



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/Index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 337-351

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

---

## Analisis Pengendalian Kualitas Produk Cacat Komponen *Common rail AF* di *Line* Produksi *CI* Menggunakan Metode *FMEA* & *AHP* Studi Kasus PT XYZ

Anggit Eka Pratama<sup>1</sup>, Arief Rahmana<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama

[anggit.eka@widyatama.ac.id](mailto:anggit.eka@widyatama.ac.id), [arief.rahmana@widyatama.ac.id](mailto:arief.rahmana@widyatama.ac.id)

### Abstrak

Pada industri otomotif, komponen *common rail* berperan vital dalam sistem bahan bakar diesel karena menyalurkan bahan bakar bertekanan tinggi ke ruang bakar. Tingginya produk cacat dapat menimbulkan kerugian finansial bagi perusahaan. Standar perusahaan menetapkan batas cacat maksimum 0,2% dari total produksi, namun pada *line* produksi *CI* rata-rata tingkat cacat mencapai 0,47% sehingga pengendalian kualitas belum optimal. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jenis cacat dominan, menentukan prioritas penanggulangan, dan memberikan usulan perbaikan. Metode *Failure mode and Effect Analysis (FMEA)* digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dari cacat dominan, sedangkan *Analytical Hierarchy Process (AHP)* digunakan untuk menentukan bobot kepentingan kriteria *FMEA*. Prioritas perbaikan ditentukan berdasarkan nilai  $RPN_{(AHP)}$ . Data yang digunakan berasal dari laporan produksi dan cacat selama 11 bulan (Januari–November 2025). Hasil menunjukkan cacat dominan meliputi drill  $\varnothing 0,67$  patah, karat, dan lubang  $\varnothing 8$  gores/kasar. Nilai  $RPN_{(AHP)}$  tertinggi pada cacat drill  $\varnothing 0,67$  patah adalah deteksi cacat hanya visual (8) dan pengecekan getaran mesin secara visual (7,87). Pada cacat karat, penyebab utama adalah proses *airblow* sebelum inspeksi (6,78) serta penggunaan sarung tangan kotor (6,35). Pada cacat lubang  $\varnothing 8$  gores/kasar, prioritas tertinggi adalah pemasangan benda kerja tidak rata dengan *fixture* (8,54) dan saluran *coolant* mampet (8,44). Usulan perbaikan meliputi inspeksi 100% *in-process* berbasis sensor patah drill, pemasangan pengunci kaki mesin, pencelupan anti karat, edukasi penggunaan sarung tangan, sensor *gap switch*, serta *flowmeter coolant*.

**Kata kunci:** Cacat, *Pareto Diagram*, *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)*, *Analytical Hierarchy Process (AHP)*

### 1. Latar Belakang

Pada komponen *common rail* sistem bahan bakar diesel, ketelitian dimensi dan kualitas permukaan menjadi krusial karena komponen bekerja pada tekanan tinggi serta menuntut aliran bahan bakar yang stabil dan presisi. Dalam konteks produksi massal, peningkatan produk cacat pada komponen ini menjadi persoalan strategis karena berdampak langsung pada *cost of poor quality*. Pertama, dari sisi internal, sebagian besar cacat pada *common rail* tidak dapat *dirework* sehingga harus menjadi *scrap*. Kondisi ini menaikkan biaya produksi per unit baik melalui pemborosan material maupun waktu proses yang terbuang. Kedua, jika cacat lolos hingga pelanggan, konsekuensinya jauh lebih serius karena berpotensi memicu gangguan performa mesin (misalnya pembakaran tidak stabil) hingga risiko keselamatan seperti potensi kebakaran kendaraan. Dampak eksternal tersebut dapat memicu biaya garansi, kompensasi, bahkan *recall*, serta menurunkan tingkat kepercayaan pelanggan dan reputasi perusahaan.

Kasus tersebut terlihat pada PT XYZ sebagai produsen komponen otomotif dengan salah satu produk utama berupa *common rail*. Di antara berbagai tipe, *common rail* tipe *AF* memiliki volume produksi tertinggi dengan rata-rata pemesanan 93.253 unit per bulan selama periode Januari–November 2025. Untuk menyeimbangkan beban kerja, proses produksi *AF* dibagi menjadi enam *line* (*CI* hingga *C6*). Namun, data Januari–November 2025 menunjukkan terdapat 2.397 unit produk cacat (2,53%), dan 528 unit di antaranya berasal dari *line CI*. Dengan harga unit sekitar Rp 200.000, kerugian *scrap* tahunan diperkirakan mencapai Rp 479.400.000. Selain kerugian internal tersebut, pada Januari 2025 terjadi pengiriman komponen *AF* cacat yang lolos ke pelanggan sehingga perusahaan menanggung biaya kompensasi sebesar Rp 58.800.000. Hal ini menunjukkan bahwa produk cacat tidak hanya menambah biaya produksi, tetapi juga meningkatkan risiko biaya eksternal dan penurunan efisiensi proses.

Dari sisi kendali mutu, perusahaan menetapkan batas cacat maksimum 0,2% dari total produksi. Akan tetapi, pada *line* produksi *CI* tercatat rata-rata tingkat cacat 0,47%. Selisih ini mengindikasikan bahwa pengendalian kualitas di *CI* belum berjalan efektif dan perlu diperbaiki melalui pendekatan yang tidak hanya mendeteksi integrasi *FMEA–AHP* melalui perhitungan  $RPN_{(AHP)}$ . Menyusun usulan perbaikan yang efektif dan tepat sasaran untuk menekan tingkat cacat agar sesuai standar cacat, tetapi juga memprioritaskan penanganan risiko berdasarkan dampaknya. Dalam literatur pengendalian kualitas, pendekatan berbasis risiko sering menggunakan *Failure mode and Effect Analysis (FMEA)* untuk mengidentifikasi mode kegagalan, menilai tingkat keparahan (*Severity*), peluang kejadian (*Occurrence*), serta kemampuan deteksi (*Detection*), kemudian menentukan prioritas melalui *Risk Priority Number (RPN)* (Dzakirah & Muhammad, 2024). *FMEA* efektif untuk memetakan risiko proses secara sistematis, namun praktik di lapangan menunjukkan keterbatasan ketika penilaian *S–O–D* memiliki bobot yang dianggap setara, padahal tingkat kepentingannya dapat berbeda tergantung karakteristik proses, kemampuan inspeksi, serta risiko pelanggan. Oleh karena itu, penggabungan *FMEA* dengan *Analytical Hierarchy Process (AHP)* menjadi relevan karena *AHP* dapat menentukan bobot kepentingan kriteria secara terstruktur melalui *pairwise comparison*, sehingga prioritas risiko menjadi lebih kontekstual dan konsisten. Pendekatan ini sejalan dengan kebutuhan pengendalian kualitas untuk mengukur tingkat kecacatan serta menetapkan tindakan perbaikan yang tepat sasaran (Adawiyah & Donoriyanto, 2022).

