jatuh di antara bintang-bintang.”

Ir. Soekarno

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya hingga akhir zaman.

Laporan ini disusun sebagai bentuk pertanggungjawaban akademik untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Penerapan *K-Means* Dan FMEA Dalam Mengidentifikasi Prioritas Cacat Produk Berdasarkan Data Klaim Pelanggan (Studi Kasus: PT. XYZ)”. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berperan dalam pelaksanaan Kerja Praktik ini, yaitu kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Dr. Harwati, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berarti kepada penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Handrio Ernawan selaku manager PT. XYZ yang telah memberi arahan dan bimbingan serta telah meluangkan waktunya untuk konsultasi data Tugas Akhir yang diperlukan penulis.
6. Orang tua penulis, Ayah Afrizal Hendri dan Mama Suharni Rosi, serta kakak dan adik yang telah memberikan dukungan, semangat, dan motivasi untuk penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Teknik Industri angkatan 22, serta segenap sahabat penulis yang telah membantu pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
8. Teman-teman Hamka UII dan teman-teman KKN UII Unit 257 Angkatan 71 yang telah membantu, memberikan semangat, dan bantuan selama penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan dalam proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan terbuka mengharapkan saran, kritik, dan masukan yang membangun sebagai bahan evaluasi dan perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap laporan ini dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya serta

memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun bagi pembaca yang memiliki minat terhadap topik yang dibahas.

Demikian saya sampaikan, Terima kasih.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 29 Mei 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Nabiilah'.

Nabiilah Atha Fakhirah

NIM 22522328

ABSTRAK

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri baja, khususnya produksi *Hot Rolled Coil*. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis klaim produk yang menjadi prioritas perbaikan serta memberikan usulan perbaikan kualitas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *K-Means Clustering*, *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dan *Root Cause Analysis* (RCA). Pengelompokan dilakukan berdasarkan empat variabel, yaitu frekuensi klaim, klaim diterima, nilai klaim, dan rata-rata penyelesaian. Hasil *K-Means Clustering* membentuk 4 *cluster*, dengan *Cluster 1* sebagai *cluster* prioritas karena memiliki karakteristik klaim paling dominan dibandingkan *cluster* lainnya. Selanjutnya, hasil FMEA menunjukkan bahwa *Coil Break* menjadi jenis cacat prioritas dengan nilai *Severity* sebesar 6, *Occurrence* sebesar 5, *Detection* sebesar 5, dan *Risk Priority Number* (RPN) sebesar 150. Berdasarkan hasil RCA, akar penyebab *Coil Break* adalah ketidaksesuaian parameter produksi, terutama pada *Finishing Delivery Temperature*, *Cooling Rate*, *Coiling Temperature*, dan *Coiling Tension*, yang menyebabkan penyebaran *mechanical properties* tidak merata. Oleh karena itu, rekomendasi perbaikan yang diberikan berupa usulan SOP pendukung pengendalian cacat *Coil Break* yang mencakup monitoring parameter, inspeksi visual, *checksheet*, serta form tindakan korektif.

Kata Kunci: *Hot Rolled Coil*, *K-Means Clustering*, FMEA, RCA, *Coil Break*, SOP, Pengendalian Kualitas.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Literatur	6
2.2 Landasan Teori	11
2.2.1 Kualitas Produk	11
2.2.2 Cacat Produk	11
2.2.3 Klaim Pelanggan	12
2.2.4 <i>Data Mining</i>	12
2.2.5 <i>Clustering</i>	13
2.2.6 <i>K-Means</i>	13
2.2.7 <i>Metode Elbow</i>	14
2.2.8 <i>Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)</i>	14
2.2.9 <i>Root Cause Analysis (RCA)</i>	18
2.2.10 Standar Operasi Prosedur	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Objek Penelitian.....	20
3.2 Jenis dan Sumber Pengumpulan Data.....	20
3.3 Alur Penelitian	21
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	28
4.1 <i>Data Selection</i>	28
4.2 <i>K-Means Clustering</i>	28
4.2.1 <i>Pre-processing Data</i>	28
4.2.2 <i>Metode Elbow</i>	34
4.2.3 <i>Analisis K-Means Clustering</i>	36
4.3 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	43
4.3.1 <i>Perhitungan Risk Priority Number (RPN)</i>	43
BAB V PEMBAHASAN	48

5.1	<i>Root Cause Analysis (RCA)</i>	48
5.2	Rekomendasi.....	51
5.2.1	Perbaikan Faktor <i>Method</i>	51
5.2.2	Usulan Standar Operasional Prosedur	55
5.3	Limitasi Penelitian	66
BAB VI PENUTUP		67
6.1	Kesimpulan	67
6.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....		69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Posisi Penelitian.....	9
Tabel 2. 2 <i>Severity</i>	15
Tabel 2. 3 <i>Occurence</i>	16
Tabel 2. 4 <i>Detection</i>	17
Tabel 3. 1 Jenis dan Sumber Pengumpulan Data	20
Tabel 4. 1 <i>Cleaning Data</i>	29
Tabel 4. 2 Aturan Transformasi.....	31
Tabel 4. 3 Hasil Transformasi	33
Tabel 4. 4 Metode <i>Elbow</i>	34
Tabel 4. 5 <i>Descriptive Statistics</i>	36
Tabel 4. 6 <i>Initial Cluster Centers</i>	37
Tabel 4. 7 <i>Iteration History</i>	39
Tabel 4. 8 <i>Final Cluster Centers</i>	40
Tabel 4. 9 <i>Number of Cases in each Cluster</i>	41
Tabel 4. 10 Pengelompokan Jenis Klaim	42
Tabel 4. 11 Profil <i>Expert</i>	43
Tabel 4. 12 Perhitungan <i>Risk Priority Number</i>	44
Tabel 5. 1 Perbaikan Hasil 5 <i>Why</i> pada Faktor <i>Method</i>	52
Tabel 5. 2 Usulan SOP Pendukung	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Data Klaim Pelanggan PT. XYZ.....	2
Gambar 3. 1 Alur Penelitian 1	22
Gambar 3. 2 Alur Penelitian 2	23
Gambar 3. 3 Rekap Data Klaim Pelanggan 1	25
Gambar 3. 4 Rekap Data Klaim Pelanggan 1	26
Gambar 4. 1 Grafik metode <i>elbow</i> 1.....	35
Gambar 4. 2 Grafik metode <i>elbow</i> 2.....	35
Gambar 4. 3 Jenis Cacat <i>Coil Break</i> 1.....	47
Gambar 4. 4 Jenis Cacat <i>Coil Break</i> 2.....	47
Gambar 5. 1 <i>Fishbone Diagram</i>	49

BAB I

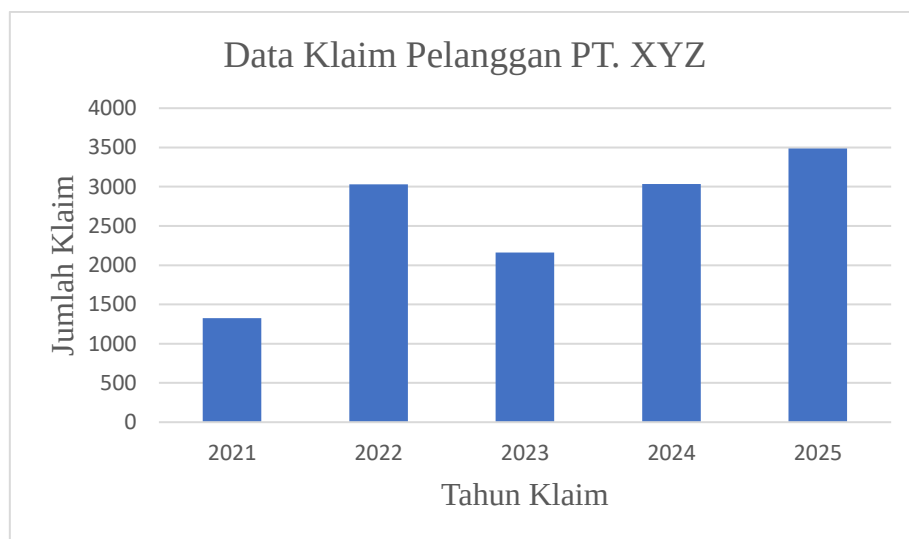
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri baja merupakan salah satu sektor manufaktur yang mengolah bahan baku menjadi produk melalui proses produksi yang melibatkan suhu tinggi, permesinan berat, dan tahapan kerja yang kompleks (Sudarni & Wantira, 2022). Kompleksitas tersebut menjadikan industri baja memiliki tingkat risiko cacat produk yang relatif tinggi apabila pengendalian kualitas tidak dilakukan secara optimal, PT. XYZ merupakan perusahaan industri baja terpadu terbesar di Indonesia yang telah beroperasi sejak tahun 1970. Perusahaan ini berfokus pada produksi *hot rolled coil* (HRC) sebagai produk utama, sedangkan produk *cold rolled coil* (CRC) dan *wire rod* diproduksi melalui anak perusahaannya. Sebagai produsen baja berskala besar, PT. XYZ berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan baja nasional, khususnya untuk sektor konstruksi, otomotif, dan perkapalan, sehingga perusahaan dituntut untuk menjaga kualitas produk secara konsisten guna memenuhi standar pasar dan mempertahankan daya saing. Hal ini diperkuat dengan penelitian Armadani dan Putri (2025) yang menyatakan bahwa kualitas produk pada industri baja sangat menentukan kepercayaan pelanggan dan keberlanjutan bisnis perusahaan (Armadani & Putri, 2025).

Kompleksitas proses produksi di PT. XYZ meningkatkan potensi terjadinya cacat produk *Hot Rolled Coil* yang memicu klaim pelanggan. PT. XYZ memiliki sistem penanganan klaim pelanggan sebagai media pencatatan keluhan terkait cacat produk, pada periode Januari hingga Desember 2025 sudah tercatat 3.488 data klaim pelanggan yang masuk. Data klaim tersebut menjadi aset penting dalam mengevaluasi kualitas produk dan mengidentifikasi permasalahan yang sering terjadi (Setiawan et al., 2023). Namun, dalam praktiknya, data klaim pelanggan selama ini cenderung hanya berfungsi sebagai arsip administratif dan belum dimanfaatkan secara optimal sebagai dasar pengambilan keputusan strategis. Akibatnya, perusahaan sering mengalami kesulitan dalam menentukan jenis cacat mana yang harus diprioritaskan untuk diperbaiki,

meskipun dari data klaim tersebut sebenarnya dapat digali pola yang menunjukkan kelompok cacat dominan yang paling berdampak terhadap kualitas produk. Berbagai jenis cacat produk yang memicu klaim pelanggan umumnya berupa ketidaksesuaian pada permukaan, dimensi, maupun bentuk produk, yang mengindikasikan adanya ketidaksempurnaan pada proses produksi (Murti & Yuamita, 2023). Tingginya jumlah klaim pelanggan berdampak pada meningkatnya biaya *rework* dan *scrap*, terganggunya jadwal pengiriman, serta menurunnya tingkat kepuasan pelanggan, yang pada akhirnya berpotensi mengurangi kepercayaan terhadap kualitas produk PT. XYZ (Briš et al., 2022). Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan kualitas tidak hanya berdampak pada aspek teknis produksi, tetapi juga memiliki implikasi strategis terhadap kinerja perusahaan secara keseluruhan.



Gambar 1. 1 Grafik Data Klaim Pelanggan PT. XYZ

Berdasarkan grafik data klaim pelanggan PT. XYZ periode 2021-2025, terlihat bahwa jumlah klaim mengalami fluktuasi namun cenderung meningkat pada tahun-tahun tertentu. Pada tahun 2021 tercatat sebanyak 1.325 klaim, kemudian meningkat tajam pada tahun 2022 menjadi 3.031 klaim. Selanjutnya jumlah klaim menurun pada tahun 2023 dan 2024 masing-masing menjadi 2.163 klaim dan 2.036 klaim, namun pada tahun 2025 kembali terjadi lonjakan signifikan hingga mencapai 3.488 klaim, yang merupakan jumlah tertinggi selama periode pengamatan. Pola ini menunjukkan bahwa permasalahan

cacat produk *Hot Rolled Coil* bersifat berulang dan masih menjadi perhatian utama perusahaan

Di sisi lain, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), volume impor besi dan baja Indonesia dari Tiongkok meningkat dari 3,60 juta ton pada tahun 2017 menjadi 5,12 juta ton pada tahun 2024. Peningkatan ini menunjukkan bahwa persaingan pasar baja semakin ketat dan menuntut produsen dalam negeri untuk meningkatkan kualitas produknya. Kondisi tersebut diperparah dengan dominasi produk baja impor yang memiliki harga lebih kompetitif akibat kelebihan pasokan global, khususnya dari Tiongkok. Situasi ini menempatkan industri baja nasional dalam tekanan persaingan yang tinggi, sehingga perusahaan tidak hanya dituntut bersaing dari sisi harga, tetapi juga harus mampu menawarkan kualitas produk yang unggul dan konsisten. Oleh karena itu, perbaikan kualitas secara sistematis melalui pendekatan analitis berbasis data menjadi sangat penting agar perusahaan dapat mengidentifikasi permasalahan secara akurat, menentukan prioritas perbaikan, serta merumuskan strategi peningkatan kualitas yang tepat sasaran dan berkelanjutan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu pendekatan analitis yang mampu mengolah data klaim secara lebih terstruktur dan menghasilkan informasi yang bermakna. Salah satu metode yang sesuai adalah *K-Means Clustering*, yaitu teknik pengelompokan data untuk mengidentifikasi pola dan kemiripan karakteristik antar jenis cacat produk (Ermanto & Surojudin, 2025). Metode ini memungkinkan data klaim dipetakan ke dalam beberapa kelompok sehingga memudahkan perusahaan dalam mengenali jenis cacat yang dominan, keterkaitan antar cacat, serta pola kemunculannya berdasarkan data historis. *K-Means* dinilai efektif karena mampu memproses data dalam jumlah besar, memberikan hasil yang ringkas, serta menghasilkan visualisasi pola yang mudah dipahami oleh manajemen (Reyhan & Wismarini, 2025). Selanjutnya, untuk menentukan jenis cacat yang paling diprioritaskan perbaikannya, digunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Metode ini menganalisis tingkat prioritas setiap jenis cacat berdasarkan nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* sehingga diperoleh *Risk Priority Number* (RPN) sebagai dasar penentuan prioritas perbaikan (Wicaksono et al., 2023). Setelah jenis cacat prioritas ditentukan, dilakukan analisis

lanjutan menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA) untuk mengidentifikasi akar penyebab terjadinya cacat tersebut secara sistematis.

Melalui penelitian ini, hasil *clustering* diharapkan mampu memberikan gambaran yang jelas mengenai kelompok jenis klaim yang paling dominan dan berdampak signifikan terhadap kualitas produk. Hasil FMEA diharapkan dapat menunjukkan jenis cacat yang memiliki tingkat prioritas perbaikan tertinggi sehingga perusahaan dapat memfokuskan upaya perbaikan pada permasalahan yang paling kritis. Selanjutnya, hasil RCA digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi perbaikan yang lebih efektif dan terstandar guna mencegah terulangnya cacat serupa di masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apa hasil pengelompokan jenis klaim produk *Hot Rolled Coil* di PT. XYZ berdasarkan karakteristik data klaim pelanggan menggunakan metode *K-Means Clustering*?
2. Jenis klaim produk apa yang menjadi prioritas perbaikan berdasarkan hasil analisis *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) pada *Cluster* prioritas yang terbentuk?
3. Apa akar penyebab terjadinya cacat prioritas tersebut serta bagaimana rekomendasi perbaikan berdasarkan hasil *Root Cause Analysis* (RCA)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah sebelumnya, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil pengelompokan jenis klaim produk *Hot Rolled Coil* di PT. XYZ berdasarkan karakteristik data klaim pelanggan menggunakan metode *K-Means Clustering*.
2. Menentukan jenis klaim produk yang menjadi prioritas perbaikan berdasarkan hasil analisis *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) pada *Cluster* prioritas yang terbentuk.
3. Mengidentifikasi akar penyebab terjadinya cacat prioritas serta merumuskan rekomendasi perbaikan berdasarkan hasil *Root Cause Analysis* (RCA).

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat pada penelitian ini:

1. Manfaat bagi Peneliti
 - a. Meningkatkan pemahaman dan kemampuan peneliti dalam menerapkan metode *K-Means Clustering*, *FMEA*, dan *RCA* untuk menganalisis permasalahan kualitas produk di industri manufaktur.
 - b. Memberikan pengalaman praktis dalam pengolahan dan analisis data klaim pelanggan secara sistematis untuk menghasilkan kesimpulan berbasis data.
 - c. Mengasah keterampilan analitis dalam penggunaan metode statistik, data mining, dan manajemen kualitas yang bermanfaat untuk menghadapi permasalahan kualitas di dunia industri.
2. Manfaat bagi Universitas Islam Indonesia
 - a. Menambah referensi akademik untuk penelitian di bidang manajemen kualitas dan analisis data industri manufaktur.
 - b. Menjadi acuan dalam pengembangan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penerapan metode analisis kualitas dan data mining di sektor manufaktur.
 - c. Meningkatkan reputasi akademik universitas melalui kontribusi penelitian yang berdampak nyata bagi industri.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan pada penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya menggunakan data klaim pelanggan terkait jenis klaim produk *Hot Rolled Coil* yang diterima oleh PT. XYZ, tanpa mencakup data klaim internal dari proses inspeksi produksi.
2. Data yang dianalisis dalam penelitian ini dibatasi pada data klaim pelanggan periode Januari - Desember 2025.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur ini mengkaji penelitian-penelitian yang berfokus pada penentuan prioritas cacat pada objek manufaktur logam. Jurnal yang digunakan merupakan publikasi dalam 5 tahun terakhir yang berjumlah 15 jurnal, terdiri dari 10 jurnal internasional dan 5 jurnal nasional. Kajian ini dilakukan untuk memberikan gambaran melalui perbandingan dengan studi-studi sebelumnya untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian serta menentukan posisi penelitian. Sumber literatur diperoleh melalui penelusuran pada basis data ilmiah, seperti *Google Scholar*, *SpringerLink*, *ResearchGate*, dan Garuda. Proses pencarian dilakukan menggunakan kata kunci yang berkaitan dengan prioritas cacat, antara lain *defect priority*, *manufacturing defect*, FMEA, RCA. Kajian ini dilakukan untuk memberikan gambaran perbandingan dengan studi-studi sebelumnya, mengidentifikasi kesenjangan penelitian, serta menentukan posisi penelitian ini.

