

# Analisis Pengendalian Kualitas Produk Knalpot Menggunakan Metode FMEA dan FTA

Aqsa Cahyo Saputra<sup>1</sup>, Andung Jati Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universitas Teknologi Yogyakarta Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta

E-mail: <sup>1</sup>aqsaraw27@gmail.com, <sup>2</sup>andungjati@gmail.com

Korespondensi: <sup>1</sup>aqsaraw27@gmail.com

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kecacatan produk serta menentukan prioritas perbaikan dalam proses produksi knalpot pada UMKM Zappeline Knalpot Purbalingga. Permasalahan yang ditemukan yaitu tingginya tingkat kecacatan produk sebesar 2006 unit dari total produksi 12.000 unit selama periode Januari–Juni 2025. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menentukan prioritas risiko kegagalan dan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan. Penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection* dilakukan melalui observasi lapangan serta wawancara dengan pemilik usaha dan operator produksi yang berpengalaman. Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa kecacatan silencer berlekuk/penyok memiliki nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi sebesar 100, diikuti oleh cacat saringan knalpot mudah lepas dengan nilai RPN sebesar 80. Analisis FTA menunjukkan bahwa penyebab utama kecacatan berasal dari kombinasi faktor manusia, metode kerja, mesin, material, dan pengawasan. Faktor dominan yang memicu kegagalan adalah teknik pengelasan yang kurang tepat, tekanan mesin press yang berlebihan, serta belum adanya standar operasional prosedur (SOP) yang jelas. Berdasarkan hasil analisis tersebut, usulan perbaikan yang diberikan meliputi penyusunan SOP kerja, pelatihan operator, pengendalian material, serta perawatan mesin secara berkala. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam upaya menurunkan tingkat kecacatan produk serta meningkatkan sistem pengendalian kualitas pada industri manufaktur skala UMKM.

Kata kunci: Pengendalian Kualitas, *Failure Mode and Effect Analysis*, *Fault Tree Analysis*.

## Abstract

*This study aims to analyze the causes of product defects and determine improvement priorities in the production process of exhausts at the MSME Zappeline Knalpot Purbalingga. The problem identified is the high defect rate of 2,006 units out of a total production of 12,000 units during the period of January–June 2025. The methods used in this study are Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to determine the priority of failure risks and Fault Tree Analysis (FTA) to identify the root causes of failures. Assessment of severity, occurrence, and detection was carried out through field observations and interviews with business owners and experienced production operators. FMEA analysis results show that silencer dent/dimple defects have the highest Risk Priority Number (RPN) of 100, followed by defective exhaust filters that are easily detached with an RPN value of 80. FTA analysis shows that the main causes of defects come from a combination of human factors, work methods, machines, materials, and supervision. The dominant factors triggering failures are improper welding techniques, excessive press machine pressure, and the absence of clear standard operating procedures (SOPs). Based on the analysis results, the proposed improvements include the preparation of work SOPs, operator training, material control, and regular machine maintenance. The results of this study provide practical contributions in efforts to reduce product defect rates and improve quality control systems in MSME-scale manufacturing industries.*

Keywords: *Quality Control, Failure Mode and Effect Analysis, Fault Tree Analysis.*