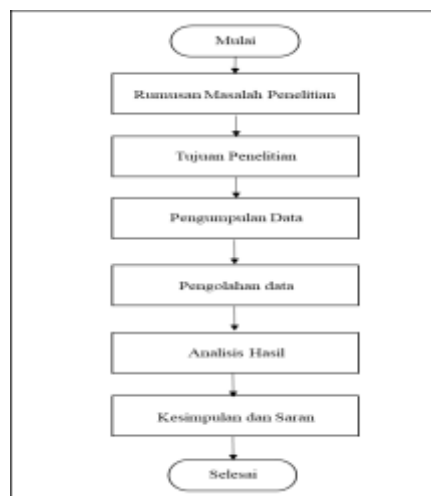
Berdasarkan kondisi tersebut, kesenjangan (*gap*) pada PT XYZ adalah belum tersusunnya prioritas perbaikan yang mengintegrasikan: (1) identifikasi cacat dominan berbasis data produksi yang cukup panjang, (2) pemetaan penyebab utama pada level proses *line CI*, dan (3) pemeringkatan risiko yang mempertimbangkan perbedaan bobot *S–O–D* sesuai kondisi aktual proses. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penerapan alur analisis yang lebih operasional dan spesifik untuk kasus *common rail AF line CI* menggunakan data 11 bulan (Januari–November 2025), yaitu: menentukan cacat dominan (Pareto), menelusuri akar penyebab terstruktur (*fishbone* pada faktor *Man–Machine–Method*), kemudian menetapkan prioritas perbaikan menggunakan *FMEA* berbobot *AHP* sehingga menghasilkan  $RPN_{(AHP)}$  sebagai dasar usulan perbaikan yang dapat langsung diterapkan pada titik proses yang paling kritis.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih kuat dalam menurunkan tingkat cacat di *line CI* menuju target perusahaan, sekaligus mengurangi risiko biaya internal (*scrap*) dan eksternal (komplain pelanggan).

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Alur Penelitian

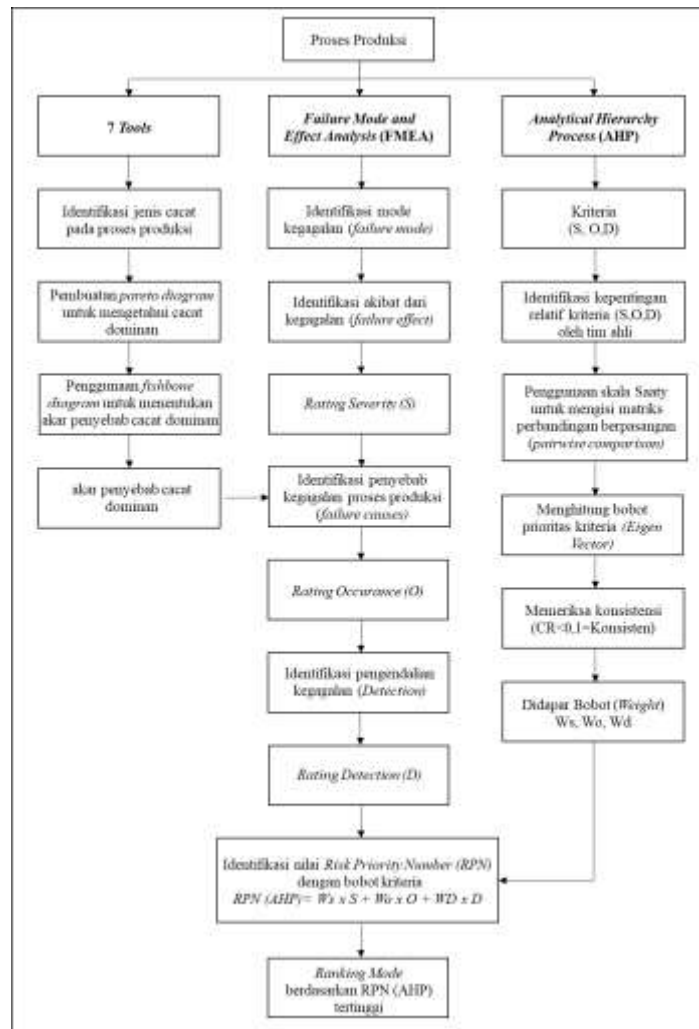
Penelitian ini disusun dimulai dari perumusan masalah dan tujuan, dilanjutkan pengumpulan serta pengolahan data, kemudian analisis hasil untuk menentukan prioritas perbaikan, hingga penyusunan kesimpulan dan saran. Tahap pengolahan data yang berfokus pada penentuan cacat dominan, penelusuran akar penyebab, perhitungan *FMEA*, pembobotan kriteria *FMEA* menggunakan *AHP*, serta penentuan prioritas perbaikan berdasarkan nilai  $RPN_{(AHP)}$ .



Gambar 1 Alur Penelitian

**2.2. Metode dan Teknik Penelitian**

Objek penelitian adalah kualitas produk *common rail* tipe *AF* pada *line* produksi *CI* di PT XYZ. Kegiatan studi lapangan meliputi observasi, wawancara, dan pengisian kuesioner *AHP* yang dilaksanakan pada Oktober–Desember 2025, sedangkan data performa kualitas yang dianalisis menggunakan periode Januari–November 2025 (11 bulan). Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif karena memanfaatkan data numerik jumlah produksi dan jumlah cacat untuk menghitung frekuensi kecacatan, menyusun diagram Pareto, serta melakukan penilaian skala pada *Severity–Occurrence–Detection* dan perhitungan bobot kriteria menggunakan *AHP* guna menghasilkan prioritas perbaikan. Data penelitian terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di *line CI* untuk memetakan urutan proses, mengidentifikasi titik proses kritis, jenis cacat yang muncul, serta mekanisme pemeriksaan kualitas baik *in-process* maupun final check. Selain itu dilakukan wawancara dengan pihak produksi, *quality*, dan *engineering* untuk memvalidasi penyebab cacat di lapangan, kondisi mesin/*fixture*, serta efektivitas kontrol yang berjalan. Pembobotan kriteria *FMEA* dilakukan menggunakan kuesioner perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) yang diisi oleh tim lintas fungsi (*engineering–quality–produksi*) agar bobot *S–O–D* mencerminkan kondisi aktual proses. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen internal perusahaan berupa laporan produksi dan laporan cacat *common rail AF* selama 11 bulan (Januari–November 2025) pada *line CI*, serta standar mutu perusahaan terkait batas maksimum cacat. Adapun alur dari proses pengolahan data terdapat pada *Gambar 2*



Gambar 2 Alur Proses Pengolahan Data

### 2.3 Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data diawali dengan pemetaan aliran proses produksi di *line CI*,

1. Mulai dari material masuk hingga komponen siap kirim, untuk mengidentifikasi titik proses yang berpotensi menjadi sumber cacat serta mengaitkan cacat dengan proses pembentuknya dan kontrol yang tersedia.
2. Selanjutnya, data cacat periode Januari–November 2025 dikelompokkan berdasarkan jenis cacat dan dihitung frekuensinya, kemudian disusun diagram Pareto untuk menentukan cacat dengan kontribusi terbesar sebagai cacat dominan. Untuk setiap cacat dominan,
3. Dilakukan analisis *fishbone* dengan faktor *Man*, *Machine*, dan *Method* guna memperoleh daftar penyebab spesifik yang digunakan sebagai *Failure cause* pada *FMEA*.
4. Tahap berikutnya adalah penyusunan *FMEA* untuk tiap cacat dominan yang memuat *Failure mode*, *Failure effect*, *Failure cause*, *Current control*, serta penilaian *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, dan *Detection (D)* skala 1–10

