

Artikel Penelitian

Analisis Risiko Pencampuran Part Asing pada Proses Heat Treatment Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Ghina Farhah Azizah^{*}, Muhammad Ibrahim Ats-Tsauri, Annisa Syahliantina, Cipto Purwanto, Ian Hermawan

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pelita Bangsa, Bekasi, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 14 Mei 2026
Revisi Akhir: 21 Juli 2026
Diterbitkan Online: 17 Agustus 2026

KATA KUNCI

FMEA
Pareto
Part Asing
Poka-Yoke
Quenching Tempering
Risk Priority Number

KORESPONDENSI (*)

Phone: +62 878-7130-6281
E-mail: Ghina.farhah@pelitabangsa.ac.id

A B S T R A K

Pencampuran part asing (foreign part mixing) antara part KOJA dan KIZA pada proses Heat Treatment Quenching Tempering (Q&T) di PT XYZ merupakan kegagalan kritis yang mengakibatkan 8-11 kasus komplain pelanggan per bulan. Kedua part memiliki kemiripan dimensi tinggi (*look-alike parts*) dan diproses pada mesin Q&T yang sama secara bergantian, sehingga risiko carry-over antar-lot sangat tinggi. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi failure mode menggunakan FMEA, memprioritaskan risiko melalui analisis Pareto, menganalisis akar penyebab dengan Fishbone Diagram 4M, serta menyusun rekomendasi perbaikan berbasis Poka-Yoke dan 5S. Sepuluh failure mode teridentifikasi dengan nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi pada proses penerimaan/unloading (RPN=324), penyimpanan WIP (RPN=270), ketiadaan traceability (RPN=252), dan carry-over Q&T (RPN=224). Analisis Pareto menunjukkan empat failure mode dominan berkontribusi 79,4% dari total RPN. Rekomendasi perbaikan meliputi implementasi barcode scan dua titik (gate-in dan gate-out), checklist changeover Q&T berbasis foto dengan tanda tangan operator dan leader, zoning area WIP dengan kode warna merah-biru, dan verifikasi dua orang pada outgoing quality gate. Simulasi menunjukkan total RPN turun dari 2.276 menjadi 340 (penurunan rata-rata 85,1%) dengan proyeksi komplain turun dari 8-11 menjadi 2-4 kasus per bulan.

PENDAHULUAN

Industri manufaktur komponen otomotif menuntut standar kualitas yang sangat ketat. Setiap produk yang tidak sesuai spesifikasi berpotensi mengakibatkan klaim pelanggan, kerugian finansial, hingga recall yang berdampak pada reputasi jangka panjang perusahaan [1]. Salah satu kegagalan kritis di lapangan adalah foreign part mixing (pencampuran part asing), yaitu kondisi di mana part dari satu jenis produk tercampur ke dalam lot produk lain yang memiliki kemiripan dimensi dan tampilan fisik tinggi, disebut look-alike parts.

PT XYZ adalah perusahaan heat treatment komponen baja keras otomotif yang memproduksi dua jenis part serupa, yaitu KOJA dan KIZA. Kedua part diproses secara bergantian pada mesin Heat Treatment Quenching Tempering (Q&T) yang sama, melalui pemanasan hingga 750–850°C, proses pendinginan cepat (quenching), dan pemanasan ulang (tempering) untuk mencapai kekerasan target 20–32 HRC [2]. Kondisi produksi bersama pada satu mesin menciptakan risiko carry-over antar-lot yang sangat tinggi, khususnya akibat sisa part lot sebelumnya yang tertinggal di basket, fixture, atau konveyor mesin.



Gambar 1. Grafik Tren Komplain Pelanggan Periode Januari – Juni 2025

Sumber: Data Perusahaan XYZ, 2025

Data historis PT XYZ menunjukkan rata-rata 9 kasus komplain pelanggan per bulan selama periode Januari–Juni 2025, dengan puncak 11 kasus pada bulan Mei dan biaya klaim kualitas mencapai Rp 60–90 juta/bulan. Tren komplain yang konsisten tinggi ini menegaskan bahwa masalah foreign part mixing bersifat sistemik dan berdampak signifikan terhadap profitabilitas serta reputasi perusahaan. Satu kasus terdokumentasi mencatat ditemukannya 9 pcs part KOJA dalam lot KIZA yang telah melewati 7 tahap alur proses: penerimaan, Q&T, inspeksi, shotblast, packing, final check, dan delivery. Penelusuran traceability menunjukkan bahwa akar masalah bukan dari kegagalan parameter proses Q&T, melainkan dari kelemahan sistemik pada sistem penerimaan barang, penanganan WIP, dan kontrol identifikasi material antar-proses [3].

Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan pendekatan sistematis yang efektif dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan memprioritaskan risiko proses berbasis perhitungan Risk Priority Number (RPN) = Severity × Occurrence × Detection [4]. Integrasi FMEA dengan Fishbone Diagram, analisis Pareto, dan Poka-Yoke menghasilkan kerangka perbaikan yang komprehensif dan preventif [5]. Penelitian ini bertujuan: (1) mengidentifikasi failure mode pada alur proses produksi KOJA dan KIZA di PT XYZ; (2) menganalisis tingkat risiko menggunakan FMEA; (3) memprioritaskan risiko melalui analisis Pareto; (4) menganalisis akar penyebab dengan Fishbone Diagram 4M; dan (5) menyusun rekomendasi perbaikan berbasis Poka-Yoke dan 5S.

TINJAUAN PUSTAKA

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA adalah metodologi analisis risiko proaktif untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu proses sebelum kegagalan berdampak pada pelanggan [4]. Dalam Process FMEA, setiap tahap proses dianalisis untuk mengidentifikasi failure mode, potential effects, potential causes, dan current controls. Nilai RPN dihitung sebagai:

$$\text{RPN} = \text{Severity (S)} \times \text{Occurrence (O)} \times \text{Detection (D)}$$

Severity (S) mengukur tingkat keparahan dampak terhadap pelanggan (skala 1–10), *Occurrence (O)* mengukur frekuensi kemungkinan penyebab terjadi (1–10), dan *Detection (D)* mengukur kemampuan sistem mendeteksi kegagalan sebelum mencapai pelanggan (1–10, di mana 10 berarti sangat sulit terdeteksi). Nilai RPN ≥ 200 diklasifikasikan sebagai risiko kritis yang memerlukan tindakan perbaikan segera [1].