## 1. PENDAHULUAN

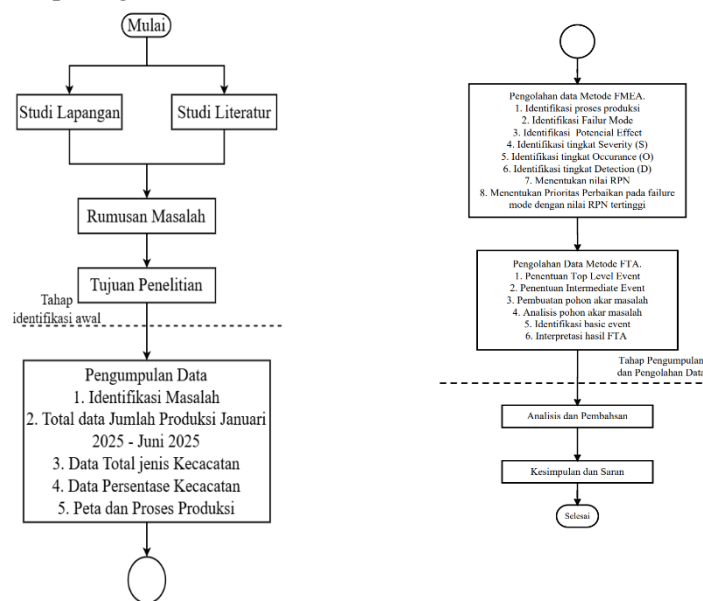
UMKM Knalpot ini usaha yang bergerak di bidang permesinan yang dapat menghasilkan Produk dari bahan besi, plat, dan sejenisnya. Data yang diambil melalui observasi dan sesi wawancara dengan pemilik umkm knalpot ini adalah data produksi dengan jumlah 12.000 pcs dari bulan Januari 2025 sampai dengan Juni 2025, Selama periode tersebut total jumlah kecacatan

produk mencapai 2006 dan 4 jumlah jenis cacat produk. Dalam setiap bulannya pada lini produksi di bulan Januari 2500 pcs dengan nilai persentase kecacatan 13%, Februari 2300 pcs nilai persentase kecacatan 15%, Maret 1900 pcs nilai persentase kecacatan 16%, April 2200 pcs nilai persentase kecacatan 25%, Mei 1600 pcs nilai persentase kecacatan 17%, Juni 1500 pcs nilai persentase kecacatan 14%. Tingginya kecacatan produk pada lini produksi knalpot ini dapat mengakibatkan biaya tambahan produksi dan waktu tambahan produksi.

Oleh karena itu, dengan adanya permasalahan diatas tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi faktor apa saja yang dapat mempengaruhi penyebab terjadinya kecacatan, mengoptimalkan hasil produksi, dan meningkatkan kualitas pada produk dan memberikan usulan perbaikan. Penelitian mengenai pengendalian kualitas menggunakan metode FMEA dan FTA telah banyak dilakukan pada berbagai sektor industri manufaktur. Namun sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada identifikasi risiko kegagalan tanpa mengkaji secara mendalam hubungan antara penyebab kegagalan dan prioritas perbaikan pada industri skala UMKM. Selain itu, masih terbatas penelitian yang mengkombinasikan analisis FMEA dan FTA secara sistematis pada proses produksi knalpot. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab utama kecacatan produk serta menentukan prioritas perbaikan melalui integrasi metode FMEA dan FTA sehingga diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih komprehensif dalam meningkatkan kualitas produk pada UMKM.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan FTA (*Fault Tree Analysis*), yang dilakukan di UMKM Zappeline Knalpot di Purbalingga, dengan objek penelitian pada knalpot. Tahapan penelitian yang dilakukan dalam proses pengendalian kualitas produk disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

### 2.1 Data dan Metode Pengumpulan Data Metode FMEA

Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan (*failure mode*) pada proses produksi knalpot serta menentukan prioritas perbaikan berdasarkan tingkat risiko kegagalan. Data yang digunakan dalam analisis FMEA berasal dari data jumlah produksi dan jenis kecacatan produk knalpot selama periode Januari

hingga Juni 2025. Total produksi knalpot selama enam bulan adalah 12.000 unit dengan jumlah produk cacat sebanyak 2.006 unit atau sebesar 16,7%. Data ini menunjukkan bahwa tingkat kecacatan produk masih cukup tinggi sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan metode FMEA. Penilaian nilai severity, occurrence, dan detection pada analisis FMEA dilakukan menggunakan skala penilaian 1–5. Penentuan skor dilakukan berdasarkan hasil observasi langsung terhadap proses produksi, data kecacatan produk, serta wawancara dengan pihak yang memiliki kompetensi terhadap proses produksi yaitu pemilik UMKM dan operator produksi yang telah berpengalaman.