Tabel 1. *Rating Severity Common rail*

<i>Rating</i>	Kategori	Dampak
10	<i>Hazardous without Warning</i>	Jika cacat lolos dan dipasang di kendaraan, terjadi gagal di lapangan dengan potensi isu <i>safety</i> sehingga klaim garansi besar dan reputasi rusak.
9	<i>Hazardous with Warning</i>	Jika cacat lolos, kendaraan gagal fungsi tanpa potensi kecelakaan langsung sehingga klaim garansi dan return massal dapat terjadi.
8	<i>Very High</i>	Jika cacat lolos, gagal di EOL test <i>customer (leak test/pressure test)</i> , <i>line customer</i> terganggu sehingga terjadi debit note/klaim ke perusahaan.
7	<i>High</i>	Jika cacat lolos, assembly <i>customer</i> sulit/sering gagal, banyak rework di <i>line customer</i> sehingga menimbulkan komplain kualitas formal.
6	<i>Moderate</i>	Jika cacat lolos, masih bisa dirakit tetapi butuh rework ringan dan menyebabkan pemborosan waktu/biaya <i>customer</i> sehingga berpotensi debit note kecil.
5	<i>Low</i>	Jika cacat lolos, tidak mengganggu fungsi, tetapi <i>customer</i> menganggap sebagai <i>defect</i> kualitas dan mengajukan komplain.
4	<i>Very Low</i>	Dampak hanya pada visual/estetika area non-kritis; biasanya menjadi catatan quality tanpa klaim finansial.
3	<i>Minor</i>	Hampir tidak ada pengaruh ke fungsi maupun proses assembly; hanya menyimpang sedikit dari preferensi internal.
2	<i>Very Minor</i>	Deviasi kecil yang hanya terdeteksi oleh pengukuran internal; <i>customer</i> hampir pasti tidak merasakan dampak.
1	<i>None</i>	Tidak ada dampak ke fungsi, assembly, maupun estetika; hanya tercatat di dokumentasi engineering.

Tabel 2. *Rating Occurance*

<i>Rating</i>	Karakteristik	Definisi	Frekuensi
1	Nyaris mustahil	Tidak mungkin terjadi	Tidak pernah terjadi
2	Hampir tidak pernah	Kemungkinan muncul sangat kecil	< 1 kali per tahun
3	Sangat jarang	Hampir tidak pernah muncul, tapi masih mungkin	1 kali per tahun
4	Jarang	Tidak rutin muncul, muncul pada kondisi spesifik	1-2 kali per 6 bulan
5	Sedang (Kadang)	Muncul sesekali saat kondisi tertentu	1 kali per 2-3 bulan
6	Sedang (Agak sering)	Kadang muncul tapi cukup mengganggu	1 kali per bulan
7	Cukup sering	Muncul berkala dan terlihat polanya	2-3 kali perbulan

Rating	Karakteristik	Definisi	Frekuensi
8	Sering	Berulang dan dianggap masalah rutin	1-2 kali per minggu
9	Sangat sering	Muncul sangat sering dan sulit dikendalikan	3-6 kali per minggu
10	Hampir selalu	Penyebab cacat muncul hampir setiap proses	$\geq 1$ kali per hari dan berulang setiap shift

Tabel 3. Rating Detection

Rating	Keterangan	Kemampuan Deteksi
1	Pencegahan terjadinya kegagalan berfungsi sangat 100%	Pasti terdeteksi, dengan <i>automatic checking</i>
2	Pencegahan terjadinya kegagalan berfungsi baik 85- 90%	Hampir pasti terdeteksi, dilengkapi dengan <i>poke-yoke</i> di <i>fixture &amp; program interlock/alarm CNC</i>
3	Pencegahan terjadinya kegagalan berfungsi baik 80- 85%	Sangat baik, dimana pengecekan semi 100% serta sistem stabil dan terkalibrasi.
4	Pencegahan terjadinya kegagalan cukup berfungsi dengan baik 70-80%	Baik, rutin dicek dengan alat yang benar
5	Pencegahan terjadinya kegagalan masih cukup berfungsi dengan baik 65-70%	Cukup baik, karena ada kontrol dan SOP jelas.
6	Pencegahan terjadinya kegagalan masih cukup berfungsi dengan baik 50-65%	Sedang, dengan kondisi <i>In-process check dan final check sampling</i> , tapi belum 100%
7	Pencegahan terjadinya kegagalan kurang berfungsi dengan baik 30-50%	Cukup rendah, dengan kondisi <i>In-process check</i> , tetapi frekuensi rendah
8	Pencegahan terjadinya kegagalan kurang berfungsi 20-30%	Rendah dan ada pengukuran, sangat jarang dengan alat kurang tepat
9	Pencegahan terjadinya kegagalan tidak berfungsi 0-20%	Sangat rendah, dimana hanya <i>visual check</i> oleh operator
10	Pencegahan terjadinya kegagalan sama sekali tidak berfungsi	Hampir tidak terdeteksi, karena tidak ada kontrol spesifik dan pengukuran

Perhitungan *AHP* digunakan untuk memperoleh bobot kepentingan  $W_S$ ,  $W_O$ , dan  $W_D$  pada kriteria *Severity–Occurrence–Detection*. Bobot ditentukan melalui penyusunan *Matriks* perbandingan berpasangan berdasarkan kuesioner responden, kemudian karena melibatkan lebih dari satu responden, nilai perbandingan digabung menggunakan geometric mean

$$GM = \sqrt[n]{(X_1)(X_2) \dots (X_n)}.$$

*Matriks* gabungan selanjutnya dinormalisasi untuk memperoleh bobot relatif dan dihitung eigen vector (EV) sebagai bobot prioritas. Konsistensi penilaian diuji melalui  $\lambda_{max}$ , *Consistency Index* (CI), dan *Consistency Ratio* (CR), dengan RI = 0,58 untuk *Matriks* 3×3; apabila CR < 0,1 maka penilaian dinyatakan konsisten, sedangkan jika CR  $\geq$  0,1 pengisian diulang hingga konsisten. Bobot *AHP* kemudian digunakan untuk menghitung prioritas risiko melalui  $RPN_{(AHP)}$  dengan persamaan

$$RPN(AHP) = (W_S \times S) + (W_O \times O) + (W_D \times D).$$

Nilai  $RPN(AHP)$  diurutkan dari tertinggi ke terendah untuk menentukan prioritas penanggulangan, dan analisis difokuskan pada penyebab dominan serta mode dengan  $RPN_{(AHP)}$  tertinggi. Rekomendasi perbaikan difokuskan pada dua nilai  $RPN_{(AHP)}$  tertinggi untuk setiap cacat dominan, karena dianggap paling berpengaruh menurunkan cacat di *line C1* melalui penurunan peluang kejadian (O) dan/atau peningkatan kemampuan deteksi (D).

### 3. Hasil dan Diskusi

Dalam penelitian dihasilkan checksheet berupa data cacat produk meliputi jenis dan jumlah cacat yang muncul pada *common rail* dalam rentang waktu Januari-November 2025. Checksheet berguna untuk mempermudah proses pengumpulan data serta analisis kondisi aktual produk cacat yang muncul di *line* produksi. Data rekap seluruh cacat *line* produksi *common rail C1-C6* dapat dilihat pada gambar tabel

Data Line	Keterangan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Total
C1	Cacat (pcs)	80	11	78	36	88	47	26	96	35	14	17	528
	Total Produksi (pcs)	9204	6192	11664	9246	13260	8784	8064	11052	10782	7014	8875	104137
	% Cacat	0.87%	0.18%	0.67%	0.39%	0.66%	0.54%	0.32%	0.87%	0.32%	0.20%	0.19%	0.51%
C2	Cacat (pcs)	37	22	0	11	27	12	68	83	43	53	57	413
	Total Produksi (pcs)	13194	10506	0	9876	13848	9294	13752	13728	13320	14334	9732	121584
	% Cacat	0.28%	0.21%	0.00%	0.11%	0.19%	0.13%	0.49%	0.60%	0.32%	0.37%	0.59%	0.34%
C3	Cacat (pcs)	35	3	76	9	17	5	9	15	16	9	13	207
	Total Produksi (pcs)	6048	1278	10668	2874	7650	2136	3684	5340	5274	2310	780	48042
	% Cacat	0.58%	0.23%	0.71%	0.31%	0.22%	0.23%	0.24%	0.28%	0.30%	0.39%	1.67%	0.43%
C4	Cacat (pcs)	56	30	13	21	23	10	86	121	36	66	52	514
	Total Produksi (pcs)	12642	9528	5760	9060	9648	5170	14688	13782	12114	11872	10523	114787
	% Cacat	0.44%	0.31%	0.23%	0.23%	0.24%	0.19%	0.59%	0.88%	0.30%	0.56%	0.49%	0.45%
C5	Cacat (pcs)	94	29	55	55	21	10	54	36	97	59	40	550
	Total Produksi (pcs)	13230	8910	8604	9768	9780	6138	14466	10572	10242	11010	8853	111573
	% Cacat	0.71%	0.33%	0.64%	0.56%	0.21%	0.16%	0.37%	0.34%	0.95%	0.54%	0.45%	0.49%
C6	Cacat (pcs)	6	11	15	0	43	23	18	12	0	30	27	185
	Total Produksi (pcs)	1512	2232	7356	0	9480	8610	7086	8010	0	7506	7602	59394
	% Cacat	0.40%	0.49%	0.20%	0.00%	0.45%	0.27%	0.25%	0.15%	0.00%	0.40%	0.36%	0.31%
Total Produksi (pcs)												559517	
Total Cacat (pcs)												2397	
Total % Cacat												2.53%	