Berdasarkan penelitian terdahulu, terdapat kesamaan tujuan dalam mengidentifikasi cacat dominan, menentukan prioritas cacat, dan merumuskan tindakan perbaikan kualitas. Haekal dan Mu'min (2024) menggunakan *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan cacat berdasarkan karakteristik data. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *cluster 0* memiliki biaya perbaikan tertinggi sehingga menjadi prioritas utama dalam *Quality Control*. Penelitian ini menjadi dasar bahwa *K-Means* dapat digunakan untuk mengelompokkan cacat berdasarkan jenis, lokasi, tingkat keparahan, dan biaya perbaikan.

K-Means Clustering dipilih dalam penelitian ini karena mampu mengelompokkan jenis cacat berdasarkan kemiripan karakteristik data. Metode ini lebih sesuai dibandingkan *Hierarchical Clustering* karena lebih sederhana, lebih mudah diterapkan, dan lebih efisien untuk data yang jumlahnya lebih besar. *K-Means* juga lebih sesuai dibandingkan *Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (DBSCAN) karena penelitian ini tidak berfokus pada pendeteksian *outlier*, tetapi pada pembentukan

kelompok cacat yang jelas. Dengan demikian, *K-Means* dapat digunakan sebagai tahap awal untuk memahami kelompok cacat sebelum dilakukan penentuan prioritas risiko.

Penelitian lain menggunakan Six Sigma untuk mengevaluasi kinerja proses produksi. Bachroni dan Setiafindari (2023) menunjukkan bahwa cacat dominan berupa ekor tikus dan salah air terjadi karena nilai sigma belum memenuhi standar 3 sigma. Valentino dan Wahyudi (2025) juga menggunakan Six Sigma bersama FMEA dan menetapkan cacat *strand out* sebagai prioritas utama perbaikan. Hal ini menunjukkan bahwa Six Sigma mampu menggambarkan kapabilitas proses dan variasi produksi, tetapi belum secara langsung mengelompokkan cacat berdasarkan karakteristiknya dan belum cukup kuat untuk menentukan prioritas risiko setiap jenis cacat.

Beberapa penelitian menggunakan FMEA untuk menentukan prioritas cacat berdasarkan tingkat risiko. Wirani et al. (2021) menunjukkan bahwa cacat *porosity* pada proses pengelasan *boiler* menjadi prioritas utama berdasarkan nilai RPN tertinggi. Asfahani (2025) menunjukkan bahwa cacat *crack* memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 576 sehingga menjadi prioritas utama perbaikan. Maryani dan Purba (2021) juga menggunakan FMEA pada proses pengecoran *aluminium alloy wheel* dan menghasilkan prioritas cacat berupa *leak defect*, *porosity motive hole*, dan *oval defect*. Haas et al. (2025) menggunakan pendekatan berbasis risiko untuk menurunkan potensi kegagalan proses LPBF *magnesium alloy* hingga nilai RPN berada di bawah batas kritis.

FMEA dipilih dalam penelitian ini karena mampu menentukan prioritas cacat berdasarkan *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Metode ini lebih sesuai dibandingkan Pareto karena Pareto hanya melihat frekuensi kejadian. FMEA juga lebih tepat dibandingkan Six Sigma jika tujuan penelitian adalah menentukan prioritas risiko, bukan hanya menilai kapabilitas proses. Selain itu, FMEA lebih sederhana dibandingkan MCDM karena tidak membutuhkan pembobotan kriteria yang kompleks. Oleh karena itu, FMEA digunakan untuk menentukan cacat yang paling perlu diperbaiki setelah jenis cacat dikelompokkan menggunakan *K-Means*.

Penelitian Ariansyah dan Nugroho (2025) menetapkan cacat gompal, CCR, dan pecah sebagai prioritas perbaikan. Novantoro et al. (2024) menetapkan cacat *chamber* sebagai prioritas pada proses *finishing* pelat baja. Jalal dan Yusim (2024) menetapkan

cacat *crack* dan *porosity* sebagai prioritas pada proses pengelasan. Anwar et al. (2026) menetapkan proses pemanasan ekstrusi yang tidak optimal sebagai sumber cacat prioritas berdasarkan nilai RPN tertinggi. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penentuan prioritas cacat perlu mempertimbangkan dampak kegagalan, bukan hanya jumlah cacat yang muncul.

Setelah cacat prioritas ditentukan, penelitian ini menggunakan RCA untuk mengidentifikasi akar penyebab cacat. RCA dipilih karena FMEA hanya menentukan prioritas risiko, tetapi belum menjelaskan penyebab utama terjadinya cacat. Dalam penelitian ini, RCA dilakukan dengan kombinasi *Fishbone Diagram* dan 5 *Whys*. *Fishbone Diagram* digunakan untuk memetakan kemungkinan penyebab berdasarkan faktor *man, machine, method, material, environment*, dan *measurement*. Selanjutnya, 5 *Whys* digunakan untuk menggali penyebab secara bertahap sampai ditemukan akar masalah.

RCA dengan kombinasi *Fishbone Diagram* dan 5 *Whys* lebih tepat dibandingkan penggunaan *Fishbone Diagram* saja atau 5 *Whys* saja. *Fishbone Diagram* hanya memetakan kemungkinan penyebab, tetapi belum menggali hubungan sebab akibat secara mendalam. Sebaliknya, 5 *Whys* dapat menggali penyebab lebih dalam, tetapi analisisnya cenderung linear dan kurang mampu melihat penyebab dari berbagai aspek. Kombinasi keduanya membuat proses identifikasi akar penyebab menjadi lebih sistematis dan lebih sesuai untuk masalah cacat produk yang dipengaruhi oleh banyak faktor.

Penggunaan RCA juga didukung oleh beberapa penelitian terdahulu. Bangun et al. (2022) mengintegrasikan FMEA, SPC, dan RCA untuk menentukan cacat utama welding dengan prioritas perbaikan pada pengaturan mesin. Rahmatillah dan Rusindiyanto (2025) mengidentifikasi *defect* utama *etching* dan memfokuskan perbaikan pada peningkatan kompetensi operator serta stabilitas lingkungan produksi. Zanazzi et al. (2023) memprioritaskan tindakan perbaikan berupa modifikasi prosedur maintenance dan pemasangan sensor optik. Kholil (2024) menetapkan defect utama spatter welding dengan fokus perbaikan melalui pelatihan operator dan kepatuhan terhadap SOP. Temuan tersebut menunjukkan bahwa analisis cacat perlu dilanjutkan sampai pada identifikasi akar penyebab dan rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan di lapangan.

Secara umum, penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *K-Means*, FMEA, Six Sigma, MCDM, SPC, dan RCA banyak digunakan dalam analisis cacat produk. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada salah satu tahap analisis, seperti pengelompokan cacat, penentuan prioritas risiko, atau identifikasi akar penyebab secara terpisah. Belum banyak penelitian yang mengintegrasikan ketiga tahap tersebut dalam satu alur analisis yang sistematis. Oleh karena itu, penelitian ini memposisikan diri dengan mengombinasikan *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan jenis cacat berdasarkan karakteristiknya, FMEA untuk menentukan prioritas cacat berdasarkan tingkat risiko, serta RCA dengan kombinasi *Fishbone Diagram* dan 5 Whys untuk mengidentifikasi akar penyebab cacat.

Perbandingan antara penelitian sebelumnya yang menjadi referensi dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Posisi Penelitian

Penulis	Metode						Hasil
	<i>K-Means</i>	FMEA	Six Sigma	MCDM	SPC	RCA	
(Haekal & Mu'min, 2024)	√						<i>Cluster 0</i> merupakan <i>cluster</i> dengan biaya perbaikan tertinggi, dijadikan sebagai prioritas utama untuk QC.
(Bachroni & Setiafindari, 2023)			√				Cacat dominan adalah ekor tikus dan salah air. Nilai sigma belum memenuhi standar 3 sigma dan perlu perbaikan berkelanjutan.
(Valentino & Wahyudi, 2025)		√	√				Cacat <i>strand out</i> ditetapkan sebagai cacat prioritas utama untuk diperbaiki
(Ariansyah & Nugroho, 2025)			√				Cacat gompal, CCR, dan pecah ditetapkan sebagai cacat prioritas perbaikan berdasarkan analisis Pareto.
(Asfahani, 2025)		√	√				Hasil FMEA menunjukkan bahwa cacat dengan RPN tertinggi adalah Crack (576) sehingga menjadi prioritas utama perbaikan.

Penulis	Metode						Hasil
	K-Means	FMEA	Six Sigma	MCDM	SPC	RCA	
(Maryani & Purba, 2021)	✓	✓					Cacat prioritas pada proses pengecoran aluminium <i>alloy wheel</i> adalah <i>leak defect</i> , <i>porosity motive hole</i> , dan <i>oval defect</i> .
(Haas et al., 2025)	✓						Mengidentifikasi dan menurunkan potensi kegagalan proses LPBF <i>magnesium alloy</i> hingga seluruh nilai RPN berada di bawah batas kritis.
(Anwar et al., 2026)				✓			Cacat prioritas ditetapkan pada proses pemanasan ekstrusi yang tidak optimal berdasarkan nilai RPN tertinggi.
(Wirani et al., 2021)	✓						Cacat prioritas pada proses pengelasan boiler adalah <i>porosity</i> berdasarkan nilai RPN tertinggi.
(Novantoro et al., 2024)	✓	✓					Cacat prioritas pada proses finishing pelat baja adalah <i>chamber</i> .
(Jalal & Yusim, 2024)	✓						Cacat prioritas pada proses pengelasan adalah <i>crack</i> dan <i>porosity</i> .
(Zanazzi et al., 2023)	✓			✓			Tindakan utama yang diprioritaskan adalah modifikasi prosedur <i>maintenance</i> dan pemasangan sensor optik.
(Bangun et al., 2022)	✓				✓	✓	Cacat utama <i>welding</i> , prioritas perbaikan pada pengaturan mesin.
(Rahmatillah & Rusindiyanto, 2025)			✓			✓	<i>Defect</i> utama adalah <i>etching</i> ($\pm 59\%$). Perbaikan difokuskan pada peningkatan kompetensi operator dan stabilitas lingkungan produksi untuk menurunkan cacat.
(Kholil, 2024)	✓						<i>Defect</i> utama <i>spatter welding</i> . Perbaikan difokuskan melalui pelatihan operator dan kepatuhan SOP.

Berdasarkan Tabel 2.1, dapat disimpulkan bahwa penelitian terdahulu umumnya berfokus pada identifikasi cacat dominan, penentuan prioritas risiko, atau perumusan tindakan perbaikan secara terpisah. Belum banyak penelitian yang mengintegrasikan tahapan

pengelompokan cacat, penentuan prioritas perbaikan, dan analisis akar penyebab dalam satu kerangka analisis yang sistematis. *K-Means Clustering* dipilih karena mampu mengelompokkan jenis cacat berdasarkan kemiripan karakteristik data. Metode ini lebih sesuai dibandingkan *Hierarchical Clustering* dan DBSCAN karena hasil pengelompokannya lebih sederhana, mudah diinterpretasikan, dan sesuai untuk membentuk kelompok cacat yang jelas. FMEA dipilih karena mampu menentukan prioritas cacat berdasarkan tingkat risiko melalui nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*, sehingga lebih komprehensif dibandingkan metode yang hanya melihat frekuensi kejadian. Selanjutnya, RCA dengan kombinasi *Fishbone Diagram* dan 5 *Whys* digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab cacat. *Fishbone Diagram* membantu memetakan kemungkinan penyebab, sedangkan 5 *Whys* membantu menggali penyebab utama secara lebih mendalam. Oleh karena itu, penelitian ini memposisikan diri dengan mengombinasikan *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan jenis cacat, FMEA untuk menentukan prioritas perbaikan berdasarkan tingkat risiko, serta RCA untuk mengidentifikasi akar penyebab dan merumuskan rekomendasi perbaikan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kualitas Produk

Kualitas produk merupakan salah satu unsur penting yang memengaruhi keputusan konsumen dalam membeli suatu barang. Perusahaan perlu memberi perhatian serius pada mutu produk yang dihasilkan, karena kualitas yang tinggi dapat menjadi penentu minat beli konsumen. Semakin baik kualitas produk, semakin besar pula kecenderungan konsumen untuk memilih dan membelinya. Dengan menyediakan produk yang bermutu, perusahaan dapat memiliki keunggulan dibandingkan para pesaing. Oleh sebab itu, perusahaan harus memahami kebutuhan dan harapan konsumen agar mampu menciptakan produk yang berkualitas dan sesuai ekspektasi (Ernawati, 2019).

2.2.2 Cacat Produk

Cacat produk adalah kondisi ketika produk yang dihasilkan tidak memenuhi standar kualitas, spesifikasi teknis, atau fungsi yang telah ditetapkan perusahaan. Cacat tersebut dapat muncul akibat kesalahan material, proses produksi, mesin, maupun faktor manusia selama proses manufaktur berlangsung. Keberadaan cacat produk biasanya menyebabkan

produk dinilai tidak layak, harus diperbaiki (*rework*), atau bahkan dibuang (*scrap*). Fenomena ini telah banyak dibahas dalam studi kualitas karena berpengaruh langsung terhadap biaya produksi, kepuasan pelanggan, dan kinerja perusahaan (Setiafindari, 2023).

2.2.3 Klaim Pelanggan

Klaim pelanggan merupakan pernyataan atau tuntutan yang diajukan oleh konsumen ketika produk atau layanan yang diterima tidak memenuhi janji maupun ekspektasi yang telah ditetapkan penyedia. Klaim ini muncul sebagai bentuk respon terhadap ketidakpuasan yang dirasakan setelah proses pembelian atau penggunaan layanan. Dalam literatur, perilaku tersebut dikaitkan dengan *consumer complaint behaviour* yang mencerminkan adanya ketidaksesuaian antara harapan dan kinerja aktual produk atau layanan. Klaim pelanggan menjadi indikator penting bagi perusahaan karena dapat memengaruhi kepuasan, loyalitas, dan persepsi kualitas layanan secara keseluruhan (Simanjuntak & Shahirah, 2024). Data klaim pelanggan dapat diolah melalui *data mining* untuk menemukan pola keluhan, akar masalah, tren kerusakan, dan segmen pelanggan terdampak, sehingga menghasilkan knowledge bagi perbaikan produk dan layanan.

2.2.4 Data Mining

Data Mining merupakan proses sistematis untuk menggali informasi dan pola tersembunyi dari kumpulan data berukuran besar guna menghasilkan pengetahuan yang bermanfaat dalam pengambilan keputusan (S. I. G. I. Rahayu et al., 2024). *Data Mining* merupakan bagian inti dari proses *Knowledge Discovery in Database* (KDD), yaitu proses terstruktur untuk menemukan pengetahuan dan pola yang bermanfaat dari kumpulan data berukuran besar dan kompleks. Dalam proses KDD, *Data Mining* berperan dalam mengeksplorasi data menggunakan algoritma tertentu untuk membangun model serta menemukan pola atau informasi tersembunyi yang sebelumnya belum diketahui. Proses tersebut meliputi beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data, pembersihan data, integrasi data, seleksi data, transformasi data, proses penambangan data, evaluasi pola, hingga penyajian informasi agar data dapat diolah menjadi informasi yang lebih mudah dipahami dan bermanfaat dalam mendukung analisis maupun pengambilan keputusan (Khormarudin, 2016).

2.2.5 Clustering

Clustering adalah teknik dalam *data mining* yang digunakan untuk membagi elemen-elemen dalam sebuah *dataset*, dengan tujuan agar elemen yang memiliki kesamaan dimasukkan ke dalam *Cluster* yang sama, sedangkan elemen yang memiliki perbedaan dimasukkan ke dalam *Cluster* yang berbeda (Bhatia, 2004). *Clustering* memiliki peran penting dalam mengelola jumlah data yang besar, dengan tujuan untuk membagi objek-objek berdasarkan tingkat kesamaannya. Berdasarkan definisi tersebut, *Clustering* adalah teknik dalam *data mining* yang digunakan untuk mengelompokkan objek-objek ke dalam kelas *Cluster* berdasarkan kesamaan yang diukur melalui atribut-atribut yang mendeskripsikan objek, sehingga terbentuklah beberapa grup (Wijayati & Saputro, 2023). *Clustering* termasuk dalam kategori *unsupervised learning*, yaitu pembelajaran mesin yang tidak menggunakan label atau target *output*. Prosesnya hanya bergantung pada struktur dan distribusi data itu sendiri. Teknik ini bermanfaat dalam berbagai aplikasi seperti segmentasi pasar, deteksi anomali, pengelompokan dokumen, hingga sistem rekomendasi (Han et al., 2012).

2.2.6 K-Means

Algoritma *K-Means* merupakan metode *Clustering* berbasis *prototipe* yang secara umum digunakan untuk membagi data ke dalam kelompok atau *Cluster*. Dalam proses ini, setiap data akan dikelompokkan ke dalam *Cluster* berdasarkan kemiripan nilai atribut, di mana masing-masing *Cluster* diwakili oleh satu titik pusat (*centroid*). Proses *K-Means* dilakukan secara iteratif, dimulai dengan pemilihan *centroid* secara acak, lalu dilanjutkan dengan penempatan data ke *centroid* terdekat dan pembaruan posisi *centroid* berdasarkan rata-rata data dalam tiap *Cluster* (C. et al., 2023). Metode ini termasuk dalam pendekatan *partitioned Clustering*, yang secara sederhana mempartisi dataset menjadi sejumlah *Cluster* tanpa tumpang tindih. Keunggulan utama algoritma ini terletak pada kemudahannya dalam implementasi dan efisiensi waktu komputasi, terutama ketika digunakan pada dataset berskala besar (Zhang et al., 2023).