Nilai severity menggambarkan tingkat keparahan dampak kegagalan terhadap fungsi produk. Nilai occurrence menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan dalam proses produksi, sedangkan nilai detection menggambarkan kemampuan sistem pengendalian yang ada dalam mendeteksi kegagalan sebelum produk sampai ke konsumen. Untuk meningkatkan reliabilitas penilaian, skor yang diberikan kemudian didiskusikan kembali dengan pihak perusahaan guna memastikan kesesuaian dengan kondisi aktual di lapangan.

#### Metode FTA

Tahap *fault tree analysis* dilakukan untuk mengetahui adanya kejadian dan atau kombinasi kejadian dalam permasalahan umkm knalpot yang menyebabkan munculnya *top level event*. Maka langkah selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode FTA untuk menentukan akar penyebab dari permasalahan yang ada berdasarkan nilai RPN tertinggi yang di dapatkan pada analisis dengan metode FMEA.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa nilai RPN tertinggi terdapat pada silincer bagian luar berlekuk atau penyok dengan nilai 100, diikuti oleh saringan knalpot mudah lepas dengan nilai 80. Nilai RPN yang tinggi menunjukkan bahwa kedua *failure mode* tersebut memiliki tingkat keparahan yang signifikan, frekuensi kejadian yang relatif sering, serta tingkat deteksi yang masih rendah. Berikut ini pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini.

#### 3.1 Mengidentifikasi Akibat (*Potensial Effect*)

Pengidentifikasi *potensial effect* akibat dari adanya modus kegagalan (*Failure Mode*) produk. Adapun *potensial effect* tersebut sebagai berikut :

Tabel 1. Identifikasi *Failure Mode And Effect*

<i>Failure Mode</i>	<i>Potencial Effect</i>
Pengelasan pada leher knalpot bolong	Kebocoran gas buang mesin Knalpot tidak berfungsi normal
Radius penekukan leher knalpot tidak sesuai	Dimensi tidak standar Menurunnya performa
Bagian luar silincer berlekuk / penyok	Estetika berkurang Knalpot tidak berfungsi normal
Saringan knalpot mudah lepas	Fungsi filter tidak bekerja

Suara tidak stabil dan kurang enak didengar

### 3.2 Mengidentifikasi Tingkat Keseriusan Akibat *Severity* (S)

*Severity* menunjukkan tingkat keseriusan akibat atau efek munculnya suatu *failure mode* dalam produk knalpot. Skala *severity* yang digunakan adalah skala 1-5 dengan rincian berikut.

Tabel 2. Skala *Severity*

No.	Skala	tingkat keseriusan dampak yang ditimbulkan
1	1	Aman
2	2	Tidak serius
3	3	Cukup serius
4	4	Serius
5	5	Sangat serius

Seberapa serius dampak yang ditimbulkan oleh kegagalan yang menyebabkan *failure mode* ditentukan seberapa serius *failure effect* yang ditimbulkannya. Adapun skala *severity failure mode* dan *failure effect* seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Skala *Severity Failure Mode and Failure Effect*

<i>Failure Mode</i>	<i>Potensial Effect</i>	<i>Skala Sev</i>
Pengelasan pada leher knalpot bolong	Kebocoran gas buang mesin Knalpot tidak berfungsi normal	4
Radius penekukan leher knalpot tidak sesuai	Dimensi tidak standar, performa turun	4
Bagian luar silincer berlekuk/penyok	Estetika kurang, knalpot tidak berfungsi normal.	5
Sarangan knalpot mudah lepas	Fungsi filter tidak bekerja Suara menjadi tidak stabil dan kurang enak didengar.	5

### 3.3 Penyebab Kegagalan (*Potensial Causes*)

Pada tahap ini diuraikan sebab dari kegagalan yang menyebabkan permasalahan pada produksi knalpot (*failure mode*). Adapun sebab – sebab kegagalan yang akan disebutkan pada tabel 3.