Gambar 3 Data cacat 6 line produk common rail

Dalam penelitian ini ada 6 produk *defect* yang teridentifikasi adalah produk *Drill*  $\phi 0,67$  patah, Karat, Lubang  $\phi 8$  gores/kasar, *Reamer*  $\phi 4$  patah, Lubang  $\phi 4$  kecil, Lubang perakitan miring, Lain-lain yang diproduksi 2025 (Januari-November)

Tabel 4. Jenis dan jumlah produk cacat common rail AF line C1

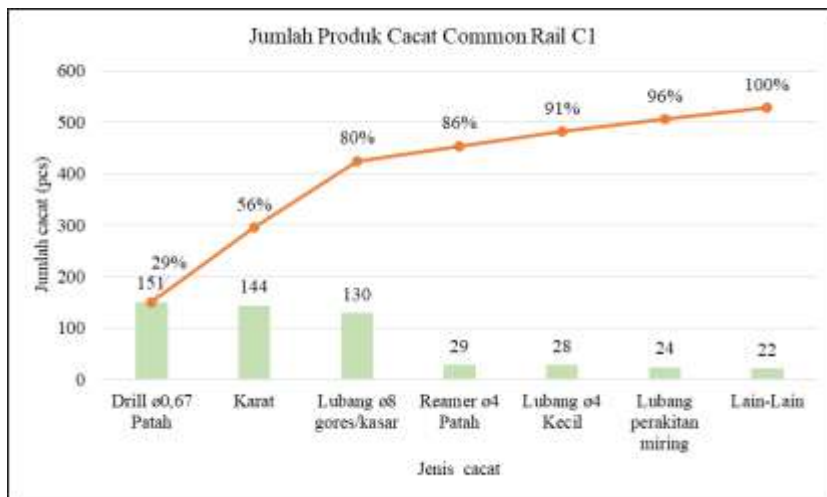
Cacat	Frekuensi
Cacat	151
<i>Drill</i> $\phi 0,67$ patah	144
Karat	130
Lubang $\phi 8$ gores/kasar	29
<i>Reamer</i> $\phi 4$ patah	28
Lubang $\phi 4$ kecil	24
Lubang perakitan miring	22
Lain-lain	528

Tabel 5. Frekuensi kumulatif produk cacat common rail AF di line C1 Januari-November 2025

Cacat	Frekuensi	Presentase	Presentase Kumulatif
Cacat	151	29%	29%
<i>Drill</i> $\phi 0,67$ patah	144	27%	56%
Karat	130	25%	80%
Lubang $\phi 8$ gores/kasar	29	5%	86%
<i>Reamer</i> $\phi 4$ patah	28	5%	91%
Lubang $\phi 4$ kecil	24	5%	96%
Lubang perakitan miring	22	4%	100%
Lain-lain	528	100%	

Dari data diatas dimana C1 menjadi line dengan jumlah cacat terbesar yaitu 528 unit selama masa produksi 2025 (Januari-November).