Tabel hasil *clustering* menyajikan nilai z-score dari masing-masing variabel pada setiap *cluster* yang terbentuk. Nilai z-score digunakan untuk menunjukkan posisi relatif suatu variabel terhadap rata-rata keseluruhan data, di mana nilai negatif menunjukkan

bahwa karakteristik pada *cluster* tersebut berada di bawah rata-rata total, sedangkan nilai positif menunjukkan karakteristik di atas rata-rata total. Dengan demikian, tabel ini memudahkan interpretasi karakteristik tiap *Cluster*, baik dalam mengidentifikasi kelompok dengan tingkat variabel rendah, sedang, maupun tinggi (Yulianti & Sugandha, 2021).

2.2.7 Metode *Elbow*

Metode *Elbow* merupakan salah satu teknik yang umum digunakan untuk menentukan jumlah *Cluster* yang optimal. Prinsip dasarnya adalah mengamati persentase penurunan nilai kesalahan (*error*) pada setiap jumlah *Cluster* hingga terbentuk bentuk siku (*Elbow*) pada grafik. Dalam praktiknya, metode *Elbow* biasanya ditampilkan dalam bentuk grafik untuk membantu mengidentifikasi titik siku tersebut. Tujuan metode ini adalah memilih nilai *k* yang memberikan hasil *Cluster* baik namun tetap mempertahankan nilai *within-Cluster error* yang rendah. Nilai kesalahan yang digunakan untuk menilai kualitas pembentukan *Cluster* dalam algoritma *K-Means* biasanya dihitung menggunakan nilai *WCSS* (*Within-Cluster Sum of Squares*). Jumlah *Cluster* terbaik umumnya terletak pada titik perubahan yang signifikan pada grafik *WCSS* terhadap jumlah *Cluster* (Maori & Evanita, 2023).

2.2.8 *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA)

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) merupakan salah satu metode analisis keandalan yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi kegagalan yang dapat terjadi pada suatu sistem, khususnya pada sistem yang bersifat kompleks. Metode FMEA tidak hanya berfungsi untuk mengidentifikasi kegagalan, tetapi juga sebagai dasar dalam merumuskan rekomendasi perbaikan sistem guna meminimalkan kemungkinan terjadinya kegagalan di masa mendatang. Melalui penerapan FMEA, tindakan korektif yang diperlukan dapat diidentifikasi secara sistematis untuk mencegah kegagalan, sehingga mutu, daya tahan, dan keandalan produk maupun layanan dapat terjaga. Penentuan tingkat kegagalan dan prioritas tindakan perbaikan dalam FMEA dilakukan dengan menghitung *Risk Priority Number* (RPN), yaitu nilai yang diperoleh dari hasil perkalian tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*). Selanjutnya, masing-masing komponen *severity* (S),

occurrence (O), dan *detection* (D) digunakan sebagai dasar dalam penilaian prioritas kegagalan (Puspitaloka, 2022). Menurut penelitian Hartanti (2022) terdapat kriteria penilaian pada perumusan *Failure Mode and Effect Analysis* terdapat tiga kriteria penilaian. Ketiga kriteria tersebut dinilai menggunakan skala 1 sampai 10 dan digunakan sebagai dasar dalam menentukan prioritas perbaikan melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) (Hartanti et al., 2022). Kriteria tersebut kemudian diadaptasi dengan mempertimbangkan karakteristik data klaim pelanggan, sehingga penilaian difokuskan pada dampak cacat terhadap kualitas produk, sebagai berikut:

1. *Severity*

Severity digunakan untuk menggambarkan besarnya dampak yang ditimbulkan oleh suatu mode kegagalan terhadap kualitas produk dan proses pemenuhan spesifikasi apabila kegagalan tersebut terjadi. Semakin tinggi nilai *severity*, maka semakin besar dampak cacat produk terhadap mutu akhir dan kepuasan pelanggan. Penilaian *severity* menggunakan skala 1 sampai 10, di mana nilai tertinggi menunjukkan cacat dengan dampak paling serius terhadap kualitas produk, sedangkan nilai terendah menunjukkan dampak yang sangat kecil atau tidak signifikan terhadap kualitas produk (Ramadhan et al., 2025).

Tabel 2. 2 *Severity*

Skor	Effect	Severity
1	Tidak Ada	Tidak mempengaruhi kualitas produk maupun kesesuaian spesifikasi.
2	Sangat Kecil	Sedikit mempengaruhi kualitas produk, namun dampaknya dapat diabaikan
3	Kecil	Mempengaruhi kualitas produk ringan, produk masih dapat digunakan
4	Cukup Rendah	Mempengaruhi kualitas produk dan memerlukan penyesuaian kecil
5	Rendah	Menyebabkan ketidaksesuaian kecil terhadap spesifikasi produk

Skor	Effect	Severity
6	Sedang	Menyebabkan produk tidak sesuai spesifikasi dan memerlukan <i>rework</i>
7	Tinggi	Menurunkan mutu produk secara signifikan
8	Sangat Tinggi	Cacat berat sehingga produk sulit diperbaiki
9	Berbahaya	Sebagian besar produk tidak dapat diterima karena cacat
10	Sangat Berbahaya	Cacat fatal, produk ditolak dan tidak dapat digunakan

2. Occurrence

Occurrence merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan tingkat frekuensi terjadinya suatu cacat atau mode kegagalan. Penilaian *occurrence* dilakukan berdasarkan data historis kejadian cacat yang terdokumentasi, sehingga mencerminkan seberapa sering suatu jenis cacat muncul. Skala penilaian *occurrence* digunakan pada rentang nilai 1 hingga 10, di mana nilai tertinggi menunjukkan frekuensi kejadian yang sangat sering, sedangkan nilai terendah menunjukkan bahwa cacat tersebut jarang (Ramadhan et al., 2025).

Tabel 2. 3 *Occurrence*

Skor	Effect	Occurrence
1	Tidak Pernah	Cacat hampir tidak pernah muncul dalam data klaim
2	Sangat Jarang	Cacat muncul dalam interval waktu yang sangat panjang
3	Jarang	Cacat jarang terjadi pada periode pengamatan
4	Kadang-kadang	Cacat muncul sesekali dalam data klaim
5	Cukup Sering	Cacat muncul berulang dalam periode tertentu
6	Sering	Cacat sering muncul dan memerlukan perhatian

Skor	Effect	Occurence
7	Sangat Sering	Cacat muncul dengan frekuensi tinggi
8	Hampir Selalu	Cacat hampir selalu muncul
9	Berulang Cepat	Cacat terjadi berulang dalam waktu singkat
10	Terus-menerus	Cacat terjadi secara konsisten dan mendominasi data klaim

3. *Detection*

Detection digunakan untuk menilai sejauh mana sistem pengendalian mutu yang diterapkan perusahaan mampu mengidentifikasi cacat produk sebelum produk diterima oleh pelanggan. Parameter ini mencerminkan efektivitas mekanisme inspeksi dan pengawasan kualitas dalam mencegah produk cacat lolos ke tahap pengiriman. Penilaian *detection* menggunakan skala 1 sampai 10, di mana nilai tertinggi menunjukkan bahwa cacat sangat sulit atau hampir tidak mungkin terdeteksi oleh sistem pengendalian mutu yang ada, sedangkan nilai terendah menunjukkan bahwa cacat sangat mudah dan hampir pasti terdeteksi sebelum produk dikirim ke pelanggan (Ramadhan et al., 2025).

Tabel 2. 4 *Detection*

Skor	Effect	Detection
1	Pasti	Cacat hampir selalu terdeteksi oleh sistem pengendalian mutu
2	Sangat Mudah	Cacat sangat mudah terdeteksi melalui inspeksi rutin
3	Mudah	Cacat dapat terdeteksi tanpa kesulitan berarti
4	Cukup Mudah	Cacat terdeteksi dengan pemeriksaan tambahan
5	Sedang	Deteksi memerlukan analisis lebih lanjut
6	Cukup Sulit	Cacat tidak selalu terdeteksi oleh sistem yang ada

Skor	Effect	Detection
7	Sulit	Cacat sulit terdeteksi dan sering lolos
8	Sangat Sulit	Deteksi sangat bergantung pada pemeriksaan khusus
9	Hampir Tidak Terdeteksi	Cacat hampir selalu lolos dari proses deteksi
10	Tidak Terdeteksi	Cacat tidak dapat dideteksi oleh sistem pengendalian mutu

4. *Risk Priority Number*

Risk Priority Number (RPN) merupakan nilai kuantitatif yang diperoleh dari hasil perkalian antara nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Nilai RPN digunakan untuk menunjukkan tingkat prioritas risiko dari setiap mode kegagalan yang dianalisis. Semakin besar nilai RPN, maka semakin tinggi tingkat risiko yang ditimbulkan, sehingga mode kegagalan tersebut perlu diprioritaskan dalam upaya perbaikan guna meminimalkan dampak negatif terhadap sistem produksi.

2.2.9 *Root Cause Analysis (RCA)*

Root Cause Analysis (RCA) merupakan metode analisis yang digunakan untuk menelusuri dan mengidentifikasi akar penyebab suatu permasalahan secara sistematis, sehingga dapat dirumuskan tindakan perbaikan yang efektif guna mencegah terulangnya permasalahan yang sama di masa yang akan datang. Metode *Root Cause Analysis* yang digunakan terdiri dari diagram *Fishbone* untuk mengelompokkan faktor penyebab permasalahan berdasarkan aspek manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan, serta pendekatan 5 *Why* untuk menelusuri penyebab utama secara bertahap hingga diperoleh akar permasalahan yang paling fundamental (Pitaloka et al., 2024).

2.2.10 *Standar Operasi Prosedur*

Standar Operasi Prosedur (SOP) berfungsi sebagai pedoman kerja tertulis yang memastikan proses produksi *Hot Rolled Coil* dilakukan secara konsisten dan sistematis. SOP membantu mengurangi variasi kerja, mencegah kesalahan operator, dan meningkatkan konsistensi kualitas produk. Dalam penelitian ini, SOP usulan dibuat setelah analisis *K-Means*, FMEA, dan RCA selesai dilakukan *K-Means* mengelompokkan

30 jenis cacat dari data klaim pelanggan, FMEA menilai 8 cacat dalam *cluster* prioritas dengan *Coil Break* sebagai yang utama, dan RCA (*Fishbone* dan 5 *Whys*) mengidentifikasi akar penyebab untuk dasar penyusunan SOP.

Metode penyusunan SOP yang digunakan dalam penelitian ini adalah perancangan SOP berbasis analisis proses, dilakukan dengan mengidentifikasi masalah utama, menentukan aktivitas pengendalian yang perlu distandarkan, menyusun alur kerja, menetapkan penanggung jawab, menentukan output, dan menyiapkan dokumen pendukung seperti *checksheet* monitoring, *checksheet* inspeksi, dan form tindakan korektif. Pendekatan ini sesuai dengan penelitian Abdullah et al. (2022) yang menyusun SOP melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan model proses, verifikasi proses, penyusunan dokumen SOP, dan validasi dokumen SOP. Dalam penelitian ini, tahapan tersebut disesuaikan dengan konteks produksi *Hot Rolled Coil*, yaitu dengan menjadikan hasil FMEA dan RCA sebagai dasar kebutuhan proses yang harus dikendalikan (Abdullah et al., 2022).

Validasi SOP dilakukan secara konseptual karena implementasi lapangan bersifat opsional bagi PT XYZ. Validasi ini menilai kesesuaian SOP terhadap hasil RCA dan FMEA, kelengkapan prosedur, serta penerjemahan akar penyebab menjadi aktivitas pengendalian yang jelas. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Purwaningsih & Purwanggono (2024), yang menunjukkan bahwa penyusunan SOP yang terstruktur dan dokumentasi lengkap, dapat meningkatkan efisiensi proses produksi dan mengurangi potensi cacat (Purwaningsih & Purwanggono, 2024).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada PT. XYZ, yaitu perusahaan industri baja nasional yang bergerak dalam produksi baja jenis *Hot Rolled Coil*. Penelitian ini berfokus pada analisis pengelompokan jenis klaim cacat produk berdasarkan data klaim pelanggan sebanyak 3.448 klaim yang diterima perusahaan pada periode Januari - Desember 2025, serta penentuan jenis klaim yang menjadi prioritas untuk dianalisis lebih lanjut dan dijadikan dasar penyusunan perbaikan. Metode *K-Means Clustering* digunakan untuk mengidentifikasi pola dan kategori klaim dominan, *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) diterapkan untuk menentukan jenis klaim dengan tingkat prioritas tertinggi, dan *Root Cause Analysis* (RCA) digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab terjadinya klaim atau cacat tersebut, sehingga perusahaan dapat menetapkan prioritas perbaikan kualitas secara lebih terarah dan meminimalkan terulangnya cacat serupa di masa mendatang.

3.2 Jenis dan Sumber Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data diperoleh dari rekapan internal divisi *Customer Technical Service* (CTS) di PT. XYZ yang berisi informasi terkait klaim pelanggan. Data tersebut digunakan untuk menganalisis kondisi aktual terkait kualitas produk serta mengidentifikasi kelompok jenis cacat yang paling sering terjadi. Data yang digunakan merupakan data primer dan data sekunder, yang diperoleh langsung dari dokumen dan arsip perusahaan serta wawancara langsung dengan manager divisi *Customer Technical Service*, rincian dari jenis dan sumber pengumpulan data dapat dilihat pada Tabel 3.1:

Tabel 3. 1 Jenis dan Sumber Pengumpulan Data

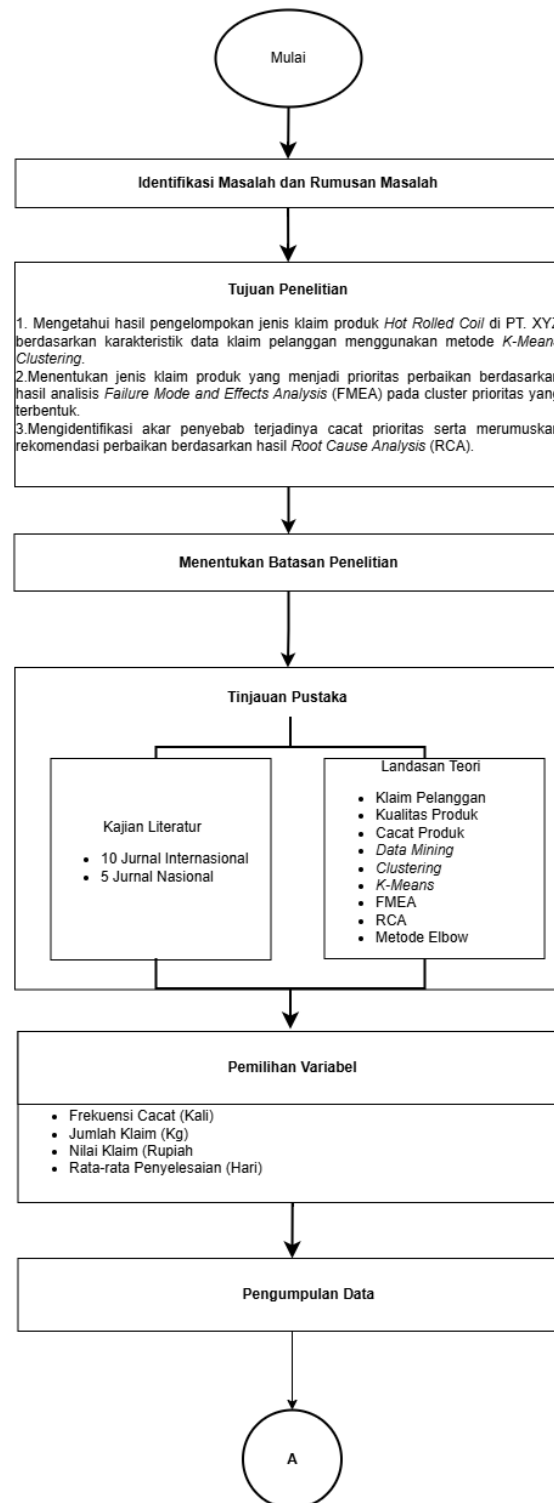
No	Data	Jenis Data	Cara Pengambilan Data	Keterangan
1.	Frekuensi Klaim	Data Sekunder	Rekapan Divisi CTS	Diperoleh dari sistem pencatatan klaim yang masuk

No	Data	Jenis Data	Cara Pengambilan Data	Keterangan
2.	Jumlah Klaim	Data Sekunder	Rekapan Divisi CTS	Diperoleh dari sistem pencatatan klaim yang masuk
3.	Nilai Klaim	Data Sekunder	Rekapan Divisi CTS	Diperoleh dari sistem pencatatan klaim yang masuk
4.	Rata-rata Penyelesaian Klaim	Data Sekunder	Rekapan Divisi CTS	Diperoleh dari sistem pencatatan klaim yang masuk
5.	Penilaian <i>Severity</i> , <i>Occurrence</i> , dan <i>Detection</i> (SOD)	Data Primer	Wawancara dan Kuesioner	Wawancara dengan Manager Divisi CTS untuk penentuan nilai setiap jenis cacat

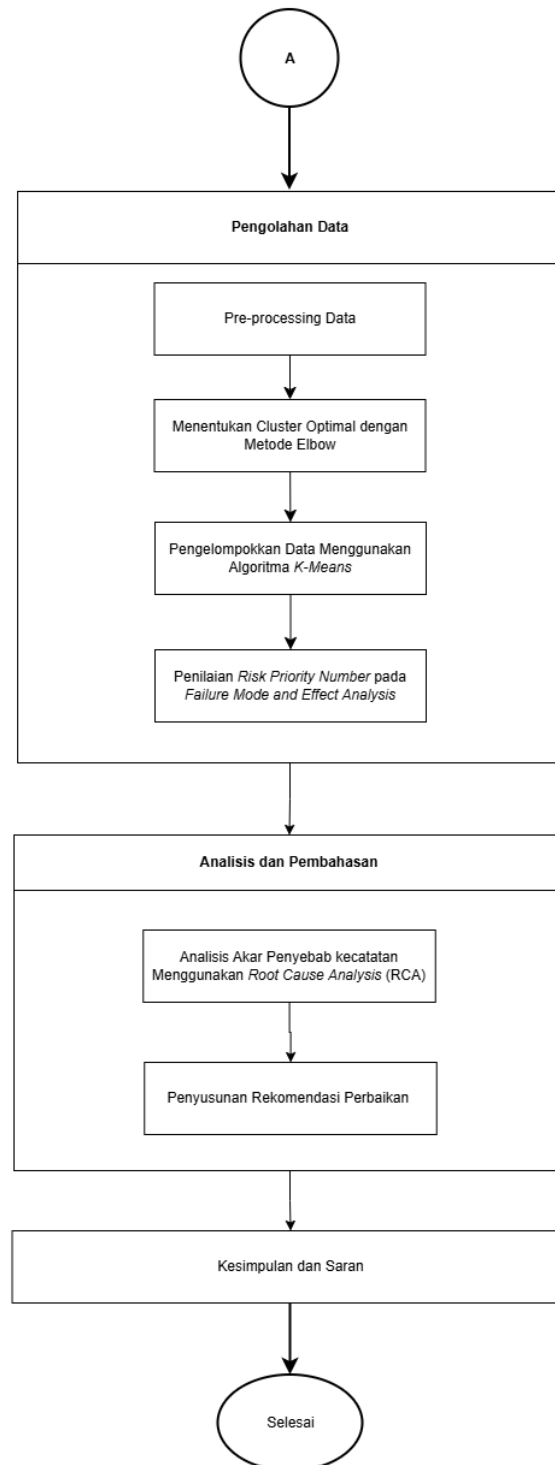
Tabel 3.1 diatas menyajikan jenis data yang digunakan dalam penelitian ini, yang terdiri atas data sekunder dan data primer. Data sekunder meliputi frekuensi klaim, jumlah klaim, nilai klaim, serta rata-rata waktu penyelesaian klaim, yang diperoleh dari rekapitulasi data Divisi CTS melalui sistem pencatatan klaim pelanggan. Data ini digunakan untuk menggambarkan karakteristik klaim secara kuantitatif dan menjadi dasar dalam proses analisis pengelompokan jenis cacat menggunakan metode *K-Means Clustering*. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan data primer berupa penilaian *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* yang diperoleh melalui wawancara dengan Manager Divisi CTS. Data primer tersebut digunakan untuk menentukan tingkat prioritas masing-masing jenis cacat dalam analisis *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA).