Tabel 4. *Causes dari Failure Mode*

<i>Failure Mode</i>	<i>Causses</i>
Pengelasan pada leher knalpot bolong	Operator kurang dalam penggunaan teknik pengelasan Operator tidak mengatur penyesuaian ulang mesin las Ketebalan bahan baku pipa terlalu tipis

Radius penekukan leher pipa knalpot tidak sesuai	Operator tidak melakukan pengerjaan sesuai dengan arahan yang sudah ditentukan
Bagian luar silincer berlekuk/penyok	Operator kurang dalam penggunaan teknik pengelasan Ketebalan bahan baku plat terlalu tipis Ruang produksi tidak tertata Ruang penyimpanan tidak memadai
Sarangan knalpot mudah lepas	Operator kurang dalam penggunaan teknik pengelasan Ketebalan bahan baku plat terlalu tebal

### 3.4 Nilai Frekuensi Terjadinya Kegagalan (*Occurance*)

*Occurance* ini menunjukkan seberapa sering suatu *failure mode* muncul dan mengakibatkan terjadinya kecacatan pada produk knalpot dalam kurun waktu tertentu. Skala *occurance* yang digunakan seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Skala *Occurance*

No.	Skala <i>Occurance</i>	Frekuensi Kegagalan
1	1	Hampir tidak pernah terjadi
2	2	Jarang terjadi
3	3	Sering terjadi
4	4	Sangat Sering terjadi
5	5	Hampir pasti terjadi

Frekuensi kegagalan yang mengakibatkan *failure mode* ditentukan oleh frekuensi penyebab kegagalannya. Penetapan skala *occurance causes* dan *failure mode* seperti pada tabel

Tabel 6. Skala *Occurance Failure Effect* dan *Failure Mode*

<i>Failure Mode</i>	<i>Causses</i>	Skala <i>Occ</i>
Pengelasan pada leher knalpot bolong	Operator kurang dalam penggunaan teknik pengelasan Operator tidak mengatur penyesuaian ulang mesin las	3
Radius penekukan leher pipa knalpot tidak sesuai	Ketebalan bahan baku pipa terlalu tipis Operator tidak melakukan pengerjaan sesuai dengan arahan yang sudah ditentukan	3
Bagian luar silincer berlekuk/penyok	Operator kurang dalam penggunaan teknik pengelasan Ketebalan bahan baku plat terlalu tipis Ruang produksi tidak tertata Ruang penyimpanan tidak memadai	5

Sarangan knalpot mudah lepas	Operator kurang dalam penggunaan teknik pengelasan	4
	Ketebalan bahan baku plat terlalu tebal	

### 3.5 Mengidentifikasi Kontrol Berdasarkan Penyebab Kegagalan

Tahap ini diidentifikasi metode pengendalian terhadap *failure mode* yang mengakibatkan kecacatan pada produk. Kejadian yang mungkin karena kegagalan tersebut dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Identifikasi *Control*

<i>Failure Mode</i>	Identifikasi <i>Control</i>
Pengelasan pada leher knalpot bolong	Melakukan pengaturan teknik pengelasan dan penyesuaian parameter mesin las yang tepat
	Melakukan inspeksi / pemeriksaan awal material
Radius penekukan leher pipa knalpot tidak sesuai	Melakukan pengklabrasi alat ukur dan mesin disesuaikan secara rutin
Bagian luar silincer berlekuk/penyok	Melakukan pengaturan teknik pengelasan dan penyesuaian parameter mesin las yang tepat
	Melakukan inspeksi / pemeriksaan awal material
	Membuat ketentuan standar kualitas yang jelas
Sarangan knalpot mudah lepas	Melakukan pengaturan teknik pengelasan
	penyesuaian parameter mesin las yang tepat

### 3.6 Mengidentifikasi Nilai Tingkat Kesulitan Control (*Detection*)

Analisis tingkat kesulitan *control* untuk dilakukan. Adapun skala *detection* yang digunakan adalah skala 1-5 dengan rincian yang akan disebutkan pada tabel 8.