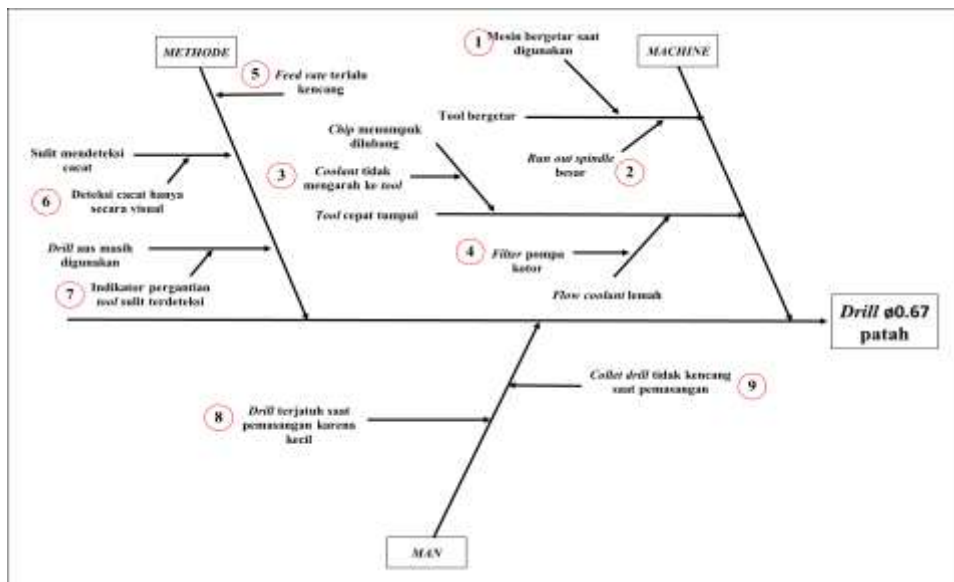
### 3.1 Diagram Pareto



Gambar 4 Pareto Diagram jenis dan jumlah produk cacat *common rail line C1*

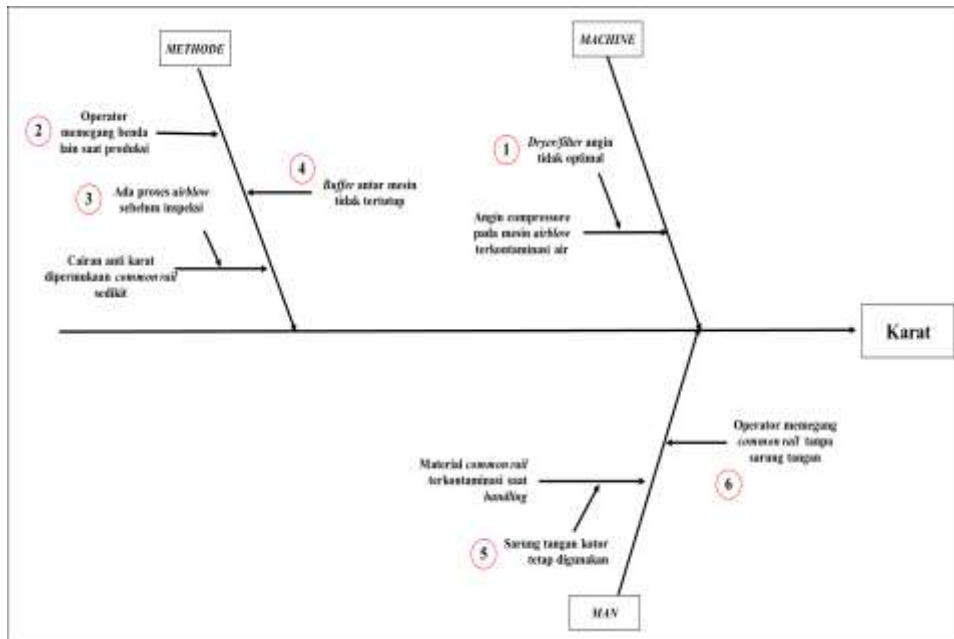
Berdasarkan diagram pareto pada Gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa hampir 80% produk cacat yang terjadi pada produk *common rail AF* di *line* produksi *C1* didominasi oleh 3 jenis produk cacat. Dapat diketahui bahwa jenis cacat yang paling dominan adalah *drill* Ø0,67 patah dengan jumlah 151 pcs atau sebesar 29% dari total cacat. Jenis cacat berikutnya adalah karat sebanyak 144 pcs sehingga persentase kumulatif mencapai 56%, dan lubang Ø8 gores/kasar sebanyak 130 pcs yang meningkatkan persentase kumulatif menjadi 80%. Hal ini menunjukkan bahwa tiga jenis cacat tersebut merupakan penyumbang utama sebagian besar produk cacat sesuai dengan prinsip Pareto, yaitu sekitar 80% masalah berasal dari 20% penyebab. Sementara itu, jenis cacat lainnya seperti *Reamer* Ø4 patah, lubang Ø4 kecil, lubang perakitan miring, dan lain-lain memiliki kontribusi yang relatif kecil dengan total sekitar 20% dari keseluruhan cacat. Oleh karena itu, upaya perbaikan kualitas sebaiknya diprioritaskan pada penanganan masalah *drill* Ø0,67 patah, karat, dan lubang Ø8 gores/kasar agar dapat menurunkan jumlah produk cacat secara signifikan.

### 3.2 Diagram Fishbone



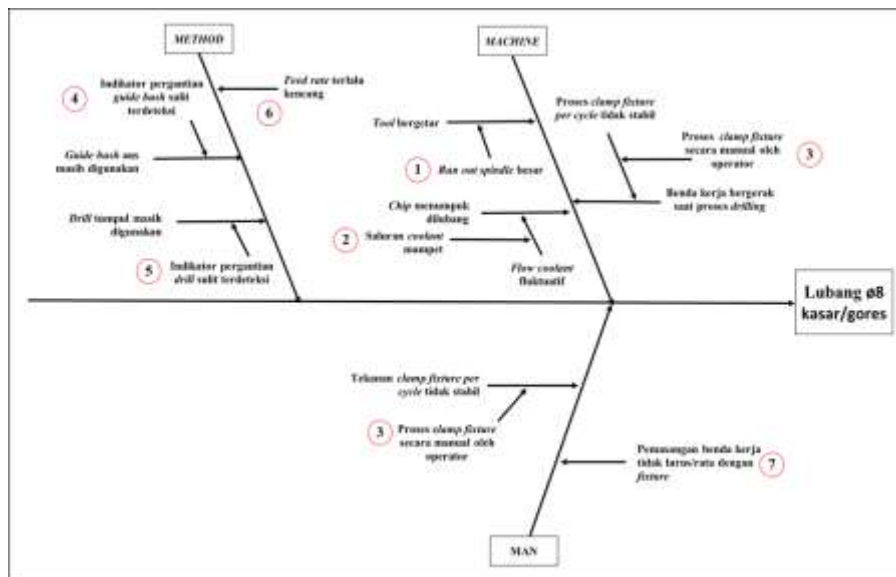
Gambar 5 Fishbone diagram Cacat *drill* Ø0.67 patah

*Drill* atau mata bor digunakan untuk membuat lubang pada bagian proses produksi *common rail*. Terdapat banyak jenis *drill* yang digunakan untuk membuat lubang presisi pada *common rail* salah satunya adalah *drill* Ø0.67 yang digunakan untuk membuat lubang pada area injector



Gambar 6 Fishbone diagram Cacat Karat

Produk cacat akibat karat terjadi akibat reaksi oksidasi antara material baja *common rail* dengan air dan oksigen. Cacat ini tentunya berbahaya karena *common rail* yang bekerja pada tekanan sangat tinggi dan celah sempit, sehingga cacat karat sekecil apapun dapat mempengaruhi sistem pembakaran atau merusak komponen lain sehingga menurunkan kualitas, ketahanan, dan kepercayaan *customer*.



Gambar 7 Fishbone Diagram lubang Ø8 kasar atau gores

Cacat permukaan lubang Ø8 yang kasar atau gores merupakan cacat kritis karena lubang utama ini berfungsi sebagai jalur aliran bahan bakar bertekanan sangat tinggi. Kekasaran atau goresan dapat menyebabkan kebocoran internal, penurunan performa sistem, hingga ledakan part *common rail* yang bekerja pada tekanan sangat tinggi sekitar 180 Mpa

### 3.3 Failure mode and Mode Effects Analysis

*FMEA* bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi potensi kegagalan yang terjadi pada proses sebelum produk sampai ke tangan pelanggan. Dalam penerapannya, *FMEA* memiliki tiga variabel utama, yaitu *severity* (tingkat keparahan), *occurrence* (tingkat kejadian), dan *detection* (kemampuan deteksi), yang digunakan untuk menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Data yang digunakan dalam analisis *FMEA* diperoleh dari diagram Pareto dan diagram *fishbone*. Diagram Pareto menunjukkan tiga jenis cacat dominan, yaitu *drill* Ø0,67 patah, karat, dan lubang Ø8 kasar/gores, yang digunakan untuk mengisi kolom *Failure mode*. Selanjutnya, data akar penyebab masalah (*root cause*) dari setiap jenis cacat dominan yang diperoleh dari diagram *fishbone* digunakan untuk mengisi kolom *Failure causes*. Sementara itu, pengisian kolom *Current control* serta penilaian parameter *FMEA* dilakukan oleh tenaga ahli dari *Engineering and Maintenance Work Department Manager*. Hasil penilaian tersebut selanjutnya disajikan pada Tabel 6

Tabel 6. *FMEA* Analysis

<i>Failure mode</i> (cacat)	<i>Failure effect</i> (dampak)	S	<i>Failure cause</i> prioritas	O	<i>Current control</i> (singkat)	D	RPN(AHP)
<i>Drill</i> Ø0,67 patah	Patahan <i>drill</i> tertinggal di lubang sehingga part tidak dapat digunakan dan berisiko menyebabkan kegagalan sistem bahan bakar	8	Deteksi cacat hanya secara visual	8	Pengecekan dengan lampu & kamera (tetap visual)	8	8,00
<i>Drill</i> Ø0,67 patah	Sama	8	Mesin bergetar saat digunakan	6	Cek getaran visual oleh <i>leader</i> pada <i>body</i> mesin	9	7,87
Karat	Cacat visual berpotensi menyebar ke komponen lain dan memicu komplain	5	Ada proses <i>airblow</i> sebelum ke <i>line</i> inspeksi	7	Pemeriksaan visual memastikan cairan anti karat masih ada	9	6,78
Karat	Sama	5	Sarung tangan kotor tetap digunakan	8	Pengawasan <i>line</i> gai + instruksi ganti sarung tangan	7	6,35
Lubang Ø8 gores/kasar	Permukaan lubang kasar/gores berisiko menyebabkan kebocoran internal hingga kegagalan pada tekanan tinggi	9	Pemasangan benda kerja tidak lurus/rata dengan <i>fixture</i>	7	Pengecekan kelurusan berdasar pengalaman operator	9	8,54

### 4. Perhitungan Bobot AHP

Perhitungan AHP dalam penelitian ini didasari pada perhitungan terhadap bobot kriteria *Severity*, *Occurance*, *Detection* pada *FMEA*