3.3 Alur Penelitian

Alur penelitian pada studi ini menggambarkan langkah-langkah sistematis dari identifikasi masalah hingga tahap akhir penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1. dan Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian 1



Gambar 3. 2 Alur Penelitian 2

Berikut adalah penjelasan dari Gambar 3.1 dan Gambar 3.2:

1. Identifikasi Masalah dan Rumusan Masalah

Tahap awal dalam proses penelitian yang bertujuan untuk mengenali permasalahan utama yang sedang dihadapi oleh objek penelitian, yaitu PT. XYZ. Permasalahan utama yang dihadapi oleh PT. XYZ, yaitu belum optimalnya pemanfaatan data klaim pelanggan dalam menentukan prioritas perbaikan cacat produk *Hot Rolled Coil*. Selama ini, data klaim pelanggan hanya digunakan sebagai catatan administratif tanpa dianalisis untuk menggali pola cacat yang dominan. Berdasarkan permasalahan tersebut dapat dirumuskan pertanyaan penelitian terkait pengelompokan jenis klaim, penentuan cacat prioritas, serta identifikasi akar penyebab dan rekomendasi perbaikan.

2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini disusun untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan sebelumnya. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh hasil pengelompokan jenis klaim produk *Hot Rolled Coil* berdasarkan karakteristik data klaim pelanggan menggunakan metode *K-Means Clustering*, penentuan jenis klaim yang menjadi prioritas perbaikan melalui analisis *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), serta identifikasi akar penyebab cacat prioritas dan perumusan rekomendasi perbaikan berdasarkan hasil *Root Cause Analysis* (RCA).

3. Batasan Penelitian

Batasan penelitian ditetapkan untuk memperjelas ruang lingkup dan fokus penelitian pada penelitian ini. Penelitian ini hanya menggunakan data klaim pelanggan terkait jenis klaim produk yang diterima oleh PT. XYZ, tanpa mencakup data klaim internal dari proses inspeksi produksi. Selain itu, data yang dianalisis dibatasi pada periode Januari hingga Desember 2025.

4. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka disusun sebagai dasar teoritis dan akademik penelitian. Pada tahap ini dilakukan kajian terhadap penelitian terdahulu yang relevan, terdiri dari 10 jurnal internasional dan 5 jurnal nasional, yang membahas klaim pelanggan, kualitas produk, cacat produk, *K-Means Clustering*, metode *Elbow*, *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dan *Root Cause Analysis* (RCA). Kajian ini bertujuan untuk memperkuat

landasan teori, memastikan kesesuaian metode yang digunakan, serta menunjukkan posisi penelitian dalam pengembangan keilmuan.

5. Pemilihan Variabel

Pemilihan variabel dilakukan berdasarkan karakteristik data klaim pelanggan yang relevan dengan tujuan penelitian. Variabel yang digunakan meliputi frekuensi klaim, jumlah klaim, nilai klaim, dan rata-rata waktu penyelesaian klaim. Variabel-variabel tersebut dipilih karena mampu merepresentasikan tingkat kemunculan cacat, dampak finansial, serta efisiensi penanganan klaim.

6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan data klaim pelanggan produk *Hot Rolled Coil* yang diperoleh dari perusahaan. Data yang digunakan dibatasi pada periode penelitian Januari - Desember 2025 dan hanya mencakup klaim pelanggan, tanpa memasukkan data klaim internal. Data klaim pelanggan yang didapatkan dari rekapan divisi *Customer Technical Service* sebanyak 3.488 data.

NO. ID. COM	TGL TRM	INTERNAL	LABORANUMEN	MS	PRODNO	MSLUM	KLAIM	TERMIN	TARIP	dianggap	TOLAK	REP	US	Penyelesaian	RESPONS	COL	PROSES	BI	REMARK
1	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	BOX PLATE	4550	0	0	0	4550	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
2	10/01/2025	2400005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	BOX PLATE	4550	0	0	0	4550	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
3	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR02	BOX PLATE	4630	0	0	0	4630	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
4	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	BOX PLATE	4630	0	0	0	4630	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
5	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	BOX PLATE	4640	0	0	0	4640	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
6	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR05	BOX PLATE	4630	0	0	0	4630	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
7	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	BOX PLATE	4640	0	0	0	4640	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
8	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	BOX PLATE	4630	0	0	0	4630	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
9	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	BOX PLATE	4630	0	0	0	4630	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
10	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	BOX PLATE	4640	0	0	0	4640	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
11	10/01/2025	3900005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR05	BOX PLATE	4570	0	0	0	4570	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
12	10/01/2025	1000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	COL BEAM	7400	7400	0	0	7400	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
13	10/01/2025	1000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	COL BEAM	7400	7400	0	0	7400	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
14	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR02	OVER WEIGHT	4500	4500	0	0	4500	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
15	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4500	4500	0	0	4500	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
16	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4700	4700	0	0	4700	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
17	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4600	4600	0	0	4600	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
18	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4700	4700	0	0	4700	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
19	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4700	4700	0	0	4700	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
20	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4700	4700	0	0	4700	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
21	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4700	4700	0	0	4700	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
22	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4700	4700	0	0	4700	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
23	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4600	4600	0	0	4600	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
24	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4700	4700	0	0	4700	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
25	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
26	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
27	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
28	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4840	4840	0	0	4840	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
29	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
30	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
31	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
32	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4700	4700	0	0	4700	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
33	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
34	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
35	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
36	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
37	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
38	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
39	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
40	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR04	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
41	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
42	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4700	4700	0	0	4700	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
43	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
44	10/01/2025	2000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR01	OVER WEIGHT	4800	4800	0	0	4800	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance
45	10/01/2025	1000005	WIKOSIDIPARTIBENTENG BARUSEMESTA PT	SS	ELASR05	UNDER GAGE	4600	0	0	0	4600	0	0	0	0	0	0	0	On Tolerance

Gambar 3. 3 Rekapan Data Klaim Pelanggan 1

$$WCSS = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in \mathcal{C}_k} \|x_i - \mu_k\|^2 \quad (2.1)$$

C_k = Kelompok data (*Cluster*) ke-k

$$\mu_k = \text{Centroid atau rata-rata dari seluruh titik data di Cluster ke-} k$$

Setelah jumlah *Cluster* ditentukan, data dikelompokkan menggunakan algoritma *Means Clustering*. Hasil *Clustering* prioritas kemudian digunakan sebagai dasar untuk melakukan penilaian *Risk Priority Number* (RPN) pada metode FMEA, FMEA pada penelitian ini digunakan bukan untuk menilai risiko keselamatan, tetapi sebagai penentuan prioritas jenis cacat produk. Berikut adalah rumus perhitungan RPN:

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \quad (2.2)$$

[illegible]

8. Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dilakukan secara bertahap sesuai alur metode penelitian. Pertama, dilakukan analisis hasil *Clustering* untuk menginterpretasikan karakteristik setiap *Cluster* yang terbentuk. Kedua, dilakukan analisis hasil FMEA dengan meninjau nilai RPN guna menentukan prioritas jenis cacat. Selanjutnya, jenis cacat prioritas dianalisis lebih lanjut menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA) untuk mengidentifikasi akar penyebab terjadinya cacat. Berdasarkan hasil RCA, disusun rekomendasi perbaikan.

9. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, serta secara langsung menjawab tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Kesimpulan mencakup hasil pengelompokan jenis klaim produk berdasarkan karakteristik data klaim, penentuan jenis cacat yang menjadi prioritas perbaikan, serta identifikasi akar penyebab terjadinya cacat prioritas. Selanjutnya, saran diberikan kepada perusahaan sebagai rekomendasi perbaikan kualitas yang diusulkan, serta kepada peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penelitian dengan menambahkan variabel, metode, atau cakupan data yang lebih luas.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Data Selection

Penelitian ini menggunakan data klaim pelanggan yang diperoleh langsung dari hasil rekapan Divisi *Customer Technical Service* (CTS) PT. XYZ. Data mentah yang diperoleh berupa data klaim pelanggan yang masih bersifat rinci dan belum terstruktur. Data tersebut mencakup informasi pelanggan, jenis klaim, jumlah klaim, nilai klaim, status penanganan, serta waktu penyelesaian klaim. Oleh karena itu, pada tahap seleksi data, seluruh data klaim yang masuk dikelompokkan berdasarkan masing-masing jenis klaim. Proses pengelompokan ini bertujuan untuk mengetahui frekuensi kemunculan setiap jenis klaim, total jumlah klaim, nilai kerugian yang ditimbulkan, serta rata-rata waktu penyelesaian klaim. Hasil dari proses ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis lanjutan untuk mengidentifikasi pola klaim dan menentukan prioritas perbaikan kualitas produk. Namun, tidak seluruh data yang diperoleh digunakan dalam proses analisis. Data yang tidak relevan terhadap tujuan *clustering* dikeluarkan dari analisis. Seleksi dan pembersihan data dilakukan secara manual menggunakan *Microsoft Excel*, selanjutnya data yang telah bersih diolah menggunakan *software* SPSS dengan metode *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan jenis klaim berdasarkan kemiripan karakteristiknya.

4.2 K-Means Clustering

Metode *K-Means Clustering* digunakan untuk mengelompokkan jenis klaim pelanggan berdasarkan kesamaan karakteristik data. Hasil pengelompokan ini digunakan untuk mengetahui kelompok cacat yang memiliki tingkat prioritas awal berdasarkan pola jumlah klaim, nilai klaim, nilai kerugian, dan waktu penyelesaian.

4.2.1 Pre-processing Data

Pre-processing data adalah tahap awal dalam analisis data yang bertujuan untuk mempersiapkan data mentah agar siap digunakan dalam proses pemodelan. Data yang dikumpulkan dari kuesioner atau sumber lain sering kali belum dalam kondisi ideal

karena bisa mengandung data kosong, data ganda, kesalahan input, atau format yang tidak konsisten. Pada penelitian ini *Pre-Processing data* mencakup tahapan *cleaning data* dan *transformasi data*.

4.2.1.1 Cleaning Data

Cleaning data digunakan untuk membersihkan data dari duplikasi, kesalahan penulisan, data kosong, dan *outlier*. Proses ini mencakup penyeragaman format dan penghapusan data yang tidak relevan, sehingga data menjadi lebih konsisten dan siap digunakan untuk analisis *Clustering*. Hasil dari *cleaning data* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 *Cleaning Data*

Jenis Klaim	Klaim	Diterima	Rph	Rata-rata Penyelesaian (Hari)
<i>Over Weight</i>	4630	4630	1319550	7
<i>Over Weight</i>	4430	4430	1262550	7
<i>Over Weight</i>	4870	4870	1387950	7
<i>Over Weight</i>	4910	4910	1399350	7
<i>Excessive Scale - Mripik</i>	1420	1420	468600	11
<i>Excessive Scale - Mripik</i>	2470	2470	815100	11
<i>Over Weight</i>	4930	4930	1405050	6
<i>Over Weight</i>	4900	4900	1396500	6
<i>Over Weight</i>	4870	4870	1387950	6
<i>Under Gage</i>	2780	0		7
<i>Under Gage</i>	4460	0		7
<i>Over Weight</i>	4840	4840	1379400	6
<i>Over Weight</i>	4220	4220	1202700	6
<i>Over Weight</i>	4210	4210	1199850	6
<i>Excessive Scale - Mripik</i>	2470	2470	815100	11

Jenis Klaim	Klaim	Diterima	Rph	Rata-rata Penyelesaian (Hari)
<i>Excessive Scale - Mripik</i>	2820	2820	930600	11
<i>Excessive Scale - Mripik</i>	2830	2830	933900	11
<i>Excessive Scale - Mripik</i>	2830	2830	933900	11
<i>Excessive Scale - Mripik</i>	2830	2830	933900	11
<i>Over Weight</i>	4870	4870	1387950	6
<i>Over Weight</i>	4860	4860	1385100	6
<i>Under Gage</i>	4480	0		7
<i>Over Weight</i>	4900	4900	1396500	6
<i>Over Weight</i>	4800	4800	1368000	7
<i>Over Weight</i>	4790	4790	1365150	7
<i>Over Weight</i>	4630	4630	1319550	7
<i>Over Weight</i>	4430	4430	1262550	7
<i>Over Weight</i>	4870	4870	1387950	7
<i>Over Weight</i>	4910	4910	1399350	7
<i>Excessive Scale - Mripik</i>	1420	1420	468600	11
<i>Excessive Scale - Mripik</i>	2470	2470	815100	11
.....				..

Berdasarkan Tabel 4.1, ditemukan adanya nilai 0 pada kolom “Diterima” untuk jenis klaim *Under Gage*. Hal ini menunjukkan bahwa klaim pelanggan ditolak karena tidak ditemukan kesalahan pada produk, sehingga data tersebut tidak diperlukan dalam analisis karena tidak termasuk klaim yang menjadi tanggung jawab perusahaan.

4.2.1.2 Transformasi Data

Transformasi data merupakan tahap *pre-processing* data yang bertujuan untuk mengubah data ke dalam format atau skala yang sesuai agar dapat digunakan dalam proses analisis,

khususnya *clustering*. Pada penelitian ini, transformasi dilakukan dengan mengubah data numerik menjadi data kategorikal melalui proses *discretization*. Sulaiman dan Abu Bakar (2017) menjelaskan bahwa *discretization* merupakan proses pembagian domain atribut ke dalam beberapa interval dan penyatuan nilai-nilai pada setiap interval. Salah satu metode *discretization* yang dapat digunakan dalam proses *data mining* adalah *Equal Frequency Binning*, yaitu metode yang membagi data ke dalam beberapa interval dengan jumlah data yang relatif seimbang pada setiap kategori. Dalam penelitian ini, jumlah kelas pada proses transformasi ditentukan menggunakan aturan *Sturges*. Berdasarkan hasil perhitungan aturan *Sturges*, diperoleh enam kelas yang digunakan sebagai kategori transformasi. Setelah jumlah kelas ditentukan, batas interval setiap kelas ditentukan menggunakan metode *Equal Frequency Binning*, yaitu dengan mengurutkan data numerik dari nilai terkecil hingga terbesar, kemudian membaginya ke dalam enam kelompok sesuai dengan jumlah kelas yang telah ditentukan sebelumnya. Pembagian kelompok dilakukan berdasarkan nilai persentil data, sehingga setiap kelas memiliki jumlah data yang relatif seimbang. Selanjutnya, setiap kelompok diberi kode kategori 1 sampai 6, dengan kode 1 menunjukkan kategori terendah dan kode 6 menunjukkan kategori tertinggi (Sulaiman & Bakar, 2017). Aturan transformasi data dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Aturan Transformasi

ATURAN TRANSFORMASI		
Frekuensi Cacat (Kali)	1	≤ 1 Kali
	2	2 – 4 Kali
	3	5 – 8 Kali
	4	9 – 16 Kali
	5	17 – 90 Kali
	6	> 90 Kali
Jumlah Klaim (Kg)	1	≤ 5.320 Kg
	2	5.321 Kg – 18.040 Kg

ATURAN TRANSFORMASI		
	3	18.041 Kg – 46.817 Kg
	4	46.818 Kg – 142.286 Kg
	5	142.287 Kg – 436.254 Kg
	6	> 436.254 Kg
	1	≤ Rp 4.953.383
	2	Rp 4.953.384 – Rp 10.000.000
Nilai Kaim (Rupiah)	3	Rp 10.000.001 – Rp 32.174.000
	4	Rp 32.174.001 – Rp 107.378.200
	5	Rp 107.378.201 – Rp 271.632.233
	6	> Rp 271.632.233
	1	≤ 11 hari
	2	12 – 16 hari
Rata-rata Penyelesaian (Hari)	3	17 – 19 hari
	4	20 – 22 hari
	5	23 – 31 hari
	6	> 31 hari

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat variabel frekuensi cacat diklasifikasikan menjadi enam kategori, yaitu kurang sama dari 1 kali (kode 1), 2 – 4 Kali (kode 2), 5 – 8 kali (kode 3), 9 – 16 kali (kode 4), 17 – 90 kali (kode 5), dan lebih dari 90 kali (kode 6), dengan tujuan untuk menggambarkan tingkat intensitas terjadinya cacat pada proses produksi. Variabel jumlah klaim dibagi menjadi enam kategori, yakni kurang sama dari 5.320 Kg (kode 1), 5.321 Kg – 18.040 Kg (kode 2), 18.041 Kg – 46.817 kg (kode 3), 46.818 Kg – 142.286 Kg (kode 4), 142.287 Kg – 436.254 Kg (kode 5), dan lebih dari 436.254 Kg (kode 6), guna menunjukkan besarnya volume produk yang diklaim pelanggan.