Tabel 8. Skala *Detection*

No.	Skala <i>Detection</i>	Tingkat kesulitan <i>control</i> untuk dilakukan
1	1	Mudah ( ada metode untuk menyelesaikannya)
2	2	Cukup mudah
3	3	Sedang
4	4	Cukup sulit
5	5	Sulit (Hampir tidak dilakukan)

Penentuan skala *detection* pada kegagalan (*failure mode*) dilakukan dengan mendeteksi tingkat kesulitan pada *control* yang sudah dibuat. Nilai *detection* dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Nilai *Detection Control*

<i>Failure Mode</i>	Identifikasi <i>Control</i>	Skala <i>Det</i>
Pengelasan pada leher knalpot bolong Radius	Melakukan pengaturan teknik pengelasan dan penyesuaian parameter mesin las yang tepat Melakukan inspeksi / pemeriksaan awal material	4
penekukan leher pipa knalpot tidak sesuai	Melakukan pengklabrasian alat ukur dan mesin disesuaikan secara rutin	3
Bagian luar silincer berlekuk/penyok	Melakukan pengaturan teknik pengelasan dan penyesuaian parameter mesin las yang tepat Melakukan inspeksi / pemeriksaan awal material	4
Sarangan knalpot mudah lepas	Membuat ketentuan standar kualitas yang jelas Melakukan pengaturan teknik pengelasan dan penyesuaian parameter mesin las yang tepat Melakukan inspeksi / pemeriksaan awal material	4

### 3.7 Penentuan Nilai *Risk Priority Number (RPN)*

langkah ini bertujuan untuk memperoleh urutan tingkat kepentingan dari *failure mode*. Pada metode FMEA, analisis tingkat kepentingan dihitung dengan menggunakan *risk priority number (RPN)*. Perhitungan RPN dengan menggunakan rumus matematis sebagai berikut:

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection$$

*Failure mode* Adalah Masalah proses produksi, dengan :

Severity = 3

Occurance = 4

Detection = 2

RPN Masalah proses produksi = 3 X 4 X 2 = 24.

RPN masing masing *failure mode* dari yang tertinggi sampai terendah dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. *Risk Priority Number (RPN)*

<i>Failure Mode</i>	<i>Effect</i>	S	<i>causses</i>	O	<i>Control</i>	D	RP N	Priorita s
Bagian luar silincer berlekuk/penyok	Estetika kurang	5	Operator kurang dalam penggunaan teknik pengelasan Ketebalan bahan baku plat terlalu tipis	5	Melakukan pengaturan teknik pengelasan dan penyesuaian parameter mesin las yang tepat Melakukan inspeksi / pemeriksaan awal material,	4	100	1
	knalpot tidak		Ruang produksi tidak tertata		Membuat ketentuan			