Untuk tahapannya adalah sebagai berikut:

- Identifikasi kriteria. Untuk kriteria yang digunakan adalah *Severity*, *Occurance*, *Detection* pada *FMEA*
- Identifikasi kepentingan relatif dari kriteria yang akan dihitung. Data tersebut diambil dari kuisioner dari tim *engineering*, *quality*, dan produksi untuk mempertimbangkan dengan kondisi aktual terkait bobot kepentingan antara *Severity*, *Occurance*, *Detection* pada *FMEA*. Untuk isian kuisioner perbandingan berpasangan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut:

No	Kriteria	Skala									Skala									Kriteria
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	<i>Severity</i>																			<i>Occurance</i>
2	<i>Occurance</i>																			<i>Detection</i>
3	<i>Detection</i>																			<i>Severity</i>

Gambar 8 Kuisioner Perbandingan Berpasangan

- Penggunaan skala Saaty untuk mengisi *Matriks* perbandingan berpasangan. Definisi dari skala Saaty yang diberikan terdapat pada tabel berikut:

Tabel 7 Nilai perbandingan berpasangan

Intensitas	Keterangan
1	Kedua anggota sama pentingnya (mempunyai pengaruh yang sama besar)
3	Anggota yang satu sedikit lebih penting daripada anggota yang lain
5	Anggota yang satu lebih penting daripada anggota yang lain
7	Anggota yang satu jelas lebih mutlak penting daripada anggota yang lain
9	Anggota yang satu lebih mutlak penting daripada anggota yang lain
2,4,6,8	Nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan

Karena dalam pemberian nilai kuisioner lebih dari satu orang maka harus menggunakan *agregatic geometric mean* dengan rumus :

$$GM = \sqrt[n]{(X_1)(X_2) \dots (X_n)}$$

Keterangan:

*GM* : Geometric Mean  
*X<sub>n</sub>* : Responden ke-n

d. Menghitung bobot relatif kolom menggunakan rumus berikut:

$$X'_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_j}$$

Dimana:

*X'\_{ij}* = Bobot *Matriks* Kriteria  
*X'\_{ij}* = Jumlah Skor Kolom *Matriks* Kriteria

e. Menghitung bobot prioritas kriteria (*Eigen Vector*) dengan rumus :

$$EV_i = \frac{\sum_{j=1}^n X'_{ij}}{n}$$

Dimana:

*EV<sub>i</sub>* = *Eigen Vector*  
*n* = Jumlah Kriteria

f. Memeriksa konsistensi.

Selanjutnya adalah melakukan pengecekan *consistency ratio (CR)* dengan urutan langkah sebagai berikut:

1) Mencari  $\lambda_{max}$  dengan rumus berikut:

$$\lambda_{max} = \sum_{i,j=1}^n Total_j \times EV_i$$

2) Mencari *Consistency Index (CI)* dengan rumus :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

3) Mencari *Random Index (RI)*

Sesuai dengan nilai RI yang ada pada tabel. Jika matrix yang digunakan 3x3, maka gunakan nilai RI n3 dengan nilai 0,58

4) Mencari *Consistency Ratio (CR)*

Yang diukur dalam *AHP* adalah rasio konsistensi dengan melihat *Index* konsistensi dengan rumus

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Jika  $CR < 0.1$  maka data dinyatakan konsisten sedangkan jika  $CR > 0.1$  maka data dinyatakan tidak konsisten dan pengambilan data harus diulangi.

g. Perhitungan nilai *Risk Priority Number (RPN)*

Perhitungan nilai *RPN* dilakukan dengan menambahkan bobot (*weight*) setiap kriteria yang telah didapatkan sebagai pengali dari nilai *Severity*, *Occurance*, *Detection* pada *FMEA* sehingga hasil *RPN* yang didapat dari hasil perkalian dengan bobot kriteria dapat menggunakan rumus :

$$RPN_{(AHP)} = (W_S \times S) + (W_O \times O) + (W_D \times D)$$

Keterangan:

$RPN_{(AHP)}$  : *Weight Risk Priority Number*

$W_S$  : Bobot *Severity*

$W_O$  : Bobot *Occurance*

$W_D$  : Bobot *Detection*

S : *Severity*

O : *Occurance*

D : *Detection*

1. *Ranking Mode* berdasarkan nilai  $RPN_{(AHP)}$  tertinggi ke terendah

Tahap ini untuk menentukan prioritas perbaikan yang dibuat dari yang paling penting dengan nilai *RPN* tertinggi ke *RPN* terendah.

penilaian kriteria dari pihak engineering, didapat *Matriks* perbandingan berpasangan dengan nilai sebagai berikut:

Tabel 8. Pendapat Terhadap Kriteria Matriks Perbandingan Berpasangan pihak engineering

Kriteria	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>
<i>Severity</i>	1	5	3
<i>Occurance</i>	0,20	1	0,14
<i>Detection</i>	0,33	7,00	1

Tabel 9. Pendapat Terhadap Kriteria Matriks perbandingan berpasangan pihak quality

Kriteria	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>
<i>Severity</i>	1	5	3
<i>Occurance</i>	0,20	1	0,33
<i>Detection</i>	0,33	2,00	1

Tabel 10. Pendapat Terhadap Kriteria Matriks perbandingan berpasangan pihak produksi

Kriteria	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>
<i>Severity</i>	1	0,2	0,33
<i>Occurance</i>	5,00	1	5
<i>Detection</i>	3	0,20	1

Adapun hasil *agregatic geometric mean* dalam penelitian kali ini adalah

Tabel 11 Nilai *agregatic geometric mean*

Kriteria	X1	X2	X3	$GM = \sqrt[n]{(X_1)(X_2) \dots (X_n)}$
<i>Severity - Occurance</i>	1	5	3	1,71
<i>Severity - Detection</i>	0,20	1	0,14	1,44
<i>Occurance - Detection</i>	0,33	7,00	1	0,62

Hasil dari *agregatic geometric mean* dapat digunakan dalam menghitung *Matriks* perbandingan berpasangan baru, sehingga hasilnya adalah :

Tabel 12 *Matriks* perbandingan berpasangan baru

	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>
<i>Severity</i>	1	1,71	1,44
<i>Occurance</i>	0,58	1	0,62
<i>Detection</i>	0,69	161	1
<b>Total</b>	<b>2,28</b>	<b>4,32</b>	<b>3,06</b>

Tabel 13. *bobot relatif perbandingan berpasangan*

	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	Bobot
<i>Severity</i>	0,44	0,40	0,47	0,44
<i>Occurance</i>	0,26	0,23	0,20	0,23
<i>Detection</i>	0,30	0,37	0,33	0,33
<b>Total</b>				<b>1,00</b>

Adapun perhitungan mencari bobot relatif menggunakan rumus:

$$X'_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_j}$$

Dimana:

$X'_{ij}$  = Bobot *Matriks* Kriteria

$X'_{ij}$  = Jumlah Skor Kolom *Matriks* Kriteria

Sehingga menghasilkan contoh perhitungan sebagai berikut:

$$X'_{1,1} = \frac{1}{2,28} = 0,44$$

$$X'_{1,2} = \frac{1,71}{4,32} = 0,40$$

Kemudian perhitungan bobot *Eigen Vector* dapat dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$EV_i = \frac{\sum_{j=1}^n X'_{ij}}{n}$$

$$EV_{Severity} = \frac{0,44 + 0,40 + 0,47}{3} = 0,44$$

$$EV_{Occurance} = \frac{0,26 + 0,23 + 0,20}{3} = 0,23$$

$$EV_{Detection} = \frac{0,30 + 0,37 + 0,33}{3} = 0,33$$

$$EV_{Total} = 0,44 + 0,23 + 0,33 = 1 \text{ (Normal)}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, didapat bobot atau *eigen vector* *Severity*, *Occurance*, *Detection* sebagai berikut:

$$EV_{Severity} = W_s = 0,44$$

$$EV_{Occurance} = W_o = 0,23$$

$$EV_{Detection} = W_d = 0,33$$

Artinya bahwa, kondisi aktual dilapangan menilai bahwa bobot *Severity* merupakan hal terpenting dibanding dengan kriteria yang lain karena menyangkut fungsi dari komponen *common rail*. Kemudian, nilai *Detection* lebih

penting dibanding *Occurance* karena kontrol yang ada diharapkan mampu untuk mendeteksi potensi cacat sedini mungkin.