Selanjutnya, variabel nilai klaim dikelompokkan menjadi enam kategori, yaitu kurang sama dari Rp 4.953.383 (kode 1), Rp 4.953.384 – Rp 10.000.000 (kode 2), Rp

10.000.001 – Rp 32.174.000 (kode 3), Rp 32.174.001 – Rp 107.378.200 (kode 4), Rp 107.378.201 – Rp 271.632.233 (kode 5), dan lebih dari Rp 271.632.233 (kode 6), yang mencerminkan besarnya nilai kerugian akibat klaim pelanggan. Sementara itu, variabel penyelesaian klaim dikategorikan menjadi enam kategori, yaitu kurang sama dari 11 hari (kode 1), 12 – 16 hari (kode 2), 17 – 19 hari (kode 3), 20 – 22 hari (kode 4), 23 – 31 hari (kode 5), dan lebih dari 31 hari (kode 6), untuk menunjukkan kecepatan penyelesaian klaim yang dilakukan perusahaan.

Transformasi ini bertujuan untuk mempermudah proses pengolahan data dalam analisis *K-Means Clustering*, sehingga setiap variabel dapat dikelompokkan berdasarkan karakteristik yang serupa. Transformasi data klaim pelanggan PT. XYZ dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Transformasi

No	Jenis Klaim	Frekuensi	Klaim Diterima	Nilai Klaim	Rata2 Penyelesaian
1	<i>Abrasion Gouge</i>	4	5	5	6
2	<i>Administration</i>	1	3	2	5
3	<i>Bow Plate</i>	2	3	3	4
4	<i>Camber</i>	1	1	1	1
5	<i>Carry Over</i>	5	5	4	1
6	<i>Center Buckle</i>	2	2	2	6
7	<i>Coil Break</i>	5	5	5	6
8	<i>Damage Edge</i>	4	2	1	2
9	<i>Dents</i>	4	4	4	2
10	<i>Edge Crack</i>	3	4	5	1
11	<i>Excessive Scale - Mripik</i>	5	6	6	1
12	<i>Hole</i>	1	1	2	4
13	<i>Inclusion</i>	2	2	2	1
14	<i>Laminasi</i>	2	3	3	5
15	<i>Over Length</i>	1	1	1	6
16	<i>Pick Up</i>	5	6	5	3
17	<i>Protruding Coil</i>	3	4	3	3
18	<i>Red Scale</i>	2	3	4	3
19	<i>Ripple Edge</i>	5	4	4	5
20	<i>Rolled In Scale</i>	4	5	4	3
21	<i>Rusty</i>	4	2	2	6

No	Jenis Klaim	Frekuensi	Klaim Diterima	Nilai Klaim	Rata2 Penyelesaian
22	<i>Scracth</i>	6	6	6	5
23	<i>Under Gage</i>	6	6	5	2
24	<i>Under Length</i>	6	5	6	4
25	<i>Under Weight</i>	6	4	6	2
26	<i>Under Width</i>	3	3	3	2
27	<i>Variation Width</i>	1	1	1	4
28	<i>Wavy Edge</i>	6	6	6	5
29	<i>Folded Wrap</i>	2	2	3	3
30	<i>Over Gage</i>	1	1	1	2

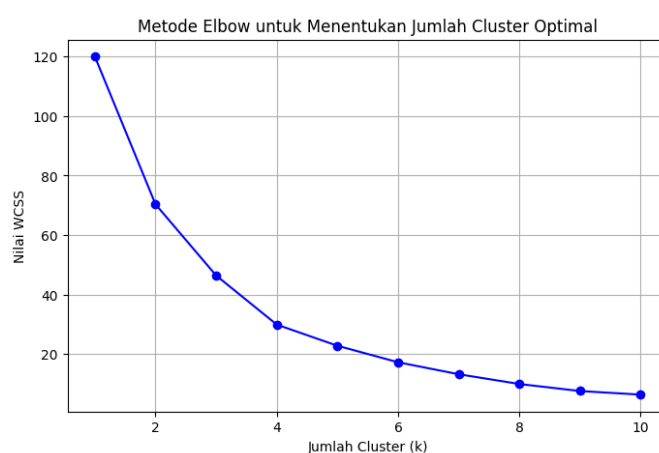
4.2.2 Metode *Elbow*

Metode *Elbow* adalah sebuah teknik untuk menilai kualitas hasil *Clustering* dengan mencoba berbagai nilai K. Pada metode ini dibuat grafik yang menunjukkan total variasi dalam *Cluster* (*inertia*) untuk setiap jumlah *Cluster*. Titik siku (*Elbow*) pada grafik tersebut menjadi acuan untuk memilih jumlah *Cluster* yang paling tepat, yaitu ketika penurunan *inertia* mulai melandai dan tambahan *Cluster* tidak lagi memberikan peningkatan signifikan (Rajsya et al., 2024) Berikut Tabel 4.4 merupakan hasil perhitungan metode *Elbow* untuk mencari *Cluster* paling optimal yang dilakukan pada *Google Colaboration*:

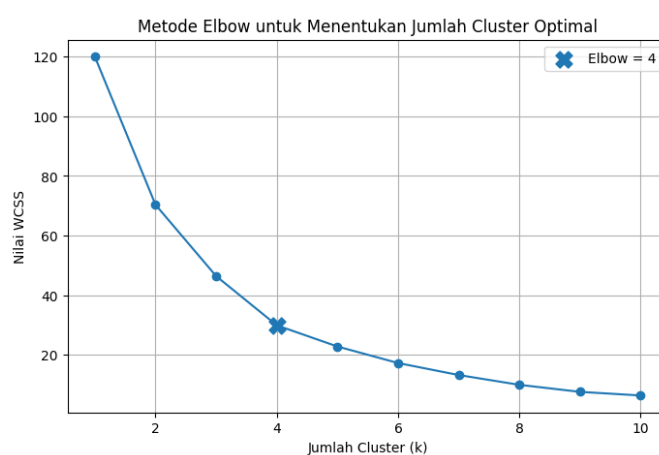
Tabel 4. 4 Metode *Elbow*

<i>Cluster</i>	WCSS	Selisih WCSS
2	70.325146	49.674854
3	46.387708	23.937438
4	29.878471	16.509237
5	22.772430	7.106041
6	17.222893	5.549537
7	13.199908	4.022985
8	9.917029	3.282879
9	7.553881	2.363148
10	6.341587	1.212294

Pada tabel 4.4 perhitungan *Within-Cluster Sum of Squares* (WCSS) untuk *Cluster* 2 hingga 10, terlihat bahwa penurunan WCSS terbesar terjadi pada peralihan *Cluster* 2 ke 3 dan *Cluster* 3 ke 4, yaitu sebesar 49.674854 dan 23.937438. Setelah jumlah *Cluster* melewati empat, penurunan WCSS menjadi semakin kecil dan cenderung stabil. Pola ini menunjukkan bahwa titik “siku” pada metode *Elbow* berada pada *Cluster* 4, karena setelah titik tersebut penurunan WCSS tidak lagi signifikan. Berikut Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 merupakan grafik metode *Elbow* yang telah dilakukan pada *Google Colaboration*:



Gambar 4. 1 Grafik metode *elbow* 1



Gambar 4. 2 Grafik metode *elbow* 2

Berdasarkan Gambar 4.1 dan Gambar 4.2, grafik metode *Elbow* yang dihasilkan melalui *Google Colaboration* menunjukkan bahwa jumlah *Cluster* yang tepat adalah 4.

Hal ini terlihat dari penurunan nilai WCSS yang cukup signifikan hingga *Cluster* ke-4, sedangkan setelah itu penurunannya semakin kecil dan cenderung stabil. Selisih nilai WCSS dari *Cluster* 3 ke 4 masih menunjukkan perubahan yang berarti dibandingkan selisih pada *Cluster-Cluster* berikutnya. Oleh karena itu, *Cluster* optimal ditetapkan pada $k = 4$ sehingga hasil pengelompokan dapat digunakan pada tahap *Clustering* selanjutnya. Pemanfaatan *Google Collaboration* sebagai *tools* dalam metode *Elbow* juga memudahkan proses analisis karena dapat diakses langsung melalui *browser* tanpa perlu instalasi tambahan, sehingga proses pengolahan data menjadi lebih cepat dan efisien. Nilai minimum dari masing-masing variabel menunjukkan batas terendah karakteristik data pada setiap dimensi yang dianalisis, yang menggambarkan adanya perbedaan tingkat kemunculan dan variasi antar data dalam setiap *Cluster*.

4.2.3 Analisis K-Means Clustering

4.2.3.1 Analisis Deskriptif

Berikut Tabel 4.5 merupakan *output Descriptive Statistics* yang diperoleh dari pengolahan data dengan *software SPSS*:

Tabel 4. 5 *Descriptive Statistics*

<i>Descriptive Statistics</i>					
	N	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. Deviation</i>
Frekuensi_Klaim	30	1.00	6.00	3.4000	1.81184
Klaim_Diterima	30	1.00	6.00	3.5000	1.73702
Nilai_Klaim	30	1.00	6.00	3.5000	1.73702
Rata_Rata_Penyelesaian	30	1.00	6.00	3.4333	1.75545
Valid N (<i>listwise</i>)	30				

Berdasarkan Tabel 4.5, terdapat 4 variabel yang meliputi Frekuensi Klaim, Klaim Diterima, Nilai Klaim, dan Rata-Rata Penyelesaian. Variabel-variabel tersebut menjadi dasar dalam proses pengelompokan, yang kemudian dianalisis menggunakan jumlah data, nilai minimum, maksimum, *mean*, dan standar deviasi.

Deskriptif Statistik merupakan rangkuman data yang telah diinput pada *software SPSS*. Nilai N pada setiap variabel menunjukkan jumlah data yang digunakan setelah

melalui proses *cleaning*, sehingga diperoleh total N sebanyak 30. Pada variabel frekuensi klaim, nilai minimum 1 menunjukkan bahwa frekuensi klaim berada pada kategori “Kurang sama dari 1 kali”; begitu pula pada variabel lainnya mengikuti kategori terendah sesuai aturan yang digunakan. Nilai maksimum pada variabel menunjukkan kategori tertinggi berdasarkan aturan transformasi, di mana nilai maksimum 5 pada frekuensi klaim menunjukkan kategori “lebih besar dari 90 kali”, dan untuk variabel lainnya mengacu pada kategori tertinggi masing-masing. *Mean* merupakan nilai rata-rata pada variabel tersebut yang diperoleh dari data yang telah ditransformasikan, di mana *mean* variabel frekuensi klaim adalah 3.4000, begitu juga *mean* pada variabel lainnya yaitu 3.5000 untuk klaim diterima, 3.5000 untuk nilai klaim, dan 3.4333 untuk rata-rata penyelesaian. Standar deviasi merupakan nilai yang digunakan dalam statistik untuk melihat sebaran data terhadap nilai rata-ratanya, sehingga standar deviasi pada masing-masing variabel menunjukkan tingkat variasi data, misalnya pada variabel frekuensi klaim sebesar 1.81184.

4.2.3.2 Initial Cluster Centers

Initial Cluster Center merupakan titik awal yang digunakan dalam proses *Clustering* sebelum iterasi dimulai, sekaligus menunjukkan posisi awal dari pusat *Cluster* sebelum data benar-benar dikelompokkan secara lebih terstruktur. Berikut Tabel 4.6 merupakan output *Initial Cluster Centers* yang diperoleh dari pengolahan data dengan *software SPSS*:

Tabel 4. 6 *Initial Cluster Centers*

	<i>Initial Cluster Centers</i>			
	<i>Cluster</i>			
	1	2	3	4
Zscore(Frekuensi_Klaim)	1.43501	-.77270	-.22077	-1.32462
Zscore(Klaim_Diterima)	1.43925	-.86355	.28785	-1.43925
Zscore(Nilai_Klaim)	1.43925	-.86355	.86355	-1.43925
Zscore(Rata-Rata_Penyelesaian)	.89246	1.46211	-1.38616	-1.38616

Tabel 4.6 merupakan hasil dari tahapan awal proses *Clustering* yang dilakukan sebelum memasuki tahap iterasi. Tabel tersebut menampilkan gambaran awal pengelompokan data

pada masing-masing *Cluster* serta memberikan informasi mengenai distribusi awal data pada tiap kelompok. Pada proses ini ditetapkan jumlah *Cluster* sebanyak 4 sesuai hasil penentuan melalui metode *elbow*.

Berikut merupakan pedoman pembacaan dalam melakukan penafsiran tabel awal tersebut. Jika nilai Zscore bernilai negatif, maka *Cluster* tersebut berada di bawah rata-rata total, sedangkan nilai Zscore positif menunjukkan bahwa *Cluster* berada di atas rata-rata total (Yulianti & Sugandha, 2021). Pada variabel frekuensi klaim, *cluster* 1 memiliki nilai Z-score 1,43501 yang berarti berada di atas rata-rata, sedangkan *cluster* 2 sebesar -0,77270, *cluster* 3 sebesar -0,22077, dan *cluster* 4 bernilai -1,32462 yang menunjukkan berada di bawah rata-rata. Pada variabel klaim diterima, didapatkan *cluster* 1 sebesar 1,43925 dan *cluster* 3 sebesar 0,28785 yang artinya berada di atas rata-rata, sementara *cluster* 2 dan *cluster* 4 memiliki nilai masing-masing sebesar -0,86355 dan -1,43925 yang berada di bawah rata-rata. Pada variabel nilai klaim, *cluster* 1 dan *cluster* 3 memiliki nilai masing-masing sebesar 1,43925 dan 0,86355 yang berarti berada di atas rata-rata, sedangkan *cluster* 2 sebesar -0,86355 dan *cluster* 4 sebesar -1,43925 berada di bawah rata-rata. Selanjutnya pada variabel rata-rata penyelesaian *cluster* 1 dan *cluster* 2 memiliki masing-masing nilai 0,89246 dan 1,4621 yang menunjukkan berada di atas rata-rata, sedangkan *cluster* 3 dan *cluster* 4 memiliki nilai yang sama sebesar -1,38616 yang menunjukkan berada di bawah rata-rata. Secara umum, tabel ini memberikan gambaran awal karakteristik masing-masing *cluster* sebelum proses iterasi dilakukan hingga mencapai hasil pengelompokan yang stabil.

4.2.3.3 Output Iteration History

Output Iteration History adalah hasil dari proses iterasi pada metode *K-Means* yang menunjukkan perubahan pusat *cluster* (*centroid*) pada setiap iterasi sampai mencapai kondisi stabil (konvergen). Berikut Tabel 4.7 merupakan *output Iteration History* yang diperoleh dari pengolahan data dengan *software SPSS*:

Tabel 4. 7 *Iteration History*

<i>Iteration History^a</i>				
<i>Cluster</i>				
<i>Change in Cluster Centers</i>				
<i>Iteration</i>	1	2	3	4
1	.718	.710	.854	.700
2	.000	.000	.000	.000
a. <i>Convergence achieved due to no or small change in Cluster centers. The maximum absolute coordinte change for any center is .000. The current iteration is 2. The minimum distance between initial centers is 3,013</i>				

Berdasarkan Tabel 4.7, proses iterasi pada tahap *clustering* berlangsung sebanyak 2 kali hingga mencapai kondisi konvergensi. Pada iterasi pertama terlihat bahwa pusat *cluster* masih mengalami perubahan koordinat, yaitu sebesar 0,718 pada *Cluster* 1, 0,710 pada *Cluster* 2, 0,854 pada *Cluster* 3, dan 0,700 pada *Cluster* 4. Pada iterasi ke-2 seluruh nilai perubahan koordinat pada setiap *cluster* telah mencapai 0,000, yang menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan lagi pada pusat *cluster*. Kondisi tersebut menandakan bahwa proses *clustering* telah mencapai konvergensi, yaitu keadaan ketika perubahan pusat *cluster* antar iterasi sudah sangat kecil atau tidak lagi terjadi sehingga proses iterasi dihentikan. Keterangan pada tabel juga menunjukkan bahwa iterasi berhenti pada iterasi ke-2 karena perubahan maksimum koordinat untuk setiap pusat *cluster* adalah 0,000, serta nilai 3,013 menunjukkan jarak minimum antara pusat *cluster* awal sebelum proses *clustering* dilakukan.

4.2.3.4 Final Cluster Centers

Final Cluster Center merupakan hasil akhir dari analisis non-hierarki menggunakan metode *K-Means*. Berikut Tabel 4.8 merupakan *output Final Custer Centers* yang diperoleh dari pengolahan data dengan *software SPSS*:

Tabel 4. 8 *Final Cluster Centers*

	<i>Final Cluster Centers</i>			
	<i>Cluster</i>			
	1	2	3	4
Zscore(Frekuensi_Klaim)	1.09005	-.89535	.26983	-.77270
Zscore(Klaim_Diterima)	1.07943	-.86355	.41578	-1.15140
Zscore(Nilai_Klaim)	1.00747	-.79958	.47975	-1.29532
Zscore(Rata-Rata_Penyelesaian)	.60763	.76587	-.81650	-1.10133

Tabel 4.8 menunjukkan pusat-pusat *Cluster* yang terbentuk setelah proses iterasi selesai dilakukan. Perbedaan antara *Initial Cluster Centers* dan *Final Cluster Centers* terletak pada fungsinya, di mana *Initial Cluster Center* merupakan titik awal yang digunakan dalam proses *Clustering* sebelum iterasi dimulai, sehingga menggambarkan posisi awal pusat *Cluster* sebelum data benar-benar dikelompokkan secara lebih terstruktur. Sementara itu, *Final Cluster Centers* merupakan hasil akhir setelah proses *Clustering* selesai, yang menunjukkan posisi pusat *Cluster* final setelah seluruh iterasi dilakukan.