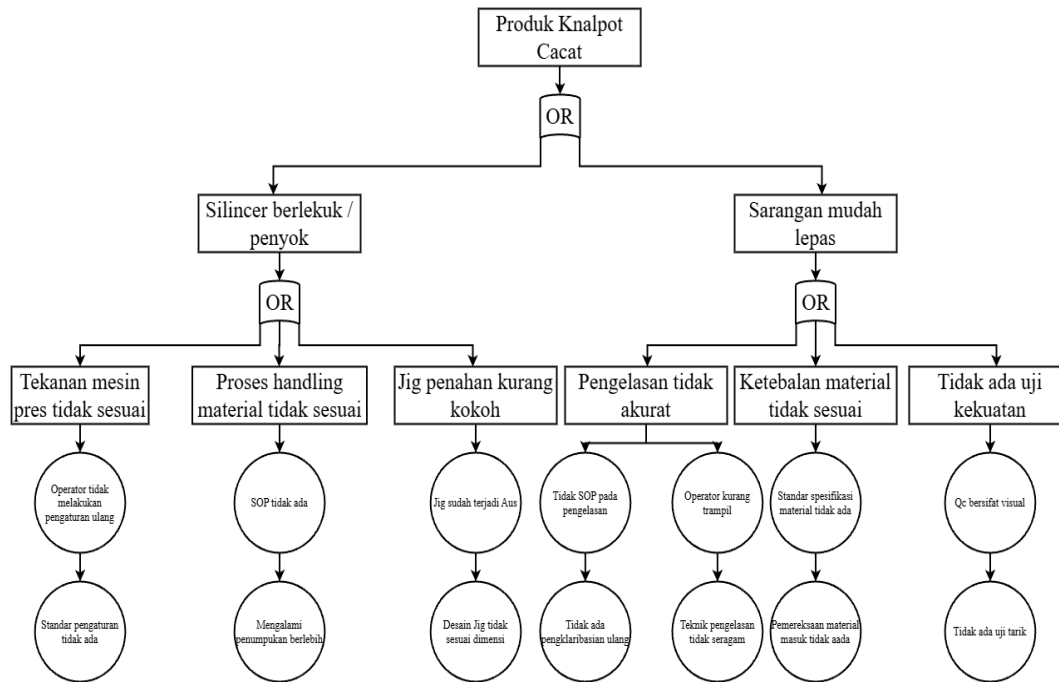
	berfungsi normal	Ruang penyimpanan tidak memadai	standar kualitas yang jelas				
	Fungsi filter tidak bekerja	Operator kurang dalam penggunaan teknik pengelasan	Melakukan pengaturan teknik pengelasan dan penyesuaian parameter mesin las yang tepat				
Sarangan knalpot mudah lepas	Suara menjadi tidak stabil dan kurang enak didengar.	Ketebalan bahan baku plat terlalu tebal	Melakukan inspeksi / pemeriksaan awal material	5	4	4	80
	Kebocoran gas buang mesin	Operator kurang dalam penggunaan teknik pengelasan	Melakukan pengaturan teknik pengelasan dan penyesuaian parameter mesin las yang tepat				
Pengelasan pada leher knalpot bolong	Knalpot tidak berfungsi normal	Operator tidak mengatur penyesuaian ulang mesin las	Melakukan inspeksi / pemeriksaan awal material	4	3	4	48
	Dimensi tidak standar	Operator tidak melakukan pengerjaan sesuai dengan arahan yang sudah ditentukan	Melakukan pengklabrasi-an alat ukur mesin disesuaikan secara rutin				
Radius penekukan leher knalpot tidak sesuai	performa turun			4	3	3	36
							4

Hasil analisis menunjukkan bahwa cacat silencer berlekuk atau penyok memiliki nilai RPN tertinggi yaitu 100. Hal ini menunjukkan bahwa kegagalan tersebut memiliki tingkat keparahan yang tinggi serta frekuensi kejadian yang relatif sering. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses penanganan material dan penggunaan mesin press pada proses produksi masih belum optimal. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kesalahan pengaturan mesin dan keterampilan operator merupakan faktor dominan penyebab kecacatan pada proses manufaktur.

Selain itu, cacat saringan knalpot mudah lepas dengan nilai RPN sebesar 80 menunjukkan bahwa kualitas pengelasan masih perlu ditingkatkan. Parameter pengelasan yang tidak sesuai spesifikasi dapat menyebabkan kekuatan sambungan menjadi rendah sehingga komponen mudah terlepas. Oleh karena itu, pengendalian parameter mesin las serta peningkatan keterampilan operator menjadi faktor penting dalam upaya mengurangi tingkat kecacatan produk.