Selanjutnya melakukan pengecekan *consistency ratio* (CR) dengan urutan langkah sebagai berikut:

A. Mencari  $\lambda_{max}$

Mencari nilai ini dapat dilakukan menggunakan rumus :

$$\lambda_{max} = \sum_{i,j=1}^n Total_j \times EV_i$$

$$\lambda_{max} = (2.28 \times 0.44) + (4.32 \times 0,23) + (3.06 \times 0,33)$$

$$\lambda_{max} = 3,01$$

B. Mencari *consistency Index* (CI)

Nilai *consistency Index* (CI) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CI = \frac{3,01 - 3}{3 - 1}$$

$$CI = 0,01$$

C. Mencari *random Index* (RI)

Karena N=3 maka nilai RI adalah 0.58

D. Mencari *consistency ratio* (CR)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CR = \frac{0,01}{0,58} = 0.0097$$

Karena  $CR < 0,1$  maka data dinyatakan **konsisten**.

### 3.5 Perhitungan RPN

berikut ini adalah hasil perkalian antara bobot relatif dengan nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* pada *common rail AF* di *line* produksi *CI*. Dapat dilihat pada Tabel 14

Tabel 14. Perhitungan RPN Baru dengan Bobot AHP *common rail AF* di *line* produksi *CI*

Cacat (Failure mode)	Dampak utama (Failure effect)	Penyebab (Failure cause)	Kontrol saat ini (ringkas)	S	O	D	RPN <sub>(AHP)</sub>	Prioritas
Drill patah	Ø0,67 Patahan <i>drill</i> tertinggal di lubang, part tidak dapat digunakan (risiko kegagalan sistem bahan bakar)	Deteksi cacat hanya visual	Lampu & kamera (tetap visual)	8	8	8	<b>8,00</b>	1
Drill patah	Ø0,67 Sama	Mesin bergetar saat digunakan	Cek getaran visual leader	8	6	9	7,87	2
Drill patah	Ø0,67 Sama	Indikator pergantian tool sulit terdeteksi	Indikator lampu (posisi atas)	8	7	7	7,44	3
Drill patah	Ø0,67 Sama	Collet <i>drill</i> tidak kencang saat pemasangan	Pengencangan "feeling" operator	8	4	8	7,08	4
Drill patah	Ø0,67 Sama	Filter pompa kotor	Cek operator tiap bulan	6	8	5	6,98	5
Drill patah	Ø0,67 Sama	Coolant tidak mengarah ke tool	Cek awal shift	8	4	7	6,75	6
Drill patah	Ø0,67 Sama	Run out spindle besar	Kalibrasi saat problem + tahunan	8	4	5	6,09	7
Drill patah	Ø0,67 Sama	Feedrate terlalu kencang	Cek engineering saat problem	8	4	5	6,09	7
Drill patah	Ø0,67 Sama	Drill terjatuh saat pemasangan	Inspeksi visual sebelum pasang	8	4	5	6,09	7
Karat	Karat visual, potensi merusak komponen lain/komplain	Airblow sebelum inspeksi	Cek visual pasca-airblow	5	7	9	<b>6,78</b>	1

Cacat (Failure mode)	Dampak utama (Failure effect)	Penyebab (Failure cause)	Kontrol saat ini (ringkas)	S O D	RPN <sub>(AHP)</sub>	Prioritas
Karat	Sama	Sarung tangan kotor tetap digunakan	Instruksi pengawasan <i>line</i> gai	<sup>+</sup> 5 8 7	6,35	2
Karat	Sama	Operator memegang <i>common rail</i> tanpa sarung tangan	Pengawasan perbaikan	saat 5 7 7	6,12	3
Karat	Sama	Operator memegang benda lain saat proses	Instruksi pengecekan <i>line</i> gai	<sup>+</sup> 5 7 7	6,12	3
Karat	Sama	Buffer antar mesin tidak tertutup	Cek visual area buffer	5 3 9	5,86	5
Karat	Sama	Dryer/filter angin tidak optimal	Cek harian maintenance	5 5 5	5,00	6
Lubang gores/kasar	Ø8 Permukaan lubang kasar/gores, kebocoran internal (tekanan tinggi)	risiko Pemasangan benda kerja tidak lurus/rata dengan <i>fixture</i>	Cek kelurusan berdasar pengalaman	9 7 9	<b>8,54</b>	1
Lubang gores/kasar	Ø8 Sama	Saluran coolant mampet	Pressure gauge (bukan flow)	9 8 8	8,44	2
Lubang gores/kasar	Ø8 Sama	Clamp <i>fixture</i> manual oleh operator	Berdasar pengalaman operator	9 7 7	7,88	3
Lubang gores/kasar	Ø8 Sama	Indikator pergantian bush sulit terdeteksi	guide Berdasar muncul	problem 9 7 7	7,88	3
Lubang gores/kasar	Ø8 Sama	Indikator pergantian sulit terdeteksi	<i>drill</i> Indikator (posisi atas)	lampu 9 7 7	7,88	3
Lubang gores/kasar	Ø8 Sama	Run out spindle besar	Kalibrasi saat problem	9 4 5	6,53	6
Lubang gores/kasar	Ø8 Sama	Feed rate terlalu kencang	Cek engineering saat problem	9 4 5	6,53	6