Berdasarkan output yang dihasilkan oleh *software* SPSS, berikut merupakan penjelasan *Final Cluster Center*:

1. *Cluster 1*

Pada *cluster 1*, seluruh variabel memiliki nilai Z-score positif, yaitu frekuensi klaim sebesar 1,09005, klaim diterima sebesar 1,07943, nilai klaim sebesar 1,00747, dan rata-rata penyelesaian sebesar 0,60763. Hal ini menunjukkan bahwa *cluster 1* memiliki frekuensi klaim, jumlah klaim diterima, nilai klaim, dan waktu penyelesaian di atas rata-rata. Dengan demikian, *cluster 1* merupakan kelompok klaim dengan tingkat permasalahan paling tinggi dan menjadi prioritas utama untuk perbaikan.

2. *Cluster 2*

Pada *cluster 2*, frekuensi klaim, klaim diterima, dan nilai klaim memiliki Z-score negatif, yaitu masing-masing -0,89535, -0,86355, dan -0,79958. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga variabel tersebut berada di bawah rata-rata. Namun, rata-

rata penyelesaian memiliki Z-score positif sebesar 0,76587, sehingga waktu penyelesaian berada di atas rata-rata. Dengan demikian, *cluster* 2 merupakan kelompok klaim dengan tingkat klaim rendah, tetapi waktu penyelesaian relatif lama, sehingga perbaikan perlu difokuskan pada efisiensi proses penyelesaian klaim.

3. *Cluster* 3

Pada *cluster* 3, frekuensi klaim, klaim diterima, dan nilai klaim memiliki Z-score positif, yaitu masing-masing 0,26983, 0,41578, dan 0,47975. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga variabel tersebut berada di atas rata-rata. Sementara itu, rata-rata penyelesaian memiliki Z-score negatif sebesar -0,81650, sehingga waktu penyelesaian berada di bawah rata-rata. Dengan demikian, *cluster* 3 merupakan kelompok klaim dengan tingkat klaim cukup tinggi, tetapi proses penyelesaiannya relatif cepat.

4. *Cluster* 4

Pada *cluster* 4, seluruh variabel memiliki Z-score negatif, yaitu frekuensi klaim sebesar -0,77270, klaim diterima sebesar -1,15140, nilai klaim sebesar -1,29532, dan rata-rata penyelesaian sebesar -1,10133. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi klaim, jumlah klaim diterima, nilai klaim, dan waktu penyelesaian berada di bawah rata-rata. Dengan demikian, *cluster* 4 merupakan kelompok klaim dengan tingkat klaim rendah dan penyelesaian cepat, sehingga dapat dikategorikan sebagai *cluster* dengan kondisi paling baik atau risiko paling rendah.

4.2.3.5 *Number of Cases in each Cluster*

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software SPSS* yang sudah dilakukan, sehingga didapatkan hasil pembagian jenis klaim ke dalam kelompok *cluster* sesuai dengan karakteristik jenis cacat yang dimiliki seperti Tabel 4.9 dibawah ini:

Tabel 4. 9 *Number of Cases in each Cluster*

<i>Number of Cases in each Cluster</i>		
<i>Cluster</i>	1	8.000
	2	9.000
	3	9.000

<i>Number of Cases in each Cluster</i>	
	4
Valid	4.000
Missing	30.000
	.000

Tabel 4.9 Merupakan hasil *software SPSS* jumlah anggota setiap *Cluster* menggunakan metode *K-Means* dengan membagi banyak data ke dalam 4 *Cluster*. Pada *Cluster* pertama terdapat sebanyak 8 jenis klaim, pada *Cluster* 2 terdapat sebanyak 9 jenis klaim, sedangkan untuk *Cluster* 3 terdapat sebanyak 9 jenis klaim, dan *Cluster* 4 terdapat sebanyak 4 jenis klaim dengan total klaim cacat keseluruhan sebanyak 30.

4.2.3.6 Pengelompokan Jenis Klaim pada Setiap *Cluster*

Dalam proses pengelompokan jenis cacat, hasil analisis menggunakan *SPSS* menunjukkan bahwa data terbagi ke dalam 4 *Cluster*. Pembagian jenis klaim ke dalam masing-masing *Cluster* tersebut dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Pengelompokan Jenis Klaim

<i>Cluster 1</i>		<i>Cluster 2</i>		<i>Cluster 3</i>		<i>Cluster 4</i>	
No	Jenis Klaim	No	Jenis Klaim	No	Jenis Klaim	No	Jenis Klaim
1.	Abrasion	1.	Administration	1.	Carry Over	1.	Camber
	Gouge						
2.	Coil Break	2.	Bow Plate	2.	Dents	2.	Damage Edge
3.	Pick Up	3.	Center Buckle	3.	Edge Crack	3.	Inclusion
4.	Ripple Edge	4.	Hole	4.	Excessive Scale - Mripik	4.	Over Gage
5.	Scratch	5.	Laminasi	5.	Protruding Coil		
6.	Under Gage	6.	Over Length	6.	Red Scale		
7.	Under Lenght	7.	Rusty	7.	Rolled In Scale		

<i>Cluster 1</i>		<i>Cluster 2</i>		<i>Cluster 3</i>		<i>Cluster 4</i>	
No	Jenis Klaim	No	Jenis Klaim	No	Jenis Klaim	No	Jenis Klaim
8.	<i>Wavy Edge</i>	8.	<i>Variation Widht</i>	8.	<i>Under Weight</i>		
		9.	<i>Folded Wrap</i>	9.	<i>Under Widht</i>		

4.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan berupa cacat produk yang terjadi pada proses produksi di PT. XYZ. Analisis FMEA dilakukan dengan menilai tiga faktor utama, yaitu tingkat keparahan dampak (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi terhadap cacat (*detection*). Penilaian terhadap ketiga faktor tersebut dilakukan oleh *expert* yang memahami proses produksi dan pengendalian kualitas di perusahaan. Profil *expert* yang terlibat dalam pengisian dan penilaian FMEA pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Profil *Expert*

Nama	:	Handrio Ernawan, S.T.,M.M.
Instansi	:	PT. XYZ
Jabatan	:	Manager <i>Customer Technical Service</i>
Lama Masa Kerja	:	17 Tahun, 10 Bulan

4.3.1 Perhitungan Risk Priority Number (RPN)

Pada metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), penentuan prioritas cacat dilakukan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN diperoleh dari hasil perkalian tiga faktor utama, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). *Severity* menunjukkan tingkat keparahan dampak cacat, *Occurrence* menunjukkan tingkat kemungkinan terjadinya cacat, sedangkan *Detection* menunjukkan kemampuan proses dalam mendeteksi cacat sebelum sampai kepada pelanggan. Adapun hasil perhitungan RPN pada masing-masing jenis cacat disajikan pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4. 12 Perhitungan Risk Priority Number

No	Jenis Cacat	Dampak Cacat	Penyebab Cacat	S	O	D	RPN	Ranking
1.	<i>Abrasion Gouge</i>	Menurunkan kualitas permukaan produk	Ikatan <i>coil</i> yang tidak longgar menyebabkan masuknya <i>scale</i> , debu, dan kotoran yang bergesekan dengan permukaan <i>strip</i> saat proses <i>uncoiling</i> .	3	4	4	48	4
2.	<i>Coil Break</i>	Menyebabkan ketidaksesuaian kualitas material	Parameter produksi yang tidak sesuai menyebabkan penyebaran <i>mechanical properties</i> yang tidak merata.	6	5	5	150	1
3.	<i>Pick Up</i>	Menimbulkan coakan pada permukaan produk	Benda asing yang menempel pada <i>work roll</i> menyebabkan coakan pada	3	2	4	24	6

No	Jenis Cacat	Dampak Cacat	Penyebab Cacat	S	O	D	RPN	Ranking
			permukaan <i>strip</i> .					
4.	<i>Ripple Edge</i>	Menyebabkan bentuk tepi produk tidak sesuai spesifikasi	Parameter <i>bending work roll</i> HSM/HSPM maupun <i>leveler shearing line</i> yang tidak sesuai.	6	3	4	72	3
5.	<i>Scratch</i>	Menurunkan kualitas visual permukaan produk	Cacat pada <i>work roll</i> melukai permukaan <i>strip</i> saat proses <i>rolling</i> .	3	2	4	24	7
6.	<i>Under Gage</i>	Ketebalan produk tidak sesuai spesifikasi	Kesalahan input program reduksi <i>rolling</i> di <i>Finishing Mill</i> HSM.	3	7	2	42	5
7.	<i>Under Lenght</i>	Panjang plat tidak sesuai dengan spesifikasi pesanan	Sistem otomasi <i>shearing line</i> bermasalah sehingga menghasilkan plat dengan	3	8	1	24	8

No	Jenis Cacat	Dampak Cacat	Penyebab Cacat	S	O	D	RPN	Ranking
8.	<i>Wavy Edge</i>	Bentuk produk bergelombang dan tidak sesuai standar kualitas	panjang yang tidak konsisten. Parameter <i>bending work roll</i> HSM/HSPM maupun <i>leveler shearing line</i> yang tidak sesuai.	6	5	4	120	2

Berdasarkan hasil perhitungan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) pada Tabel 4.12, jenis cacat yang dipilih sebagai cacat utama adalah *Coil Break*. Pemilihan ini didasarkan pada nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi dibandingkan jenis cacat lainnya, yaitu sebesar 150 dengan nilai *Severity* (S) sebesar 6, *Occurrence* (O) sebesar 5, dan *Detection* (D) sebesar 5. Nilai RPN yang tinggi menunjukkan bahwa cacat *Coil Break* memiliki tingkat risiko yang paling kritis sehingga perlu menjadi prioritas utama dalam perbaikan kualitas produksi. Cacat *Coil Break* terjadi akibat parameter produksi yang tidak sesuai sehingga menyebabkan penyebaran *mechanical properties* material menjadi tidak merata. Kondisi tersebut dapat menyebabkan ketidaksesuaian kualitas material dan menurunkan kualitas produk yang dihasilkan. Selain berdampak pada kualitas material, cacat ini juga berpotensi meningkatkan jumlah produk *reject*, menghambat proses produksi, serta menambah biaya perbaikan maupun pengendalian kualitas.

Selain memiliki dampak yang cukup serius, nilai kejadian (*Occurrence*) pada cacat *Coil Break* juga tergolong tinggi, yang menunjukkan bahwa cacat ini cukup sering terjadi dalam proses produksi. Di sisi lain, nilai *Detection* yang diperoleh menunjukkan bahwa cacat tersebut masih cukup sulit dideteksi secara dini sebelum produk memasuki proses berikutnya. Oleh karena itu, berdasarkan tingkat keparahan dampak, frekuensi

kejadian, dan kemampuan deteksi, cacat *Coil Break* ditetapkan sebagai prioritas utama untuk dilakukan analisis penyebab dan usulan perbaikan pada penelitian ini. Gambar cacat *Coil Break* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Jenis Cacat *Coil Break* 1



Gambar 4. 4 Jenis Cacat *Coil Break* 2

BAB V

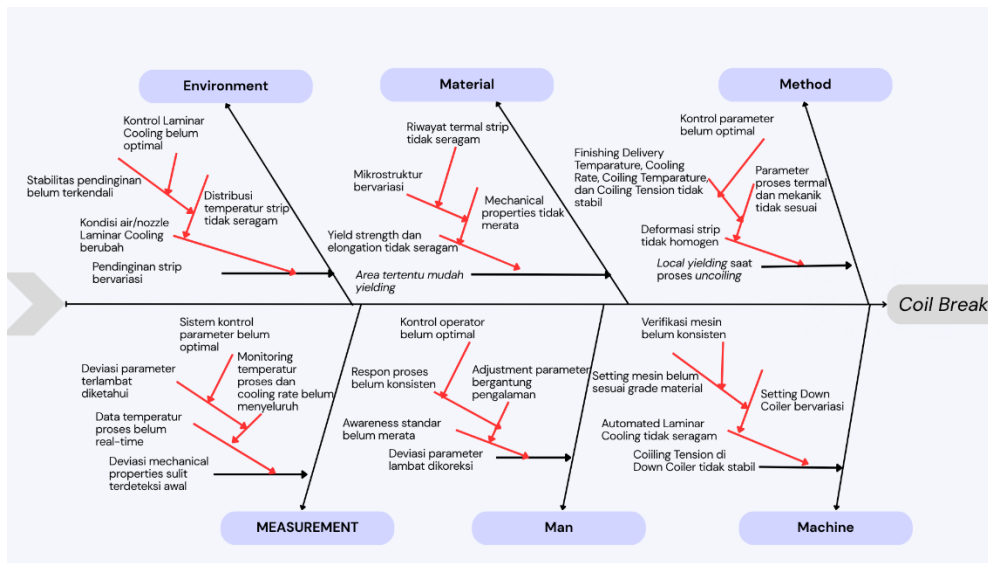
PEMBAHASAN

5.1 *Root Cause Analysis (RCA)*

Berdasarkan hasil analisis *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* yang telah dilakukan pada berbagai jenis cacat produk *Hot Rolled Coil (HRC)*, diperoleh bahwa cacat *Coil Break* memiliki nilai *Risk Priority Number (RPN)* tertinggi dibandingkan dengan jenis cacat lainnya. Nilai RPN yang tinggi ini menunjukkan bahwa cacat *Coil Break* memiliki tingkat risiko paling signifikan dari aspek keparahan dampak, frekuensi kejadian, maupun kemampuan deteksi. Oleh karena itu, cacat *Coil Break* ditetapkan sebagai prioritas utama untuk dilakukan analisis lebih lanjut guna mengidentifikasi akar penyebab terjadinya cacat.

Analisis akar penyebab dilakukan menggunakan metode *Root Cause Analysis (RCA)* dengan pendekatan diagram sebab-akibat (*Fishbone Diagram*). Di dalam diagram ini juga dilengkapi dengan analisis 5 *Why* untuk menelusuri akar permasalahan secara lebih mendalam. Secara umum, cacat *Coil Break* ditandai dengan munculnya garis patah atau deformasi lokal pada permukaan *coil* akibat ketidakmerataan sifat mekanik (*mechanical properties*) material. Kondisi tersebut terutama dipengaruhi oleh ketidaksesuaian parameter produksi yang menyebabkan distribusi mikrostruktur dan sifat mekanik sepanjang *coil* menjadi tidak homogen.

Analisis *Root Cause Analysis (RCA)* ini bertujuan untuk menguraikan secara sistematis seluruh faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya cacat *Coil Break*. Dengan menggunakan enam kategori utama, yaitu *Material, Machine, Method, Man, Environment*, dan *Measurement*, penelitian ini dapat mengidentifikasi hubungan antar faktor penyebab serta menentukan akar masalah yang paling mendasar. Pendekatan ini sangat penting karena memungkinkan perusahaan untuk tidak hanya mengatasi gejala cacat, melainkan juga menghilangkan penyebab utamanya secara permanen. Identifikasi faktor penyebab cacat *Coil Break* menggunakan diagram *Fishbone* ditunjukkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Fishbone Diagram

Berdasarkan diagram *fishbone* pada Gambar 5.1, diketahui bahwa penyebab terjadinya cacat *Coil Break* berasal dari beberapa faktor utama yang saling berkaitan, yaitu *Environment*, *Material*, *Method*, *Measurement*, *Man*, dan *Machine*. Untuk memperoleh akar penyebab secara lebih mendalam, setiap faktor pada diagram *fishbone* dianalisis menggunakan pendekatan *5 Why Analysis* yang ditampilkan pada cabang masing-masing tulang *fishbone*. Analisis *5 Why* dilakukan dengan memulai pertanyaan dari permasalahan utama, yaitu *Coil Break*. Pertanyaan pertama menelusuri penyebab langsung dari *Coil Break*, kemudian dilanjutkan hingga pertanyaan kelima untuk menemukan akar penyebab terdalam. Oleh karena itu, diagram *fishbone* tidak hanya menunjukkan kelompok penyebab, tetapi juga menggambarkan urutan penyebab bertingkat dari gejala awal sampai akar masalah.

Pada faktor *Material*, permasalahan utama berkaitan dengan ketidakseragaman sifat material sepanjang *coil*. Riwayat *termal strip* yang tidak seragam dapat menyebabkan variasi mikrostruktur. Variasi mikrostruktur tersebut kemudian memengaruhi mechanical properties material, seperti *yield strength* dan *elongation*, sehingga menjadi tidak merata. Akibatnya, terdapat area tertentu pada *strip* yang lebih mudah mengalami *yielding* ketika menerima beban tarik atau bending saat proses *uncoiling*.

Pada faktor *Method*, penyebab berkaitan dengan belum optimalnya pengendalian parameter produksi pada proses *Hot Rolled Coil*. Parameter seperti *finishing delivery temperature*, *cooling rate*, *coiling temperature*, dan *coiling tension* belum sepenuhnya stabil sesuai standar *grade material*. Ketidaksesuaian parameter proses termal dan mekanik tersebut menyebabkan distribusi *mechanical properties* sepanjang *coil* menjadi tidak merata. Akibatnya, *strip* mengalami deformasi tidak homogen dan pada saat proses *uncoiling* dapat terjadi *local yielding* pada area tertentu yang kemudian memicu munculnya cacat *Coil Break*.

Faktor *Machine* berkaitan dengan kestabilan dan kesesuaian pengaturan mesin terhadap *grade material* yang diproduksi. Permasalahan pada faktor ini meliputi verifikasi mesin yang belum konsisten, pengaturan mesin yang belum sesuai *grade material*, pengaturan *Down Coiler* yang bervariasi, *Automated Laminar Cooling* yang tidak seragam, serta *Coiling Tension* di *Down Coiler* yang tidak stabil. Kondisi tersebut dapat menyebabkan material menerima perlakuan termal dan mekanik yang tidak merata, sehingga meningkatkan risiko terjadinya variasi sifat mekanik dan deformasi lokal.