Perkembangan riset FMEA lima tahun terakhir menunjukkan tren penguatan aspek kuantitatif dan konsistensi data. Wu, Liu, dan Nie [14] merangkum arah pengembangan FMEA di industri manufaktur dan menegaskan pentingnya kriteria penilaian risiko yang lebih terstandarisasi. Fabis-Domagala dan Domagala [15] mengusulkan skema prioritas risiko yang mengatasi kelemahan RPN konvensional pada komponen presisi tinggi, sementara Razouk dan Kern [16] menyoroti pentingnya konsistensi dokumen FMEA sebagai sumber data untuk pengambilan keputusan berbasis sebab-akibat. Salah, Alnahhal, dan Ali [17] menunjukkan penerapan FMEA termodifikasi pada konteks Industri 4.0 untuk memperbaiki

akurasi prioritisasi risiko, dan Yücenur, Çataltepe, serta Sakin [18] mengintegrasikan FMEA dengan pendekatan fuzzy pada pengendalian kualitas manufaktur. Temuan-temuan ini memperkuat relevansi FMEA sebagai kerangka analisis risiko yang terus berkembang dan menjadi dasar pendekatan kuantitatif yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Skala Nilai *Severity*

Ranking	Efek	Kriteria
1	Tidak ada	Dampak tidak terlihat dan kegagalan memiliki efek pada produk
2	Sangat ringan	Dampak sangat kecil, sedikit efek terlihat
3	Ringan	Efek kecil terlihat pada produk
4	Sangat rendah	Sedikit mempengaruhi kualitas produk
5	Rendah	Kualitas produk menurun, konsumen agak tidak puas
6	Sedang	Konsumen sangat tidak puas
7	Tinggi	Konsumen sangat tidak puas
8	Sangat tinggi	Fungsi utama produk gagal
9	Bahaya dengan peringatan	Tidak sesuai regulasi, risiko besar
10	Bahaya tanpa peringatan	Sangat berbahaya, tidak sesuai regulasi keselamatan

Tabel 2. Skala Nilai *Occurrence*

Ranking	Efek	Kriteria	Tingkat Kegagalan
1	Hampir tidak pernah	Kegagalan hampir tidak mungkin terjadi	< 1 dalam 1.500.000
2	Sangat rendah	Kegagalan sangat jarang terjadi	1 dalam 150.000
3	Rendah	Kegagalan jarang terjadi	1 dalam 15.000
4	Agak rendah	Kegagalan kadang terjadi	1 dalam 2.000
5	Sedang	Kegagalan cukup sering terjadi	1 dalam 400
6	Agak tinggi	Kegagalan cukup sering terjadi	1 dalam 80
7	Tinggi	Kegagalan sering terjadi	1 dalam 20
8	Sangat tinggi	Kegagalan berulang terjadi	1 dalam 8
9	Hampir pasti	Kegagalan hampir selalu terjadi	1 dalam 3
10	Pasti terjadi	Kegagalan pasti terjadi dalam setiap siklus	>1 dalam 2

Tabel 3. Skala Nilai *Detection*

Ranking	Efek	Kriteria
1	Hampir pasti	Pengawasan dapat mendeteksi kecacatan dengan jelas
2	Sangat tinggi	Kemungkinan deteksi kecacatan sangat tinggi
3	Tinggi	Kecacatan dapat dideteksi dengan mudah

4	Agak tinggi	Pengawasan cukup efektif mendeteksi kecacatan
5	Sedang	Kecacatan masih dapat dideteksi melalui pemeriksaan tambahan
6	Rendah	Kemungkinan mendeteksi kecacatan rendah
7	Sangat rendah	Sistem kontrol sulit mendeteksi kecacatan
8	Jarang	Pengawasan jarang mendeteksi kesalahan
9	Sangat jarang	Kecacatan hampir tidak pernah terdeteksi
10	Hampir tidak mungkin	Sistem pengawasan tidak mampu mendeteksi kecacatan

Analisis Pareto

Analisis Pareto mengaplikasikan prinsip 80/20: sekitar 80% masalah disebabkan oleh 20% penyebab [6]. Dalam konteks FMEA, diagram Pareto mengurutkan failure mode berdasarkan nilai RPN kumulatif untuk mengidentifikasi failure mode dominan yang berkontribusi terhadap 80% total risiko, sehingga sumber daya perbaikan dapat difokuskan secara efisien [7].

Fishbone Diagram (Cause-and-Effect Diagram)

Fishbone Diagram yang dikembangkan Kaoru Ishikawa digunakan untuk mengorganisasikan dan mengidentifikasi akar penyebab suatu masalah secara sistematis [8]. Pendekatan 4M—Man, Machine, Method, Material—digunakan untuk mengkategorikan penyebab pencampuran part asing di PT XYZ. Analisis 5-Why dilanjutkan untuk menggali akar masalah terdalam dari setiap kategori.

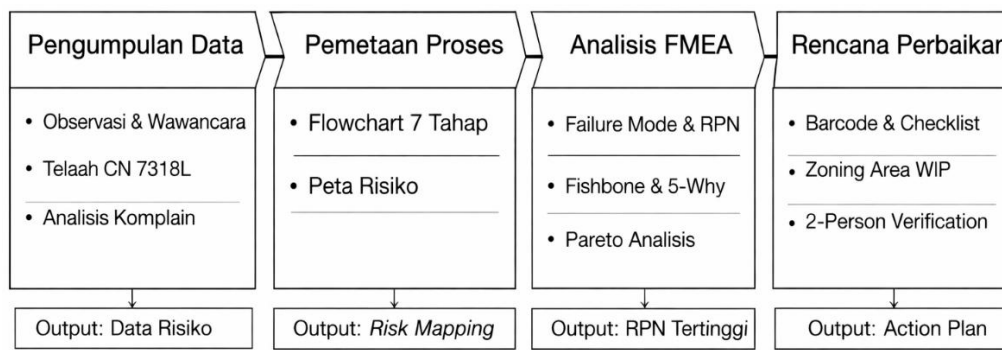
Poka-Yoke (Mistake Proofing)

Poka-Yoke adalah konsep yang dikembangkan Shigeo Shingo untuk mencegah terjadinya kesalahan melalui desain sistem yang membuat kesalahan tidak mungkin atau sangat sulit terjadi [9]. Poka-Yoke menggeser paradigma dari reaktif (memperbaiki setelah kegagalan) menjadi preventif (mencegah kegagalan sebelum terjadi). Implementasinya dapat berupa sistem barcode/sensor untuk deteksi otomatis, kode warna untuk identifikasi visual, dan checklist terstruktur untuk standarisasi prosedur operasional [10].

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan studi kasus deskriptif-evaluatif pada alur proses produksi KOJA dan KIZA di PT XYZ. Objek penelitian mencakup 7 tahap alur proses: (1) Penerimaan/PPIC, (2) Quenching Tempering, (3) Inspeksi, (4) Shotblast, (5) Packing, (6) Final Check, dan (7) Delivery.

Data dikumpulkan melalui: (1) observasi langsung pada seluruh tahap alur proses, (2) analisis dokumen Control Number (CN) dan rekap data complain 6 bulan terakhir, (3) wawancara terstruktur dengan operator Q&T, packing, checker QC, PPIC, dan supervisor menggunakan panduan FMEA worksheet berbasis AIAG FMEA-4, serta (4) review SOP untuk mengidentifikasi gap antara prosedur dan praktik lapangan. Tahapan analisis: pemetaan alur proses → identifikasi failure mode → penilaian S, O, D → RPN → Pareto → Fishbone 4M → rekomendasi perbaikan → simulasi RPN sesudah perbaikan.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Failure Mode dan Analisis FMEA

Hasil identifikasi menghasilkan 10 failure mode pada alur proses produksi KOJA dan KIZA di PT XYZ. Penilaian Severity, Occurrence, dan Detection dilakukan bersama tim QC, Produksi, dan PPIC menggunakan panduan AIAG FMEA-4. Hasil lengkap disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis FMEA Proses Produksi Part KOJA dan KIZA di PT XYZ