Kesimpulan dari tabel ringkasan *FMEA-AHP* menunjukkan bahwa sumber risiko tertinggi pada *line C1* terkonsentrasi pada tiga cacat dominan, dengan pola utama berupa kelemahan deteksi (D tinggi) dan variabilitas proses (O sedang–tinggi). Pada cacat *drill* Ø0,67 patah, penyebab paling kritis adalah deteksi cacat yang masih visual (RPN<sub>(AHP)</sub>) 8,00; prioritas 1), diikuti getaran mesin (7,87) dan indikator pergantian tool yang sulit terdeteksi (7,44). Hal ini menegaskan bahwa masalah utama bukan hanya patahnya *drill*, tetapi tingginya peluang cacat lolos akibat kontrol yang subjektif dan tidak terukur. Pada cacat karat, prioritas tertinggi berasal dari proses airblow sebelum inspeksi (6,78) dan penggunaan sarung tangan kotor (6,35), yang menunjukkan karat lebih dipicu oleh handling dan kondisi lingkungan antar proses dibandingkan faktor machining. Sementara itu, pada cacat lubang Ø8 gores/kasar, risiko tertinggi muncul pada pemasangan benda kerja yang tidak rata pada *fixture* (8,54) dan saluran coolant mampet (8,44), menandakan bahwa ketidakstabilan setup *fixturing* dan efektivitas pendinginan adalah faktor kunci yang perlu diprioritaskan. Secara keseluruhan, strategi perbaikan yang paling relevan adalah memperkuat kontrol *in-process* yang objektif (sensor/poka-yoke) serta menstabilkan kondisi proses (*fixture*, coolant, dan mesin) karena faktor-faktor tersebut mendominasi nilai RPN<sub>(AHP)</sub> tertinggi.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengendalian kualitas produk *common rail AF* pada *line C1* belum memenuhi standar perusahaan, karena rata-rata tingkat cacat 0,47% masih melampaui batas maksimum 0,2%. Berdasarkan data cacat selama Januari–November 2025, total cacat pada *line C1* mencapai 528 unit, dan analisis Pareto menunjukkan bahwa sekitar 80% cacat didominasi oleh tiga jenis cacat utama, yaitu *drill* Ø0,67 patah, karat, dan lubang Ø8 gores/kasar. Integrasi *FMEA-AHP* menghasilkan bobot kriteria risiko  $W_s=0,44$ ,  $W_o=0,23$ , dan  $W_d=0,33$ , yang menegaskan bahwa dalam proses *common rail*, *Severity* menjadi pertimbangan utama, disusul kemampuan deteksi, sementara frekuensi kejadian berada pada prioritas berikutnya. Dengan pembobotan ini, prioritas perbaikan ditentukan melalui RPN<sub>(AHP)</sub> dan menunjukkan bahwa risiko tertinggi tidak hanya dipengaruhi oleh seringnya cacat muncul, tetapi terutama oleh lemahnya kontrol deteksi dan ketidakstabilan proses. Penyebab prioritas tertinggi yang perlu segera ditangani adalah: pemasangan benda kerja tidak rata pada *fixture* (RPN<sub>(AHP)</sub>)=8,54) dan saluran coolant mampet (8,44) pada cacat lubang Ø8; deteksi patahan *drill* yang masih visual (8,00) serta getaran mesin (7,87) pada cacat *drill* Ø0,67; serta proses airblow sebelum inspeksi (6,78) dan penggunaan sarung tangan kotor (6,35) pada cacat karat. Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa strategi penurunan cacat yang paling efektif adalah memperkuat kontrol *in-process* yang objektif (misalnya sensor/poka-yoke) dan menstabilkan kondisi proses (*fixture*, coolant, serta kestabilan mesin), sehingga risiko cacat dapat ditekan mendekati target mutu perusahaan. Adapun usulan perbaikan untuk menekan terjadinya cacat produk

dengan : Menerapkan inspeksi 100% in process berbasis sensor untuk mendeteksi sisa patahan *drill* Ø0,67 di dalam lubang *injector*, Meningkatkan stabilitas mesin melalui pemasangan anchor bolt serta pemeriksaan getaran mesin secara berkala, Menambahkan proses pencelupan anti karat setelah air blow dan sebelum inspeksi akhir, Menerapkan disiplin penggunaan sarung tangan bersih melalui peringatan visual di area produksi, Memasang sensor *air gap checker* pada *fixture* untuk memastikan posisi benda kerja rata sebelum pengeboran, Mengintegrasikan sensor dengan sistem *interlock* agar proses hanya berjalan saat posisi benda kerja sesuai toleransi.

## Referensi

1. Adawiyah, R., & Donoriyanto, D. S. (2022). Analisis Kecacatan Produk Beras Kemasan 25 Kg Menggunakan Statistical Quality Control dan *Failure mode and Effect Analysis*. Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya, 8(2), 109–118. <https://doi.org/10.30656/intech.v8i2.4804>
2. AHP, P. (2025). Metode *Failure mode and Effect Analysis (FMEA)*. 1(1), 1–8.
3. AHP, P., Pt, D. I., Indah, N., & Utama, J. (2018). Peningkatan kualitas produk pan frame r, rr back dengan metode *Failure mode and Effect Analysis (FMEA)* dan analytical hierarchy process (AHP) di pt nusa indah jaya utama. 1–9.
4. Aryanda, N., & Helianty, I. R. Y. (2023). Usulan Prioritas Perbaikan Kualitas Produk Kaos Basic di CV . XYZ Berdasarkan Metode *Failure mode and Effect Analysis* dan Analytical Hierarchy Process. 1–13.
5. Aulawi, H., & Kurniawan, W. A. (n.d.). Analisis Risiko Kegagalan Proses Produksi Dodol Menggunakan Metode FTA , *FMEA* dan *AHP*. 102–112.
6. Brawijaya, U., Teknik, F., & Mesin, J. T. (2016). 1,2,3). 4(2), 185–197.
7. Dzakhirah, S. A., & Muhammad, K. (2024). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Plywood Metode Statistical Quality Control ( SQC ) dan Fault Mode and Effect Anaysis ( *FMEA* ) ( Studi Kasus : PT . Sumber Graha Sejahtera Purbalingga ). JUSTI ( Jurnal Sistem Dan Teknik Industri ), 4(4), 443–451.
8. Ilmiah, J., & Pendidikan, W. (2024). Kualitas Layanan Terpadu ( Total Quality Service ) Dalam Pendidikan Makmur Syukri 1 , Sopan Sofian 2 1,2 Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan. 10(September), 618–627.
9. ISSN : 2338-7750 Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta Jurnal REKAVASI ISSN : (2020). 8(2).
10. Manurung, B. R., & Ramadhan, F. (2022). PEMILIHAN LOKASI KEDAI KOPI MENGGUNAKAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS ( *AHP* ) DAN SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING ( SAW ). X(X), 1–9.
11. Matematika, F., Ilmu, D. A. N., Alam, P., & Utara, U. S. (2023). No Title.
12. Ningsih, R. (2015). Penerapan Analytical Hierarchy Process Untuk Pemilihan Supplier Bahan Baku Oli Pt. Tiga Sekawan Perkasa Di Cibitung.
13. Perusahaan, L. (2018). COMPETITIVE ADVANTAGE DAN UPAYA MENINGKATKAN. 4, 1–14.
14. Prasetya, A. D., Yunitasari, E. W., & Ma, S. (2023). IDENTIFIKASI PRODUK CACAT MENGGUNAKAN METODE SIX SIGMA , *FMEA* DAN FUZZY *AHP* PADA UMKM EKO BUBUT.
15. Ramdani, R., & Fadilah, M. (2025). Analisis Pengendalian Kualitas PT DMI Untuk Mengurangi Tingkat Kerusakan Pada Produk Servo Motor dengan Menggunakan Metode Six Sigma. 3(2), 13–25.
16. Riana, O., Kholid, A., & Ghofari, A. (2023). ANALISIS RISIKO PRODUKSI MENGGUNAKAN METODE FUZZY *FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS ( FMEA )* DAN FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS ( *AHP* ) ( Studi Kasus : UMKM Makaroni Keju Elfath ). 21–28.
17. Sahara, L., Lestari, S. P., Barlian, B., Jxc, A., No, J. P., Tawang, K., Tasikmalaya, K., & Barat, J. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Metode Statistical Quality Control ( SQC ) Pada Perusahaan Roti Aldina Bakery Kota Tasikmalaya Universitas Perjuangan Tasikmalaya. 4.
18. Studi, P., Industri, T., Teknik, F., Widyatama, U., Analysis, E., Analysis, F. W., Mode, F., & Analysis, E. (n.d.). PERBAIKAN KUALITAS SEPATU DENGAN METODE FIVE WHYS ANALYSIS DAN *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS ( FMEA )* DI PT PRIMARINDO ASIA INFRASTRUCTURE TBK.
19. Suherman, A., & Cahyana, B. J. (2019). Pengendalian Kualitas Dengan Metode *Failure mode Effect And Analysis ( FMEA )* Dan Pendekatan Kaizen untuk Mengurangi Jumlah Kecacatan dan Penyebabnya. 1–9.
20. Teknologi, J., Waluny, A., & Suhendar, E. (2023). Analisis Risiko Kegagalan Proses Menggunakan Fuzzy *AHP* , *FMEA* , dan Kaizen Method Pada PT . Central Mega Kencana. 1, 9–24. <https://doi.org/10.52330/jtm.v2i1i1.72>