Selanjutnya, faktor *Man* berhubungan dengan peran operator dalam melakukan pengendalian dan respon terhadap deviasi proses. Permasalahan pada faktor ini meliputi kontrol operator yang belum optimal, respon proses yang belum konsisten, *adjustment* parameter yang masih bergantung pada pengalaman, *awareness* terhadap standar proses yang belum merata, serta deviasi yang lambat dikoreksi. Faktor ini dapat menyebabkan penyimpangan parameter proses tidak segera ditangani sehingga berpengaruh terhadap kestabilan proses produksi.

Faktor *Measurement* berkaitan dengan sistem pengukuran, pemantauan, dan deteksi terhadap variasi proses. Permasalahan yang muncul antara lain sistem kontrol parameter yang belum optimal, deviasi parameter yang terlambat diketahui, monitoring temperatur proses dan *Cooling Rate* yang belum menyeluruh, data temperatur proses yang belum *real-time*, serta deviasi *mechanical properties* yang sulit terdeteksi sejak awal. Kondisi ini membuat penyimpangan parameter proses tidak segera diketahui sehingga peluang munculnya *Coil Break* menjadi lebih besar.

Faktor *Environment* berkaitan dengan kondisi pendinginan dan lingkungan proses yang memengaruhi kestabilan temperatur *strip*. Kontrol *Laminar Cooling* yang belum optimal, stabilitas pendinginan yang belum terkendali, distribusi temperatur *strip* yang tidak seragam, kondisi air atau *nozzle Laminar Cooling* yang berubah, serta pendinginan *strip* yang bervariasi dapat menyebabkan riwayat termal *strip* tidak seragam. Hal ini berdampak pada variasi mikrostruktur dan mechanical properties material sepanjang *coil*.

Hasil penelusuran menunjukkan bahwa penyebab utama cacat *Coil Break* berkaitan dengan kontrol parameter produksi yang belum optimal, terutama pada parameter *finishing delivery temperature*, *cooling rate*, *coiling temperature*, dan *coiling tension*. Ketidaksesuaian parameter tersebut menyebabkan distribusi *mechanical properties* tidak merata sepanjang *coil*, sehingga *strip* mengalami deformasi tidak homogen dan *local yielding* saat proses *uncoiling*.

Berdasarkan hasil *Root Cause Analysis* (RCA) tersebut, faktor yang paling dominan untuk ditindaklanjuti adalah *Method*, karena berhubungan langsung dengan pengaturan dan konsistensi parameter produksi. Oleh karena itu, usulan perbaikan perlu difokuskan pada pengendalian parameter proses secara lebih konsisten, peningkatan monitoring produksi, serta penyusunan dan penerapan *Standar Operasional Prosedur* (SOP) yang mengatur batas standar parameter proses sesuai *grade material*. Upaya ini diharapkan dapat mengurangi variasi *mechanical properties*, mencegah deformasi lokal, dan menurunkan risiko terjadinya *Coil Break*.

5.2 Rekomendasi

5.2.1 Perbaikan Faktor *Method*

Berdasarkan hasil analisis *fishbone* dan 5 *Why*, faktor *Method* dipilih sebagai fokus utama perbaikan karena memiliki hubungan langsung dengan akar penyebab terjadinya cacat *Coil Break*. Pada faktor ini, permasalahan utama terletak pada kontrol parameter produksi yang belum optimal, sehingga parameter penting seperti *Finishing Delivery Temperature*, *Cooling Rate*, *Coiling Temperature*, dan *Coiling Tension* belum sepenuhnya stabil sesuai standar *grade material*. Ketidaksesuaian parameter tersebut dapat menyebabkan distribusi *mechanical properties* tidak merata sepanjang *coil*, sehingga *strip* mengalami deformasi tidak homogen dan berpotensi terjadi *local yielding* saat proses *uncoiling*. Oleh

karena itu, diperlukan perbaikan yang terarah pada faktor *Method* sebagai dasar penyusunan rekomendasi Standar Operasional Prosedur. Rincian perbaikan berdasarkan hasil 5 *Why* pada faktor *Method* ditampilkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Perbaikan Hasil 5 *Why* pada Faktor *Method*

No	5 <i>Why</i> pada Faktor Method	Penyebab	Dampak terhadap Coil Break	Rekomendasi Perbaikan	Nomor pada SOP
1.	Kontrol parameter belum optimal	Kontrol parameter belum konsisten sesuai <i>grade</i>	Parameter menyimpang dari standar	Memperkuat pengendalian dan verifikasi parameter aktual agar tetap sesuai standar <i>grade material</i>	4.1
2.	<i>Finishing Delivery Temperature, Cooling Rate, Coiling Temperature, dan Coiling Tension</i> tidak stabil	Parameter utama proses <i>Hot Rolled Coil</i> belum stabil selama produksi	Riwayat termal dan kondisi mekanik <i>strip</i> menjadi tidak seragam	Memastikan parameter aktual tetap berada dalam batas minimum dan maksimum yang telah ditetapkan perusahaan	4.2
3.	Parameter proses termal dan mekanik tidak sesuai	<i>Setting</i> proses belum sepenuhnya sesuai dengan karakter <i>grade</i>	<i>Mechanical properties</i> seperti <i>yield strength</i> dan <i>elongation</i> dapat	Melakukan verifikasi kesesuaian parameter proses dengan <i>grade material</i> sebelum produksi berjalan	4.1

No	5 Why pada Faktor Method	Penyebab	Dampak terhadap Coil Break	Rekomendasi Perbaikan	Nomor pada SOP
		material yang diproduksi	bervariasi sepanjang coil		
4.	Deformasi strip tidak homogen	Strip menerima perlakuan termal dan mekanik yang tidak seragam	Area tertentu pada strip lebih mudah mengalami deformasi dibanding area lain	Melakukan monitoring berurutan pada <i>Finishing Mill</i> , <i>Laminar Cooling</i> , dan <i>Down Coiler</i> dengan membandingkan parameter aktual terhadap standar, serta melakukan koreksi segera apabila terjadi deviasi	4.2
5.	<i>Local yielding</i> saat proses <i>uncoiling</i>	Area tertentu pada strip mengalami deformasi plastis lokal saat coil dibuka	<i>Local yielding</i> menjadi pemicu langsung munculnya <i>Coil Break</i>	Mengidentifikasi coil berisiko melalui pengecekan data aktual setiap coil, membandingkannya dengan standar grade material, dan memberi status khusus pada coil	4.3

No	5 Why pada Faktor Method	Penyebab	Dampak terhadap <i>Coil Break</i>	Rekomendasi Perbaikan	Nomor pada SOP
				yang mengalami deviasi parameter	

Berdasarkan Tabel 5.1 di atas, perbaikan pada faktor *Method* difokuskan pada penguatan pengendalian parameter aktual selama proses produksi *Hot Rolled Coil*. Standar parameter proses pada dasarnya telah ditetapkan oleh perusahaan, namun dalam pelaksanaannya parameter aktual masih berpotensi tidak stabil atau menyimpang dari batas standar sesuai grade material. Oleh karena itu, perbaikan tidak diarahkan pada pembuatan standar baru, melainkan pada penguatan verifikasi, monitoring, dan tindakan koreksi terhadap parameter yang sudah ditetapkan.

Parameter utama yang perlu dikendalikan meliputi *Finishing Delivery Temperature*, *Cooling Rate*, *Coiling Temperature*, dan *Coiling Tension*. Ketidakstabilan parameter tersebut dapat menyebabkan riwayat termal dan kondisi mekanik *strip* menjadi tidak seragam. Kondisi ini berdampak pada variasi mechanical properties, seperti yield strength dan elongation, sehingga *strip* dapat mengalami deformasi yang tidak homogen. Area tertentu yang memiliki sifat mekanik lebih lemah berpotensi mengalami local yielding saat proses *uncoiling* dan akhirnya memicu terjadinya cacat *Coil Break*.

Dengan demikian, rekomendasi perbaikan pada faktor *Method* diarahkan pada pengendalian proses secara berurutan mulai dari *Finishing Mill*, *Laminar Cooling*, hingga *Down Coiler*. Pengendalian dilakukan dengan membandingkan parameter aktual terhadap standar grade material, melakukan koreksi segera apabila terjadi deviasi, serta mengidentifikasi *coil* yang berisiko melalui pengecekan data aktual setiap *coil*. Semua aktivitas pengendalian dan verifikasi parameter yang menjadi fokus faktor *Method* terdapat pada SOP Nomor 4, yaitu prosedur pengendalian cacat *coil break*, karena ini merupakan SOP yang mengatur seluruh tahapan pengendalian parameter proses. SOP lainnya, seperti keputusan setelah pemeriksaan, pencacatan hasil monitoring, inspeksi

visual, tindakan korektif, dan disposisi dokumen, merupakan SOP pendukung yang digunakan untuk mendokumentasikan serta menindaklanjuti hasil pengendalian setelah proses produksi selesai dilakukan. Hasil rekomendasi ini selanjutnya menjadi dasar dalam penyusunan Standar Operasional Prosedur pengendalian parameter proses untuk mencegah terjadinya *Coil Break*.

5.2.2 Usulan Standar Operasional Prosedur

Berdasarkan hasil analisis *K-Means* dan FMEA, diperoleh bahwa cacat *Coil Break* menjadi salah satu prioritas perbaikan yang perlu dikendalikan. Penyebab terjadinya cacat tersebut berkaitan dengan ketidaksesuaian atau ketidakstabilan parameter proses, seperti *Finishing Delivery Temperature*, *Cooling Rate*, *Coiling Temperature*, dan *Coiling Tension*. Oleh karena itu, diperlukan usulan dokumen pendukung pengendalian kualitas yang dapat membantu proses pemeriksaan, pencatatan, pengambilan keputusan, serta tindakan korektif apabila ditemukan penyimpangan proses.

Perusahaan telah memiliki standar operasional prosedur internal, namun dokumen SOP tersebut tidak dapat diakses oleh peneliti karena bersifat internal. Dengan demikian, SOP yang disusun dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk mengevaluasi atau menggantikan SOP perusahaan, melainkan sebagai usulan SOP pendukung yang dapat dipertimbangkan perusahaan dalam upaya mengurangi potensi terjadinya cacat *Coil Break*. Usulan standar operasional prosedur pendukung ditampilkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Usulan SOP Pendukung

PT. XYZ	Nomor Dokumen :
	Mulai Berlaku :
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT COIL BREAK	Area Penerapan :
	Fokus Pengendalian :
	Halaman :
1. Tujuan: Usulan SOP pendukung ini bertujuan untuk memberikan panduan pengendalian tambahan dalam meminimalkan potensi terjadinya cacat <i>Coil Break</i> pada proses produksi. SOP ini juga bertujuan untuk memastikan parameter proses yang berpengaruh terhadap cacat <i>Coil Break</i>, seperti <i>Finishing Delivery Temperature</i>, <i>Cooling Rate</i>, <i>Coiling Temperature</i>, dan <i>Coiling Tension</i>, dapat dikendalikan sesuai standar perusahaan. Selain itu, SOP ini digunakan sebagai acuan dalam melakukan pemeriksaan, pencatatan, tindakan korektif, dan evaluasi apabila ditemukan penyimpangan proses yang berpotensi menyebabkan terjadinya cacat <i>Coil Break</i>. 2. Ruang Lingkup Ruang lingkup usulan SOP pendukung ini mencakup aktivitas pengendalian pada proses produksi yang berhubungan dengan potensi terjadinya cacat <i>Coil Break</i>. Aktivitas yang termasuk dalam ruang lingkup ini meliputi pemeriksaan <i>grade material</i>, monitoring parameter proses, inspeksi visual <i>coil</i>, pencatatan hasil pemeriksaan, serta pelaksanaan tindakan korektif apabila ditemukan penyimpangan. SOP ini disusun sebagai usulan dokumen pendukung pengendalian kualitas berdasarkan hasil analisis <i>K-Means</i> dan FMEA, serta tidak dimaksudkan untuk menggantikan SOP perusahaan yang telah berjalan. 3. Penanggung Jawab	

PT. XYZ				Nomor Dokumen :	
				Mulai Berlaku :	
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT COIL BREAK				Area Penerapan :	
				Fokus Pengendalian :	
				Halaman :	
No	Aktivitas	Operator Produksi	QC	Supervisor Produksi	Teknisi Mesin
1.	Pemeriksaan grade material sebelum produksi	P	-	V	-
2.	Pengecekan standar parameter sesuai grade material	P	-	V	-
3.	Monitoring parameter aktual selama proses produksi	P	-	V	-
4.	Pencatatan hasil monitoring parameter	P	-	V	-
5.	Inspeksi visual terhadap indikasi <i>Coil Break</i>	-	P	V	-
6.	Penentuan status produk OK/NG/Hold	-	P	A	-

PT. XYZ				Nomor Dokumen :	
				Mulai Berlaku :	
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT COIL BREAK				Area Penerapan :	
				Fokus Pengendalian :	
				Halaman :	
7.	Tindakan korektif jika terjadi penyimpangan parameter	P	-	A	B
8.	Pemeriksaan mesin jika penyimpangan Pterjadi berulang	B	-	V	P
9.	Inspeksi ulang setelah tindakan korektif	-	P	V	-
10.	Evaluasi hasil monitoring dan inspeksi akhir shift	-	P	A	-
Keterangan Kode					
Kode		Keterangan			
P		Pelaksana utama aktivitas			
V		Verifikator/pihak yang memeriksa kesesuaian hasil			
A		Pihak yang memberi keputusan atau persetujuan			
B		Pihak pendukung apabila dibutuhkan			
-		Tidak terlibat langsung			

4. Prosedur Pengendalian Cacat Coil Break

PT. XYZ		Nomor Dokumen	:	
		Mulai Berlaku	:	
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT COIL BREAK		Area Penerapan	:	
		Fokus Pengendalian	:	
		Halaman	:	
4.1 Pemeriksaan Sebelum Produksi				
No	Aktivitas	Uraian Prosedur	Penanggung Jawab	Output
1.	Pemeriksaan grade material	Operator memeriksa grade material yang akan diproduksi dan memastikan kesesuaiannya dengan jadwal produksi.	Operator Produksi	Grade material terverifikasi
2.	Pemeriksaan standar parameter	Operator memastikan standar parameter proses telah disesuaikan dengan grade material yang diproduksi.	Operator dan Supervisor Produksi	Setting parameter sesuai standar
3.	Pemeriksaan kesiapan mesin	Operator memastikan mesin dalam kondisi siap digunakan sebelum proses produksi berjalan.	Operator Produksi	Mesin siap produksi
4.	Pemeriksaan form monitoring	Operator menyiapkan checksheet monitoring parameter proses	Operator Produksi	Form monitoring tersedia

PT. XYZ			Nomor Dokumen :	
			Mulai Berlaku :	
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT COIL BREAK			Area Penerapan :	
			Fokus Pengendalian :	
			Halaman :	
		sebelum produksi dimulai.		
4.2 Monitoring Selama Proses Produksi				
No	Aktivitas	Uraian Prosedur	Penanggung Jawab	Output
1.	Monitoring <i>Finishing Delivery Temperature</i>	Operator mencatat nilai Finishing Delivery Temperature aktual selama proses berlangsung.	Operator Produksi	Data FDT aktual
2.	Monitoring <i>Cooling Rate</i>	Operator mencatat Cooling Rate aktual dan memastikan nilainya berada dalam batas standar perusahaan.	Operator Produksi	Data <i>Cooling Rate</i> aktual
3.	Monitoring <i>Coiling Temperature</i>	Operator memantau Coiling Temperature agar sesuai dengan standar grade material.	Operator Produksi	Data Coiling <i>Temperature</i> aktual

PT. XYZ			Nomor Dokumen :	
			Mulai Berlaku :	
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT <i>COIL BREAK</i>			Area Penerapan :	
			Fokus Pengendalian :	
			Halaman :	
4.	Monitoring <i>Coiling Tension</i>	Operator memantau <i>Coiling Tension</i> untuk memastikan proses penggulangan berjalan stabil.	Operator Produksi	Data <i>Coiling Tension</i> aktual
5.	Verifikasi Parameter	Supervisor memverifikasi hasil monitoring parameter aktual yang dicatat operator.	Supervisor Produksi	Parameter terverifikasi

4.3 Pemeriksaan Setelah Proses Produksi

No	Aktivitas	Uraian Prosedur	Penanggung Jawab	Output
1.	Inspeksi visual <i>coil</i>	QC melakukan pemeriksaan visual terhadap <i>coil</i> untuk melihat adanya indikasi <i>Coil Break</i> .	QC	Hasil inspeksi visual
2.	Pemeriksaan kesesuaian parameter	QC dan supervisor membandingkan parameter aktual	QC dan Supervisor Produksi	Status kesesuaian parameter

PT. XYZ			Nomor Dokumen :	
			Mulai Berlaku :	
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT COIL BREAK			Area Penerapan :	
			Fokus Pengendalian :	
			Halaman :	
		dengan standar yang telah ditetapkan.		
3.	Penentuan status produk	Produk diberi status OK, NG, atau Hold berdasarkan hasil inspeksi dan data parameter aktual.	QC dan Supervisor Produksi	Status produk
4.	Pencatatan hasil inspeksi	QC mencatat hasil pemeriksaan pada form inspeksi visual <i>coil</i> .	QC	Data inspeksi terdokumentasi
5. Keputusan Setelah Pemeriksaan				
No	Kondisi Stelah Pemeriksaan	Status Produk	Tindakan Lanjutan	
1.	Parameter sesuai standar dan tidak ditemukan indikasi <i>Coil Break</i>	OK	Produk dapat dilanjutkan ke proses berikutnya.	
2.	Parameter menyimpang, tetapi belum ditemukan indikasi <i>Coil Break</i>	Hold	Produk ditahan sementara untuk evaluasi parameter dan pemeriksaan ulang.	

PT. XYZ		Nomor Dokumen :	
		Mulai Berlaku :	
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT COIL BREAK		Area Penerapan :	
		Fokus Pengendalian :	
		Halaman :	
3.	Ditemukan indikasi <i>Coil Break</i> pada <i>coil</i>	NG	Produk dipisahkan, dicatat sebagai cacat, dan dilakukan analisis penyebab.
4.	Penyimpangan parameter terjadi berulang dalam satu shift	Hold	Supervisor melakukan evaluasi proses dan meminta pemeriksaan mesin oleh teknisi mesin.