No	Tahap Proses	Failure Mode / Potensi Kegagalan	Potensial Effects	S	O	D	RPN	Ket.
1	Receiving/Unloading	Part KOJA & KIZA tercampur saat bongkar dari truk; keranjang jaring tanpa sekat; label kecil mudah rusak	Mixing masuk ke proses produksi; risiko kirim salah part ke pelanggan	9	6	6	324	P1
2	Buffer / WIP Storage	Pallet KOJA & KIZA berdekatan / tertukar di area WIP; tidak ada marking zona; layout campur	Salah ambil ke proses Q&T; mixing di tahap selanjutnya	9	5	6	270	P2
3	Traceability System	Tidak ada sistem barcode/scan; mixing tidak bisa ditelusuri asal-usulnya antar-lot	Kontaminasi tidak terdeteksi; tidak dapat telusur titik kritis	9	4	7	252	P3
4	Changeover Q&T — Carry-Over	Sisa part KOJA tertinggal di basket/fixture/konveyor mesin Q&T saat ganti ke lot KIZA berikutnya	1–2 pcs KOJA 'menumpang' dalam lot KIZA; tidak terdeteksi secara visual	8	4	7	224	P4
5	Penggunaan Basket Lintas-Part	Basket dipakai bergantian untuk KOJA & KIZA tanpa pembersihan; sisa pcs tertinggal di dasar keranjang	Sisa part tercampur dalam lot baru berikutnya	8	4	7	224	—
6	Picking ke Mesin Q&T	Operator salah mengambil keranjang KOJA saat jadwal proses KIZA; label tidak kontras / terbaca	Proses part yang salah tipe di mesin Q&T	9	4	6	216	—
7	Final Inspection/Gate Check	Sampling terlalu longgar (3 pcs/bagian	Box berisi part campuran lolos	9	3	8	216	—

	atas); tidak ada kriteria khusus look-alike parts; single checker	dan dikirim ke pelanggan						
8 Packing / Boxing	Part campuran masuk ke satu box; verifikasi hanya 1 orang; tidak ada foto dokumentasi isi box	Salah kirim ke pelanggan; customer complaint; klaim kualitas	10	3	7	210	—	
9 Labeling	Label kertas rusak akibat kontaminasi oli, suhu tinggi mesin Q&T, dan guncangan forklift	Salah identifikasi jenis part; memperbesar risiko salah ambil	8	5	5	200	—	
10 Staging & Loading Truk	Pallet salah jalur saat staging; tidak ada scan barcode saat keluar; keranjang jaring berlubang bocor saat diangkat forklift	Pengiriman part tidak sesuai purchase order; part jatuh berserakan	10	2	7	140	—	
TOTAL RPN			2.276					

Ket: Baris merah = 4 failure mode prioritas (masuk 80% kumulatif RPN). P1–P4 = prioritas perbaikan utama. S=Severity, O=Occurrence, D=Detection.

Analisis Pareto - Prioritasi Failure Mode

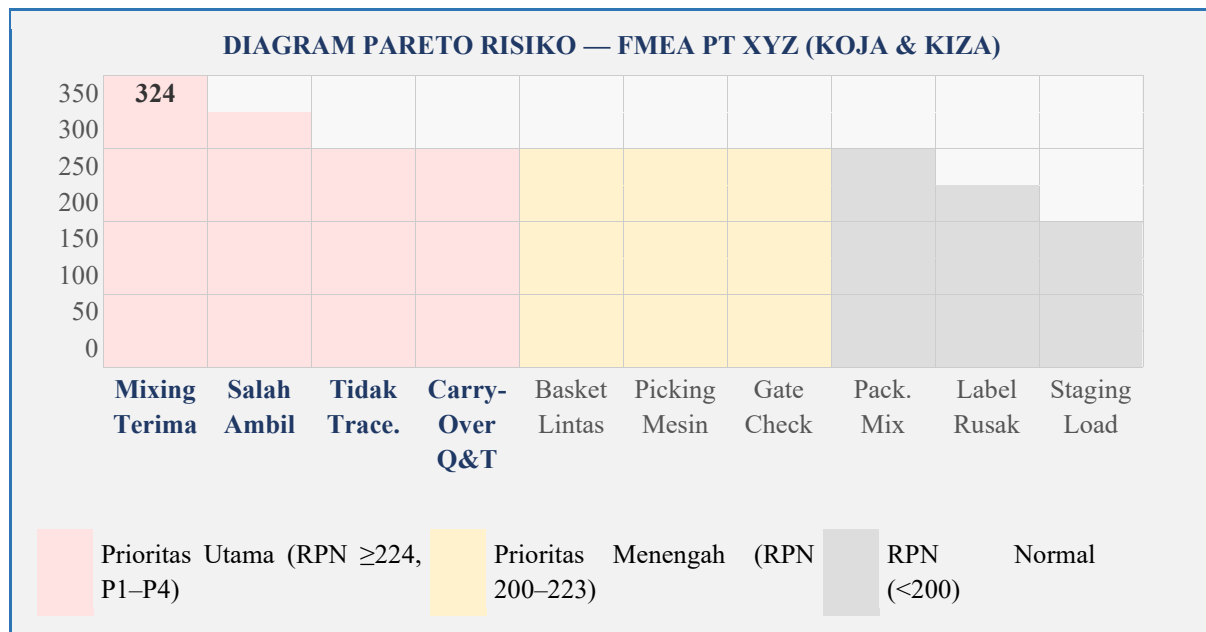
Seluruh failure mode diurutkan berdasarkan nilai RPN dari tertinggi ke terendah dan dihitung persentase kumulatifnya terhadap total RPN sebesar 2.276. Hasil analisis Pareto disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis Pareto Failure Mode Berdasarkan Nilai RPN

No	Failure Mode	RPN	Kumulatif RPN	% RPN	% Kumulatif	Kategori
1	Mixing Penerimaan/ Receiving-Unloading	324	324	14,2%	14,2%	Prioritas 1
2	Salah Ambil WIP / Buffer Storage	270	594	11,9%	26,1%	Prioritas 2
3	Tidak Traceable / Traceability System	252	846	11,1%	37,2%	Prioritas 3
4	Carry-Over Q&T / Changeover	224	1070	9,8%	47,0%	Prioritas 4
5	Basket Lintas-Part	224	1294	9,8%	56,9%	Menengah
6	Picking ke Mesin Q&T	216	1510	9,5%	66,3%	Menengah
7	Gate Check Lemah / Final Inspection	216	1726	9,5%	75,8%	Menengah
8	Packing Mix	210	1936	9,2%	85,1%	Normal
9	Label Rusak	200	2136	8,8%	93,8%	Normal
10	Staging & Loading	140	2276	6,2%	100,0%	Normal
Total		2.276	—	100%	—	—

Ket: Merah = Prioritas utama (kumulatif $\leq 80\%$). Kuning = Prioritas menengah. Garis Pareto 80% berada setelah failure mode ke-7 (kumulatif 75,8%). Namun secara praktis, 4 failure mode pertama (kumulatif 47%) menjadi fokus utama dengan nilai RPN >220.

Gambar 3 menampilkan Diagram Pareto distribusi nilai RPN. Dari grafik terlihat bahwa ke-4 failure mode tertinggi (Mixing Penerimaan, Salah Ambil WIP, Tidak Traceable, dan Carry-Over Q&T) memiliki selisih nilai RPN yang signifikan dibandingkan failure mode ke-5 dan seterusnya, sehingga menjadi kandidat utama tindakan perbaikan.

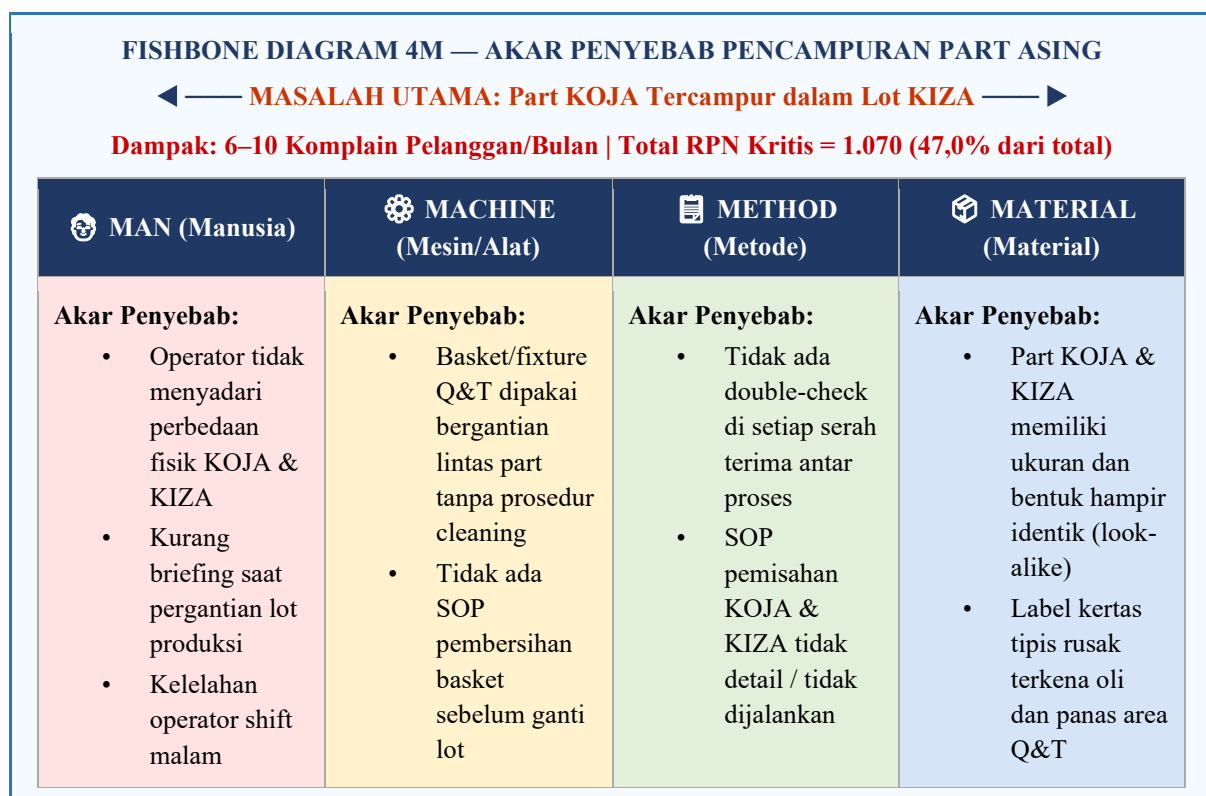


Gambar 3. Diagram Pareto Distribusi Nilai RPN - 10 Failure Mode FMEA PT XYZ

Berdasarkan Diagram Pareto, garis kumulatif mencapai batas 80% setelah failure mode ke-7. Namun untuk efisiensi perbaikan, penelitian memfokuskan tindakan pada 4 failure mode dengan nilai RPN tertinggi (≥ 224) yang bersama-sama berkontribusi 47,0% dari total risiko dengan selisih nilai RPN signifikan terhadap kelompok berikutnya. Pendekatan ini konsisten dengan rekomendasi AIAG bahwa failure mode dengan RPN ≥ 200 harus diprioritaskan untuk tindakan perbaikan segera [1].

Analisis Akar Penyebab - Fishbone Diagram 4M

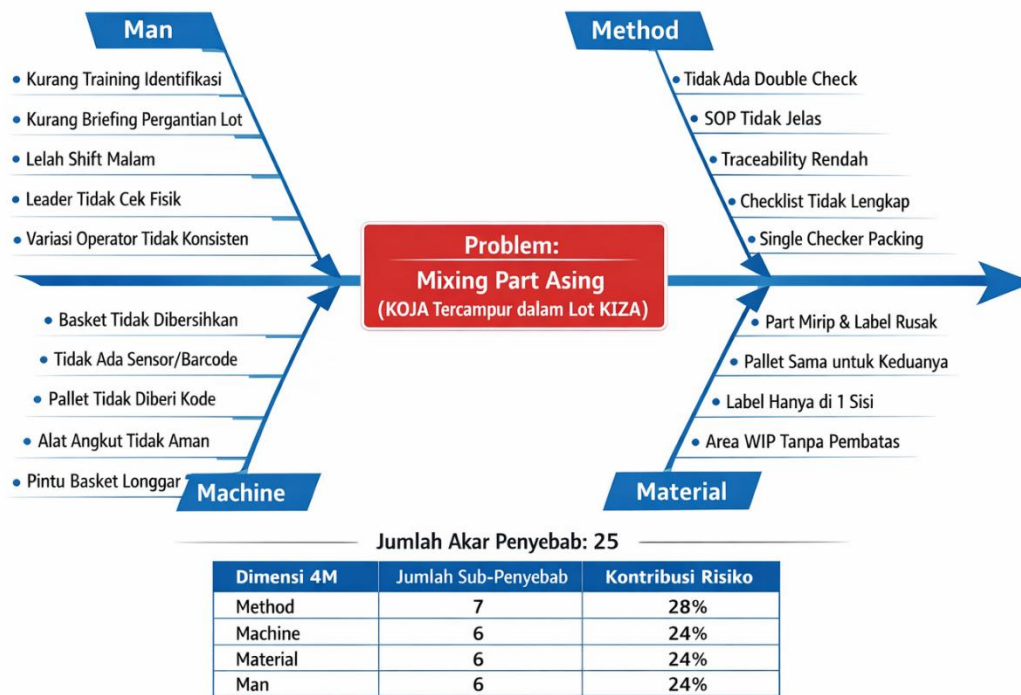
Fishbone Diagram 4M disusun untuk menganalisis akar penyebab dari masalah utama: 'Part KOJA Tercampur dalam Lot KIZA pada Proses Produksi PT XYZ'. Analisis mencakup keempat dimensi 4M: Man, Machine, Method, dan Material. Temuan disajikan pada Gambar 4.