6. Tindakan Korektif Jika Ditemukan Penyimpangan

Langkah	Prosedur
1	Operator atau QC mencatat parameter atau kondisi <i>coil</i> yang tidak sesuai.
2	Produk diberi status Hold apabila terdapat penyimpangan parameter atau indikasi <i>Coil Break</i> .
3	Operator melaporkan penyimpangan kepada supervisor produksi.
4	Supervisor membandingkan data aktual dengan standar parameter perusahaan.
5	Jika penyimpangan berasal dari setting proses, operator melakukan penyesuaian parameter.
6	Jika penyimpangan terjadi berulang, supervisor meminta teknisi mesin melakukan pemeriksaan mesin.

PT. XYZ	Nomor Dokumen	:
	Mulai Berlaku	:
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT COIL BREAK	Area Penerapan	:
	Fokus Pengendalian	:
	Halaman	:

7	QC melakukan inspeksi ulang setelah tindakan korektif dilakukan.
8	Produk dapat diberi status OK/Release apabila hasil inspeksi ulang dan parameter proses telah sesuai standar.
9	Jika produk tetap menunjukkan indikasi cacat, produk dicatat sebagai NG dan dipisahkan dari produk baik.
10	Hasil penyimpangan dan tindakan korektif dicatat sebagai bahan evaluasi produksi berikutnya.

7. *Checksheets* Monitoring Parameter Proses

Tanggal	Shift	No Coil	Grade Material	FDT	Cooling Rate	CT	Tension	Status	PIC

8. *Checksheets* Inspeksi Visual Coil

Tanggal	Shift	No Coil	Grade Material	Area Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Status	PIC

9. Form Tindakan Korektif

PT. XYZ					Nomor Dokumen :		
					Mulai Berlaku :		
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENDUKUNG PENGENDALIAN CACAT COIL BREAK					Area Penerapan :		
					Fokus Pengendalian :		
					Halaman :		
Tanggal	Shift	No Coil	Jenis Penyimpangan	Penyebab	Tindakan Korektif	Status Setelah Perbaikan	PIC

10. Disposisi Dokumen

Disposisi	Nama	Jabatan	Paraf
Dibuat Oleh			
Diperiksa Oleh			
Disetujui Oleh			

Pada Tabel 5.2 diatas merupakan usulan SOP pendukung pengendalian cacat *Coil Break* ini disusun sebagai bentuk rekomendasi perbaikan berdasarkan hasil analisis *K-Means* dan FMEA. SOP ini berfokus pada pengendalian parameter proses, pemeriksaan visual *coil*, pencatatan hasil inspeksi, penentuan status produk, serta tindakan korektif apabila ditemukan penyimpangan. Dengan adanya usulan SOP ini, diharapkan proses pengendalian terhadap cacat *Coil Break* dapat dilakukan secara lebih sistematis, terdokumentasi, dan terkontrol. Selain itu, usulan ini diharapkan dapat membantu

perusahaan dalam menurunkan potensi terjadinya cacat melalui peningkatan konsistensi proses dan kemampuan deteksi terhadap penyimpangan sejak tahap awal.

5.3 Limitasi Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, yaitu sebagai berikut:

1. Data penelitian hanya terbatas pada data klaim pelanggan produk *Hot Rolled Coil* di PT. XYZ pada periode tertentu, sehingga hasil pengelompokan *cluster* dan penentuan prioritas perbaikan hanya menggambarkan kondisi berdasarkan data klaim yang tersedia pada periode penelitian tersebut.
2. Variabel yang digunakan dalam proses *clustering* hanya terbatas pada empat variabel karakteristik klaim pelanggan, yaitu Frekuensi Klaim, Klaim Diterima, Nilai Klaim, dan Rata-Rata Penyelesaian. Penelitian ini belum memasukkan variabel teknis produksi secara lebih rinci, seperti grade material, parameter aktual produksi, line produksi, maupun kondisi mesin.
3. Rekomendasi perbaikan yang diberikan masih berupa usulan dan belum diimplementasikan secara langsung di perusahaan. Oleh karena itu, penelitian ini belum mengukur efektivitas usulan SOP pendukung pengendalian cacat *Coil Break* dalam menurunkan jumlah klaim atau cacat setelah diterapkan.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengelompokan jenis klaim produk *Hot Rolled Coil* di PT. XYZ menggunakan metode *K-Means Clustering*, terbentuk 4 *cluster* berdasarkan empat variabel, yaitu Frekuensi Klaim, Klaim Diterima, Nilai Klaim, dan Rata-Rata Penyelesaian. Dari hasil *Final Cluster Centers*, *Cluster 1* dipilih sebagai *cluster* prioritas karena memiliki karakteristik klaim yang paling dominan dibandingkan *cluster* lainnya, terutama pada aspek frekuensi klaim, jumlah klaim yang diterima, dan nilai klaim. Selain itu, variabel rata-rata penyelesaian juga menunjukkan bahwa *cluster* ini tetap membutuhkan perhatian dalam proses penanganan klaim. Oleh karena itu, *Cluster 1* menjadi kelompok klaim yang perlu dianalisis lebih lanjut untuk menentukan jenis cacat yang menjadi prioritas perbaikan.
2. Berdasarkan hasil analisis *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) pada *cluster* prioritas, jenis klaim produk yang menjadi prioritas perbaikan adalah *Coil Break*. Jenis cacat ini memperoleh nilai *Severity* sebesar 6, *Occurrence* sebesar 5, dan *Detection* sebesar 5, sehingga menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebesar 150 dan menempati peringkat pertama. Nilai RPN tersebut menunjukkan bahwa *Coil Break* merupakan jenis klaim dengan tingkat risiko paling tinggi dibandingkan jenis klaim lainnya, sehingga perlu menjadi fokus utama dalam penyusunan rekomendasi perbaikan kualitas.
3. Berdasarkan hasil *Root Cause Analysis* (RCA), akar penyebab terjadinya cacat *Coil Break* adalah ketidaksesuaian parameter produksi yang menyebabkan penyebaran *mechanical properties* menjadi tidak merata. Ketidaksesuaian tersebut berkaitan dengan pengendalian parameter proses yang belum sepenuhnya konsisten, terutama pada parameter *Finishing Delivery Temperature*, *Cooling Rate*, *Coiling*

Temperature, dan *Coiling Tension*. Kondisi parameter yang tidak stabil dapat menyebabkan riwayat termal dan perlakuan mekanik pada material menjadi tidak seragam, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian kualitas material dan meningkatkan risiko terjadinya cacat *Coil Break*. Oleh karena itu, rekomendasi perbaikan yang diberikan adalah penyusunan usulan SOP pendukung pengendalian cacat *Coil Break* yang dilengkapi dengan prosedur pemeriksaan grade material, monitoring parameter proses, inspeksi visual *coil*, penentuan status produk OK/NG/Hold, *checksheet* monitoring parameter, serta form tindakan korektif. Usulan ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan SOP perusahaan, melainkan sebagai dokumen pendukung yang dapat dipertimbangkan untuk memperkuat sistem pengendalian kualitas yang telah berjalan. Dengan adanya usulan tersebut, perusahaan diharapkan dapat mengendalikan parameter proses secara lebih konsisten, meningkatkan kemampuan deteksi terhadap penyimpangan, dan mengurangi potensi terjadinya cacat *Coil Break* pada proses produksi berikutnya.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, berikut merupakan saran dari peneliti untuk penelitian ini:

1. Perusahaan dapat mempertimbangkan penerapan usulan SOP pendukung pengendalian cacat *Coil Break* sebagai acuan tambahan dalam proses monitoring parameter, inspeksi visual, penentuan status produk, serta tindakan korektif apabila ditemukan penyimpangan pada proses produksi.
2. Perusahaan sebaiknya melakukan pengawasan dan evaluasi secara berkala terhadap parameter proses yang berpengaruh terhadap cacat *Coil Break*, seperti *Finishing Delivery Temperature*, *Cooling Rate*, *Coiling Temperature*, dan *Coiling Tension*, agar.
3. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan variabel teknis produksi, seperti grade material, data aktual parameter proses, line produksi, dan kondisi mesin, serta melakukan implementasi langsung terhadap usulan perbaikan agar efektivitas SOP dapat diukur berdasarkan penurunan jumlah klaim, penurunan cacat *Coil Break*, atau perubahan nilai RPN setelah perbaikan diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. I. N. F., Atrinawati, L. H., & Wiranti, Y. T. (2022). Designing Business Process Model and Standard Operating Procedures (SOP) of Integrated Laboratory Management At XYZ University. *International Journal of Educational Management and Innovatio*, 3(2), 169–182.
- Anwar, M. S., Wulandari, I. A. S., Khuanysh, L., Supardi, S., & Sumartik, S. (2026). Optimizing production defects reduction using FMEA-AHP integration. *In AIP Conference Proceedings*, 3337.
- Ariansyah, M. S., & Nugroho, D. S. (2025). Analisis Defect pada Proses Quality Control Packing Bata Ringan Menggunakan Metode Six Sigma pada PT. XYZ. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 8(3), 3228–3239.
- Armadani, M. A. R., & Putri, E. P. (2025). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Side Frame dan Bolster Terhadap Cacat Pengecoran Baja Menggunakan Metode Seven Tools di PT Barata Indonesia. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(4), 4610–4622. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i4.52241>
- Asfahani, N. A. (2025). Pengendalian Kualitas Produk Bogie Dengan Metode Six Sigma Dan FMEA Pada PT. XYZ. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 8(3), 811–356521.
- Bachroni, H., & Setiafindari, W. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Eq Spacing Dengan Metode Six Sigma Pada Pt Sinar Semesta. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 2(9), 3556–3565.
- Bangun, C. S., Maulana, A., Rasjidin, R., & Rahman, T. (2022). Application of SPC and FMEA methods to reduce the level of hollow product defects. *Jurnal Teknik Industri*, 8(1), 12–16.
- Bhatia, S. K. (2004). Adaptive K-Means Clustering. *In FLAIRS*, 695–699.
- Briš, P., Čermáková, M., & Molnar, V. (2022). Quality cost flows in manufacturing companies. *Acta Logistica*.
- C., E. A. E., Abualigah, L., Abuhaija, B., & Jia, H. (2023). K-Means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Information Sciences*, 622, 178–210.
- Ermanto, E., & Surojudin, N. (2025). Analisis Klaster Penyebaran Berat Produk Mesin Sachet Menggunakan Metode Algoritma K-Means. *Bulletin of Computer Science Research*, 5(5), 1120–1128.
- Ernawati, D. (2019). Pengaruh kualitas produk, inovasi produk dan promosi terhadap keputusan pembelian produk Hi Jack sandals Bandung. *JWM (Jurnal Wawasan Manajemen)*, 7(1), 17–32.
- Haas, F., Tiefnig, R., Braun, M., Taschauer, M., & Steinacker, S. (2025). Process Development and Risk Assessment for Processing Magnesium Alloys Using LPBF Technology. *BHM Berg-Und Hüttenmännische Monatshefte*, 170(3), 132–139.
- Haekal, J., & Mu'min, R. (2024). Structured Defect Data-Based K-Means Clustering Analysis and Framework for Quality Control (QC) Prioritization in Manufacturing.

- Jurnal Penelitian Dan Aplikasi Sistem Dan Teknik Industri (PASTI)*, 18(3), 405–416.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data Mining: Concepts and Techniques* (3rd ed.). Waltham, MA: Morgan Kaufmann.
- Hartanti, L. P. S., Mulyono, J., & Mayang, V. (2022). Penerapan Fmea Dan Fuzzy Fmea Dalam Penilaian Risiko Lean Waste Di Industri Manufaktur. *Jst (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 11(2), 293–304.
- Jalal, M. R. S. A., & Yusim, A. K. (2024). *WELDING QUALITY CONTROL USING THE FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) METHOD AT PT. X*, 5, 42–48.
- Kholil, M. (2024). Analysis of Product Defects in Stay Horn Parts During the Welding Process Using Fault Tree Analysis (FTA) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). *International Journal of Scientific and Applied Research (IJSAR)*, 4(5), 1–7.
- Khormarudin, A. N. (2016). Teknik data mining: Algoritma K-Means clustering. *J. Ilmu Komput*, 1–12.
- Maori, N. A., & Evanita, E. (2023). Metode elbow dalam optimasi jumlah cluster pada k-means clustering. *Jurnal Simetris*, 14(2), 1–11.
- Maryani, E., & Purba, H. H. (2021). Analysis of Aluminium Alloy Wheels Product Quality Improvement Through DMAIC Method in Casting Process: A Case Study of the Wheel Manufacturing Industry in Indonesia. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 54(1).
- Murti, E., & Yuamita, F. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Pada Pt Djohartex Dengan Metode Statistical Process Control. *JURITEK: Jurnal Ilmiah Mesin, Elektro Dan Komputer*, 3(2), 258–273.
- Novantoro, I., Abdullah, M. H., Riyanto, O. A. W., Purnamayudhia, O., Hindratmo, A., & Suwondo, A. J. (2024). Improving The Quality Of Steel Plate Finishing Process Using Six Sigma, FMEA, And QFD Methods. *The Journal of System Engineering and Technological Innovatio*, 3(2), 293–304.
- Pitaloka, A. D., Afma, V., & Irwan, H. (2024). Implementasi Root Cause Analysis Pada Produk Tinta Neymar Untuk Mengurangi Cacat Produk. *Jurnal ARTI (Aplikasi Rancangan Teknik Industri)*, 19(2), 173–182.
- Purwaningsih, M. A., & Purwanggono, B. (2024). Perancangan Standard Operating Procedure (Sop) Dan 5s Pada Departemen Produksi (Studi Kasus: PT. Multi Karya Sakti). *Industrial Engineering Online Journal*, 13(3).
- Puspitaloka, M. A. C. D. (2022). Analisis perbaikan kualitas proses produksi di PT. XYZ dengan menggunakan metode Fuzzy FMEA. *Doctoral Dissertation, UNIVERSITAS MA CHUNG*.
- Rahayu, S. I. G. I., Suryani, S. A., Ridwan, A., Darmawiguna, I. G. M., Sutoyo, M. M., Slamti, I., Harlina, S., & Maysanjaya, I. M. D. (2024). *Buku Ajar Data Mining* (Efitra (ed.)). Sonpedia Publishing Indonesia.
- Rahmatillah, H., & Rusindiyanto, R. (2025). Analysis Of Defect Waste Reduction In Metal Forming Process Using Lean Six Sigma. *ITEJ (Information Technology Engineering Journals)*, 10(1), 141–152.

- Rajsya, A., Purnawansyah, P., & Manga, A. R. (2024). Rancang Bangun Penerapan Metode Elbow Pada K-Means Untuk Clustering Data Persediaan Barang. *LINIER: Literatur Informatika Dan Komputer*, 1(4), 395–403.
- Ramadhan, G., Sayuti, M., Perdana, M. F., & Hakim, A. (2025). Analisis Integrasi CPM, PERT, Dan FMEA Untuk Tindakan Mitigasi Produk Cacat Pada Manufaktur Kertas Cast Coat. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 4(3), 984–992.
- Reyhan, D. A., & Wismarini, T. D. (2025). Perancangan Sistem Informasi Manajemen Inventory Gudang Berbasis Web Dengan Metode K-Means Clustering. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 9(5), 8855–8861.
- Setiafindari, W. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Metode Seven Tools Dan Kaizen Pada PT Sinar Semesta. *Jurnal ARTI (Aplikasi Rancangan Teknik Industri)*, 18(1), 29–38.
- Setiawan, F. J., Emaputra, A., & Mawadati, A. (2023). *Usulan Perbaikan Kualitas Produk Baja Coil Menggunakan Metode P-Charts dan Fault Tree Analysis Guna Mengurangi Defect di PT Krakatau Steel (Persero), Tbk.*
- Simanjuntak, M., & Shahirah, I. (2024). Indonesian Consumer Complaint Behavior Based on Ethnic Groups and Generations. *Gadjah Mada International Journal of Business*, 26(2), 209–230.
- Sudarni, A. A. C., & Wantira, A. D. (2022). Pemodelan Persamaan Struktural Variabel Budaya Keselamatan Pada Area Produksi Industri Baja. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 10(2), 151–160.
- Sulaiman, N. S., & Bakar, R. A. (2017). Rough set discretization: Equal frequency binning, entropy/mdl and semi Naives algorithms of intrusion detection system. *Journal of Intelligent Computing*, 8(3), 91.
- Valentino, F., & Wahyudi, R. (2025). Pengendalian Kualitas Produksi Terhadap Penurunan Produk Cacat Pada Section C&C Post Process di PT. X Menggunakan Six Sigma. *Jurnal Integrasi*, 17(2), 80–88.
- Wicaksono, A., Priyana, E. D., & Nugroho, Y. P. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Pada Pompa Sentrifugal Di PT. X. *Jurnal Teknik Industri*, 9(1), 177–185.
- Wijayati, R., & Saputro, D. R. S. (2023). Clustering Data Campuran Numerik Dan Kategorik Menggunakan Algoritme K-Prototype. In *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, Vol. 6, 702.
- Wirani, A. P., Janwar, M., & Wajdi, M. S. (2021). Application of The FMEA Method to Know The Factors Causing Weld Defects in The Boiler Fabrication Process. *International Journal of Social and Management Studies*, 2(2), 106–114.
- Yulianti, E., & Sugandha, A. (2021). Pengelompokan Kabupaten/Kota Di Provinsi Jawa Tengah Berdasarkan Jumlah Perempuan (Usia 18+) Korban Kekerasan Dengan Menggunakan K-Means Clustering. *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 13(2), 81–92.
- Zanazzi, J. F., Zanazzi, J. L., & Pontelli, D. (2023). Prioritization of improvement actions in industrial production: application of the FITradeoff method to order improvement actions identified through the failures modes and effects analysis (FMEA). *Pesquisa Operacional*.

Zhang, Y., Wang, H., & Wang, Y. (2023). An Effective and Adaptable K-Means Algorithm for Big Data Clustering Based on Lévy Flight. *Pattern Recognition*.