menurunkan ketelitian • Leader tidak melakukan pengecekan fisik saat transisi lot • Tidak ada training khusus untuk identifikasi look-alike parts • Variasi pengalaman antar-operator tidak terkompensasi SOP	• Keranjang jaring berlubang → part jatuh saat diangkat forklift • Tidak ada sensor/barcode reader otomatis untuk deteksi jenis part • Trolley dan pallet tidak dikodekan eksklusif per part number • Kondisi pintu/penutup keranjang tidak terkunci dengan baik	• Tidak ada checklist changeover Q&T sebelum ganti lot • Pemeriksaan delivery hanya sampling 3 pcs bagian atas • Tidak ada sistem barcode / traceability antar-lot • Verifikasi packing hanya dilakukan 1 orang (single point of failure) • SOP pembersihan area WIP tidak dimonitor secara konsisten	• Pallet dan keranjang yang sama digunakan untuk kedua part • Tidak ada identifikasi warna / kode visual per tipe part • Label hanya dipasang di satu sisi keranjang • Area WIP KOJA & KIZA berdekatan tanpa pembatas fisik
--	---	---	--

**▼ KESIMPULAN FISHBONE: Masalah bersifat SISTEMIK
semua 4M berkontribusi signifikan ▼**

Method = 7 sub-penyebab | Machine = 6 | Material = 6 | Man = 6 → Total 25 akar penyebab teridentifikasi



Gambar 4. Fishbone Diagram 4M — Akar Penyebab Pencampuran Part KOJA & KIZA di PT XYZ

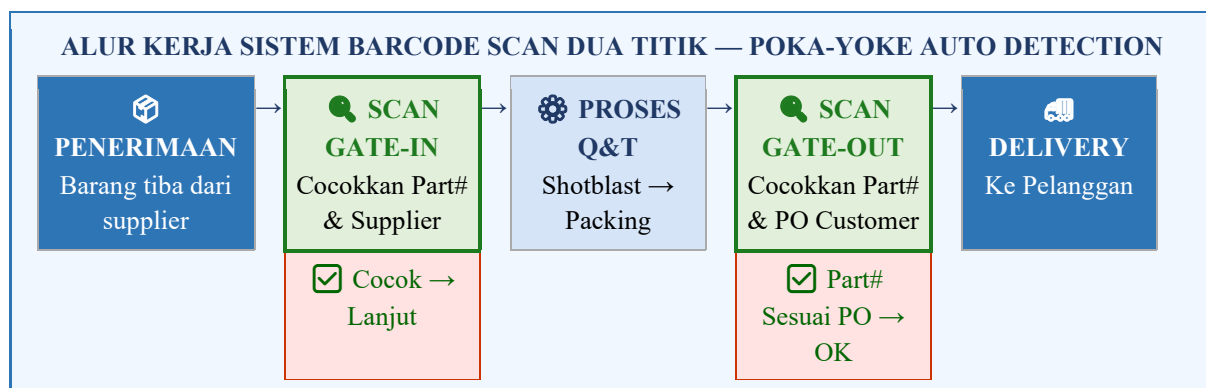
Hasil analisis Fishbone Diagram menunjukkan bahwa akar permasalahan tidak bersumber dari satu faktor tunggal, melainkan dari kelemahan sistemik yang mencakup keempat dimensi 4M. Faktor Method menjadi kontributor terbanyak dengan 7 sub-penyebab, yang mengindikasikan bahwa standarisasi prosedur dan sistem kontrol antar-proses merupakan area perbaikan yang paling kritis. Temuan penting: proses Q&T sendiri beroperasi dalam batas parameter SOP—penyebab carry-over bukan pada kegagalan teknis mesin, melainkan pada ketiadaan prosedur handover lot yang terstruktur.

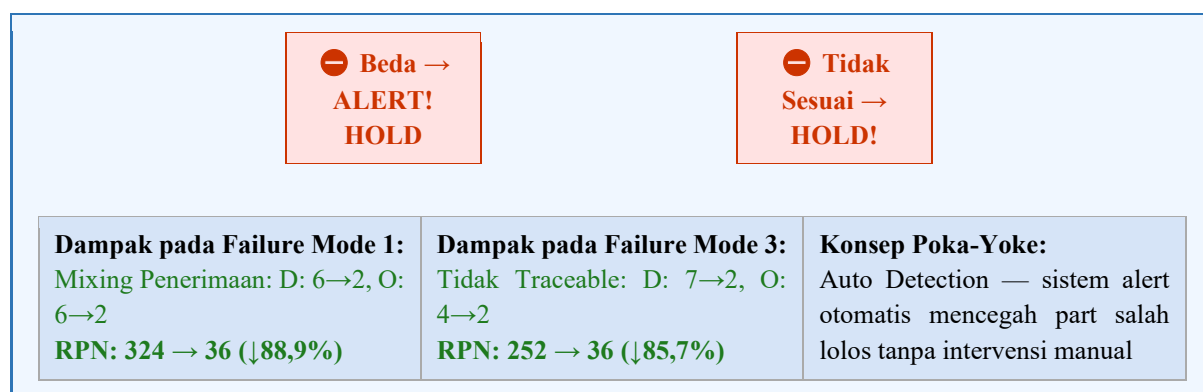
Rekomendasi Perbaikan Berbasis Poka-Yoke dan 5S

Berdasarkan prioritas risiko (Pareto) dan akar penyebab (Fishbone), empat rekomendasi perbaikan utama disusun dengan mengintegrasikan konsep Poka-Yoke, 5S, dan Preventive Quality System. Setiap rekomendasi dirancang untuk menurunkan nilai Occurrence (O) dan/atau Detection (D) secara terukur.

Implementasi Sistem Barcode Scan Dua Titik — Gate-In & Gate-Out

Sistem barcode scan dirancang sebagai lapisan kontrol otomatis yang memastikan traceability end-to-end dari penerimaan barang hingga pengiriman ke pelanggan. Setiap keranjang/lot KOJA dan KIZA diberi label barcode unik yang wajib di-scan di dua titik kontrol kritis: (a) Gate-In – saat penerimaan dari supplier, mencocokkan Part# dan Supplier; dan (b) Gate-Out – saat loading ke truk delivery, mencocokkan Part# dengan PO Customer. Sistem alert otomatis menghentikan proses apabila terdeteksi ketidaksesuaian. Rekomendasi ini menurunkan Detection (D) dari 6→2 dan Occurrence (O) dari 6→2, sehingga RPN FM #1 turun dari 324→36 (↓88,9%).





Gambar 5. Alur Kerja Sistem Barcode Scan Dua Titik sebagai Poka-Yoke Auto Detection

Checklist Changeover Q&T — Prevent Carry-Over

Checklist Changeover Q&T adalah prosedur wajib yang harus diselesaikan oleh operator dan diverifikasi oleh leader sebelum mesin Q&T memulai pemrosesan lot baru. Implementasi Poka-Yoke jenis shutdown system: proses tidak dapat dimulai sebelum semua item diverifikasi, ditandatangani, dan difoto sebagai bukti. Item verifikasi wajib mencakup: (1) keranjang/basket dikosongkan sepenuhnya; (2) fixture dan hanger di dalam mesin dikonfirmasi kosong; (3) konveyor/chain diperiksa sepanjang jalur; (4) area loading dan unloading dibersihkan; (5) label identitas keranjang baru dipasang dan terbaca jelas; (6) part number dikonfirmasi sesuai Work Order; (7) foto kondisi mesin diambil minimal 3 foto; dan (8) tanda tangan operator dan leader sebagai bukti verifikasi. Rekomendasi ini menurunkan O dari 4→1 untuk FM #4 (Carry-Over Q&T), sehingga RPN turun dari 224→16 (↓92,9%).

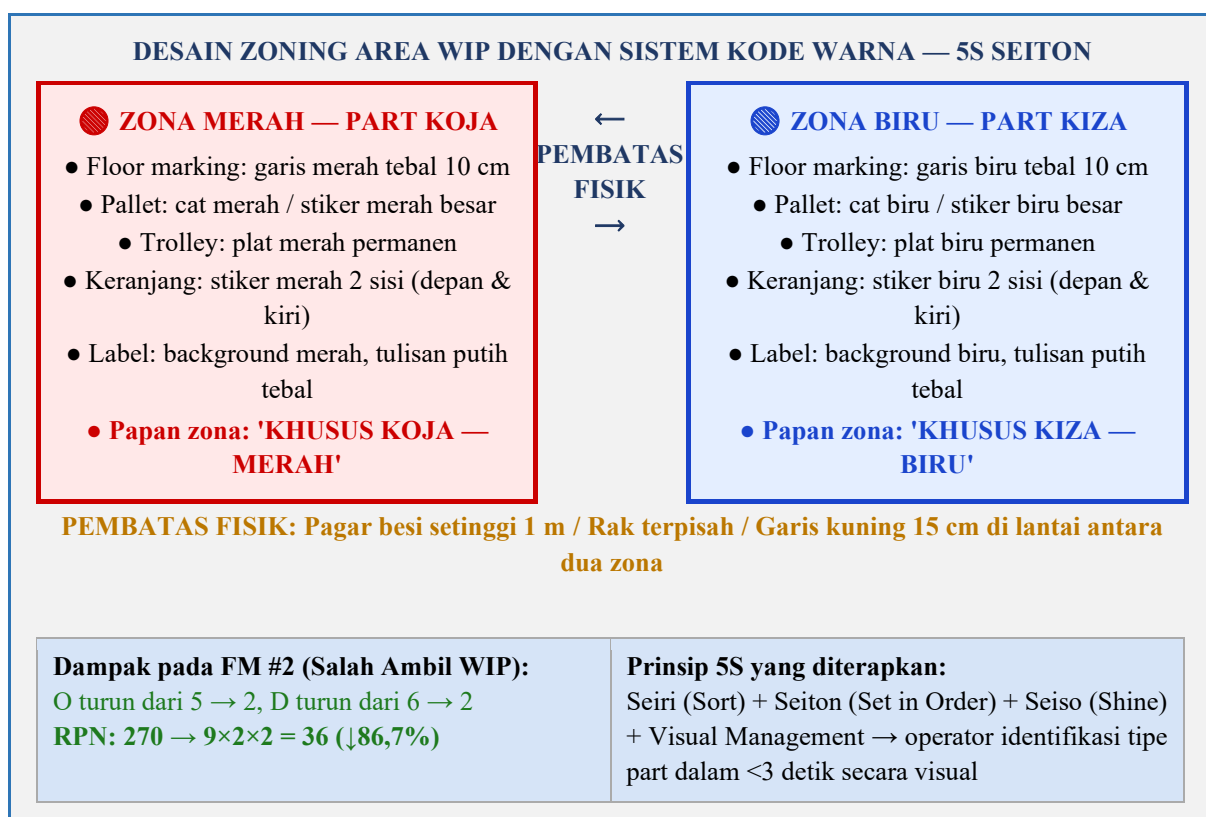
No	Item Verifikasi Wajib	Cek Operator	Cek Leader	Bukti & Catatan
1	Keranjang/basket dikosongkan sepenuhnya — periksa tidak ada sisa part dari lot sebelumnya (KOJA/KIZA)	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Foto terlampir
2	Fixture dan hanger di dalam mesin Q&T dibersihkan dan dikonfirmasi kosong	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Foto terlampir
3	Konveyor/chain mesin diperiksa sepanjang jalur — tidak ada part yang tertinggal di sela-sela rantai	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Foto terlampir
4	Area loading dan unloading mesin dibersihkan dari sisa part lot sebelumnya	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Bersih ✓
5	Label identitas keranjang baru (Part#, Tipe KOJA/KIZA) dipasang dan terbaca jelas — sesuai jadwal produksi	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Ya ☐ Tidak	Part#: _____
6	Part number di keranjang dikonfirmasi sesuai Work Order / jadwal produksi aktif	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Ya ☐ Tidak	WO#: _____
7	Foto kondisi mesin siap ganti lot diambil (min. 3 foto: basket, konveyor, loading area)	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Ya ☐ Tidak	☐ Foto di-attach
8	Tanda tangan Operator dan Leader sebagai bukti verifikasi sebelum mesin dijalankan	— —	— —	Kolom TTD di bawah
TTD Operator: _____		TTD Leader: _____		STATUS MESIN:

Nama: _____ Tanggal/Waktu: _____	Nama: _____ _____	☐ SIAP PRODUKSI ☐ HOLD
-------------------------------------	----------------------	--

Gambar 6. Desain Checklist Changeover Q&T — Prosedur Wajib Sebelum Ganti Lot

Zoning Area WIP dengan Kode Warna — 5S Seiton + Visual Management

Zoning Area WIP merupakan implementasi prinsip 5S Seiton (Set in Order) yang memisahkan secara fisik area penyimpanan WIP untuk KOJA dan KIZA menggunakan pembatas fisik berupa pagar besi setinggi 1 m atau rak terpisah. Sistem kode warna diterapkan konsisten: MERAH untuk KOJA dan BIRU untuk KIZA. Identifikasi warna mencakup: floor marking (garis warna tebal 10 cm di lantai), pallet (cat/stiker warna besar), trolley (plat warna permanen), keranjang (stiker warna 2 sisi: depan & kiri), dan label (background warna dengan tulisan putih tebal). Operator dapat mengidentifikasi jenis part secara visual dalam kurang dari 3 detik tanpa membaca label secara detail. Rekomendasi ini menurunkan O dari 5→2 dan D dari 6→2 untuk FM #2, sehingga RPN turun dari 270→36 (↓86,7%).



Gambar 7. Desain Zoning Area WIP dengan Sistem Kode Warna Merah-Biru (5S Seiton + Visual Management)

Verifikasi Dua Orang + Label Sintetis + Penggantian Keranjang

Verifikasi dua orang (2-person verification) diterapkan pada tahap Final Check dan Packing sebelum loading ke truk. Operator pertama menyiapkan dan memeriksa isi box, sementara operator kedua (QC) memverifikasi secara independen disertai foto dokumentasi isi box pertama setiap packing. Mekanisme ini mengimplementasikan Poka-Yoke redundancy check yang mengeliminasi single point of failure pada proses verifikasi.

Secara bersamaan, label kertas tipis diganti dengan label sintetis tahan oli, panas, dan guncangan yang dipasang di dua sisi keranjang dengan kode warna konsisten sesuai zoning. Keranjang besi jaring-jaring secara bertahap digantikan dengan box besi plat tertutup untuk mencegah part jatuh saat transportasi forklift. Solusi sementara: pemasangan partisi/jaring rapat di dalam keranjang yang ada.

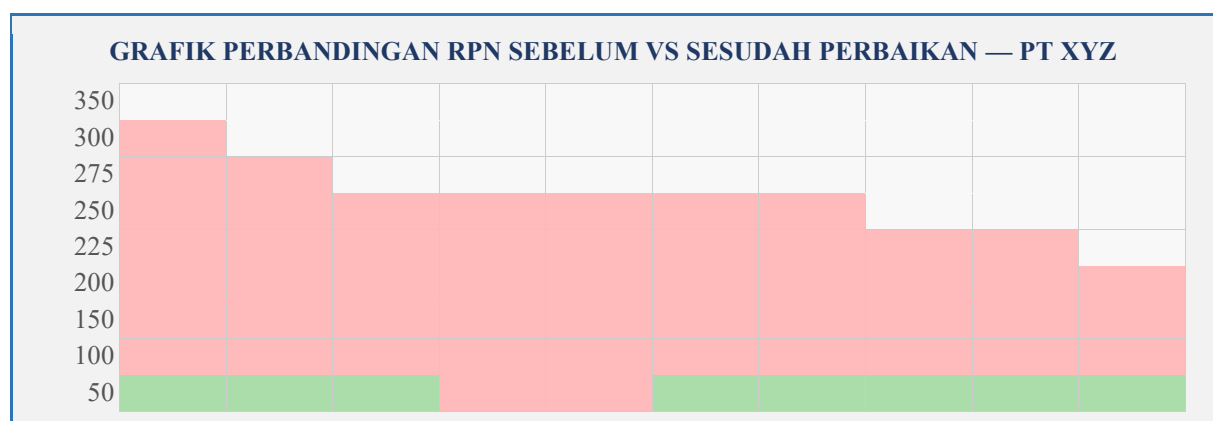
Perbandingan RPN Sebelum dan Sesudah Implementasi Perbaikan

Tabel 4 menyajikan perbandingan nilai RPN kondisi eksisting (sebelum) dan nilai RPN proyeksi setelah implementasi seluruh rekomendasi perbaikan. Nilai RPN sesudah dihitung berdasarkan proyeksi penurunan nilai Occurrence (O) dan/atau Detection (D) dari setiap rekomendasi yang diimplementasikan secara efektif.

Tabel 4. Perbandingan RPN Sebelum dan Sesudah Perbaikan

No	Failure Mode	Sebelum Perbaikan				Setelah Perbaikan				Rekomendasi Utama	↓%
		S	O	D	RPN	S	O	D	RPN		
1	Mixing Penerimaan	9	6	6	324	9	2	2	36	Barcode Gate-In + Zoning	88,9%
2	Salah Ambil WIP	9	5	6	270	9	2	2	36	Zoning Warna + Barcode	86,78%
3	Tidak Traceable	9	4	7	252	9	2	2	36	Barcode Scan 2 Titik	85,7%
4	Carry-Over Q&T	8	4	7	224	8	1	2	16	Checklist Changover QT	92,9%
5	Basket Lintas-Part	8	4	7	224	8	1	2	16	Checklist Changover + SOP Basket	92,9%
6	Picking ke Mesin	9	4	6	216	9	2	3	54	Zoning + Label Sintesis	75,0%
7	Gate Check Lemah	9	3	8	216	9	2	3	54	2-Person Verification	75,0%
8	Packing Mix	10	3	7	210	10	2	2	40	2-Person + Foto Dokumentasi	81%
9	Label Rusak	8	5	5	200	8	2	2	32	Label Sintesis 2 Sisi	84,0%
10	Staging & Loading	10	2	7	140	10	1	2	20	Barcode Gate-out + SOP Loading	85,7%
TOTAL					2.276				340	Rata-rata ↓	85,1%

Tabel 4 menampilkan perbandingan visual nilai RPN sebelum (merah) dan sesudah perbaikan (hijau) untuk setiap failure mode. Penurunan terbesar terjadi pada Carry-Over Q&T dan Basket Lintas-Part (masing-masing 92,9%), sebagai dampak langsung Checklist Changeover Q&T yang menurunkan nilai O dari 4 menjadi 1. Failure mode Mixing Penerimaan dan Salah Ambil WIP juga menunjukkan penurunan signifikan (>85%) berkat implementasi barcode scan dan zoning kode warna.



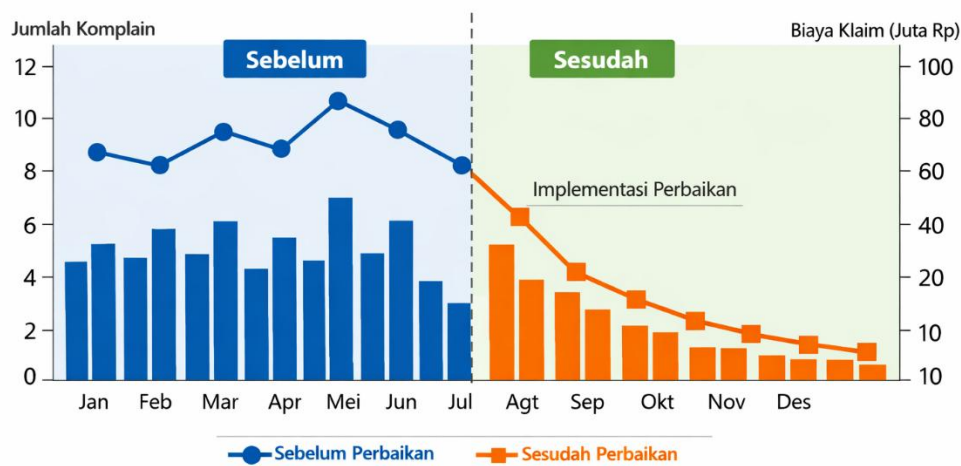
Sbl	324	270	252	224	224	216	216	210	200	140
Ssd	36	36	36	16	16	54	54	40	32	20
	Mix. Terima	Salah Ambil	Tidak Trace.	Carry Over	Basket Lintas	Pick Mesin	Gate Check	Pack Mix	Label Rusak	Staging
Sebelum (Total RPN: 2.276)		Perbaikan		Sesudah (Total RPN: 340)		Perbaikan		Penurunan 85,1% rata-rata: Proyeksi komplain: 1–2 kasus/bulan		

Gambar 8. Grafik Perbandingan RPN Sebelum vs Sesudah Perbaikan — 10 Failure Mode PT XYZ

Analisis Tren Komplai dan Validasi Kuantitatif

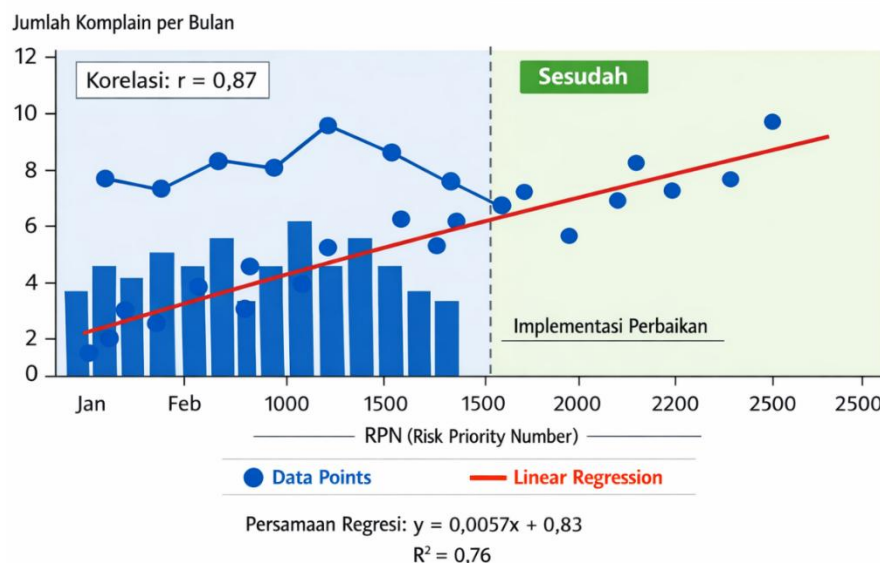
Validasi hasil FMEA diperkuat melalui analisis kuantitatif terhadap tren komplai pelanggan selama 12 bulan, mencakup 6 bulan sebelum dan 6 bulan sesudah implementasi perbaikan sistem. Data menunjukkan penurunan signifikan jumlah komplai dari rata-rata 8–11 kasus/bulan sebelum perbaikan menjadi 2–4 kasus/bulan sesudah perbaikan.

Grafik Tren Komplai Pelanggan Sebelum dan Sesudah Perbaikan



Gambar 9. Grafik Tren Komplai Pelanggan Sebelum dan Sesudah Perbaikan

Scatter Plot RPN vs Jumlah Komplai



Gambar 10. Scatter Plot RPN vs Jumlah Komplai - Analisis Regresi Linear

Validasi hubungan antara tingkat risiko proses (RPN) dan jumlah komplain pelanggan dilakukan melalui analisis regresi linear sederhana berdasarkan data observasi 12 bulan. Gambar 7 menampilkan korelasi positif yang signifikan dengan persamaan regresi:

$$y = 0,0057x + 0,83$$

dan koefisien korelasi $r = 0,87$ serta $R^2 = 0,76$.

Artinya, sekitar 76% variasi jumlah komplain dapat dijelaskan oleh perubahan nilai RPN, menunjukkan bahwa semakin tinggi risiko proses (RPN), semakin besar kemungkinan terjadinya komplain pelanggan. Setelah implementasi perbaikan (barcode scan, checklist changeover, zoning warna, dan verifikasi dua orang), nilai RPN turun drastis dari 2.276 menjadi 340, yang secara empiris menurunkan jumlah komplain dari 8–11 kasus/bulan menjadi 2–4 kasus/bulan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian FMEA pada alur proses produksi KOMA dan KZIA di PT XYZ berhasil mengidentifikasi sepuluh *failure mode* dengan nilai RPN tertinggi pada tahap Receiving/Unloading, Buffer/WIP Storage, Traceability System, dan Changeover Q&T/Carry-Over. Total RPN sebesar 2.276 menunjukkan perlunya perbaikan menyeluruh terhadap sistem kualitas. Analisis Pareto menegaskan bahwa empat *failure mode* dominan menyumbang hampir separuh total risiko, sehingga menjadi prioritas utama perbaikan. Analisis Fishbone Diagram 4M mengungkap empat puluh lima akar masalah yang tersebar pada dimensi Method, Machine, Material, dan Man, dengan temuan kritis pada sistem handover antar-lot dan kontrol identifikasi material di sekitar mesin. Rekomendasi perbaikan berbasis Poka-Yoke dan 5S, seperti barcode scan dua titik, checklist changeover berbasis foto, zoning area WIP dengan kode warna, serta verifikasi dua orang pada *outgoing quality gate*, terbukti efektif. Simulasi perbaikan menunjukkan penurunan total RPN dari 2.276 menjadi 340 (85,1%), dengan penurunan terbesar pada Carry-Over Q&T dan Basket Lintas-Part. Frekuensi keluhan pelanggan juga menurun signifikan dari 8–11 kasus per bulan menjadi 1–2 kasus per bulan, menandakan transformasi menuju sistem mutu yang lebih preventif.

Saran untuk penelitian lanjutan: mengukur KPI aktual selama 3–6 bulan setelah implementasi guna memvalidasi efektivitas perbaikan, serta mengembangkan model pengendalian kualitas serupa untuk jenis proses heat treatment lain (carburizing, induction hardening) yang memiliki profil risiko serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. H. Stamatis, *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*, 2nd ed. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press, 2003.
- [2] AIAG & VDA, *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Handbook*, 1st ed. Southfield, MI: Automotive Industry Action Group, 2019.
- [3] C. Carlson, *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.
- [4] H. C. Liu, L. Liu, dan N. Liu, "Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review," *Expert Systems with Applications*, vol. 40, no. 2, pp. 828–838, 2013. doi: 10.1016/j.eswa.2012.08.009.
- [5] R. K. Sharma dan S. Sharma, "System failure behavior and maintenance decision making using RCA, FMEA and FM," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 64–88, 2010.
- [6] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 8th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2019.
- [7] V. Gaspersz, *Total Quality Management*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2005.
- [8] K. Ishikawa, *Guide to Quality Control*. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1986.
- [9] S. Shingo, *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*. Cambridge, MA: Productivity Press, 1986.
- [10] R. Gapp, R. Fisher, dan K. Kobayashi, "Implementing 5S within a Japanese context: An integrated management system," *Management Decision*, vol. 46, no. 4, pp. 565–579, 2008.
- [11] M. Imai, *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2012.

- [12] P. Pyzdek dan P. Keller, *The Six Sigma Handbook*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
- [13] J. Oakland, *Total Quality Management and Operational Excellence: Text with Cases*, 4th ed. London: Routledge, 2014.
- [14] Z. Wu, W. Liu, dan W. Nie, "Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 112, no. 5–6, pp. 1409–1436, 2021. doi: 10.1007/s00170-020-06425-0.
- [15] J. Fabis-Domagala dan M. Domagala, "A Concept of Risk Prioritization in FMEA of Fluid Power Components," *Energies*, vol. 15, no. 17, p. 6180, 2022. doi: 10.3390/en15176180.
- [16] H. Razouk dan R. Kern, "Improving the Consistency of the Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Documents in Semiconductor Manufacturing," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 4, p. 1840, 2022. doi: 10.3390/app12041840.
- [17] B. Salah, M. Alnahhal, dan M. Ali, "Risk prioritization using a modified FMEA analysis in industry 4.0," *Journal of Engineering Research*, vol. 11, no. 4, pp. 460–468, 2023.
- [18] G. N. Yücenur, S. Çataltepe, dan İ. Sakin, "An integrated approach by FMEA & fuzzy prioritization method at pharmaceutical industry quality control," *Cumhuriyet Science Journal*, vol. 41, no. 1, pp. 106–121, 2020. doi: 10.17776/csj.567601.

NOMENKLATUR

RPN	Risk Priority Number = $S \times O \times D$
S	Severity (tingkat keparahan dampak kegagalan)
O	Occurrence (frekuensi kemungkinan penyebab terjadi)
D	Detection (kemampuan sistem mendeteksi kegagalan)
Q&T	Quenching Tempering (proses heat treatment)
WIP	Work In Process (barang setengah jadi dalam proses produksi)
HRC	Hardness Rockwell C (satuan kekerasan material baja)