### 3.8 Analisis Metode FTA (*Fault Tree Analysis*)

Tahap *fault tree analysis* dilakukan untuk mengetahui adanya kejadian dan atau kombinasi kejadian dalam permasalahan UMKM knalpot yang menyebabkan munculnya *top level event*. Maka langkah selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode FTA untuk menentukan akar penyebab dari permasalahan yang ada berdasarkan nilai RPN tertinggi yang di dapatkan pada analisis dengan metode FMEA. Langkah – langkah untuk melaksanakan *fault tree analysis* dengan cara menentukan *top Level Event*, *Intermediate Event*, pohon akar permasalahan, identifikasi *Basic Event*, dan Interpretasi Hasil FTA. Berikut merupakan pohon akar permasalahan.



Gambar 2. Pohon Akar Permasalahan

Hasil analisis FTA menunjukkan bahwa terjadinya kecacatan produk knalpot, khususnya pada silincer berlekuk atau penyok dan saringan knalpot mudah lepas, tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh kombinasi faktor manusia, mesin, material, metode kerja, dan pengawasan. Faktor manusia dan metode kerja merupakan penyebab dominan yang memicu terjadinya kegagalan dengan nilai RPN tinggi.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan di UMKM Zappeline Knalpot Purbalingga, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Identifikasi Penyebab Defect dan Faktor yang Mempengaruhi: Melalui analisis *Fault Tree Analysis* (FTA), ditemukan bahwa penyebab utama kecacatan produk knalpot dipengaruhi oleh kombinasi faktor manusia, mesin, material, metode kerja, dan pengawasan. Faktor manusia (kurang teliti/terampil) dan metode kerja (tidak adanya SOP tertulis) merupakan penyebab dominan yang memicu kegagalan produksi.
2. Hasil Analisis FMEA dan FTA: Berdasarkan metode FMEA, teridentifikasi 4 jenis kecacatan dengan prioritas utama pada cacat silincer berlekuk/penyok (RPN 100) dan saringan knalpot mudah lepas (RPN 80). Berdasarkan metode FTA, akar penyebab cacat silincer berlekuk/penyok adalah tekanan mesin *press* yang berlebihan dan *handling*

- material yang tidak tepat. Sedangkan cacat sarangan lepas disebabkan oleh kualitas pengelasan yang kurang kuat serta parameter mesin las yang tidak sesuai spesifikasi.
3. Usulan Perbaikan: Usulan perbaikan yang dirumuskan untuk meningkatkan kualitas produk meliputi penyusunan dan penerapan *Standard Operating Procedure* (SOP) kerja yang jelas, pemeliharaan serta kalibrasi mesin secara berkala, dan peningkatan pengawasan melalui sistem *quality control* yang lebih ketat pada setiap tahapan produksi.

Berdasarkan hasil penelitian cacat produk yang terjadi di umkm zappeline knalpot dari bulan januari sampai bulan juli 2025 memiliki beberapa faktor, perbaikan secara terus menerus tentunya perlu dilakukan dengan tujuan untuk mengendalikan kualitas produk serta meminimalisir angka kecacatan agar dapat meningkatkan produktifitas dari perusahaan. Saran ini ditujukan untuk pihak perusahaan dan pengembangan penelitian di masa depan:

- 1 Bagi UMKM Zappeline Knalpot:
  - a) Implementasi SOP: Segera menyusun dan menerapkan SOP tertulis secara konsisten agar operator memiliki panduan kerja yang standar untuk meminimalisir *human error*.
  - b) Pelatihan Operator: Memberikan pelatihan teknis secara rutin, khususnya pada teknik pengelasan dan pengaturan parameter mesin untuk mengurangi tingkat kecacatan silincer dan sarangan.
  - c) Perawatan Mesin: Melakukan jadwal perawatan rutin (*maintenance*) dan kalibrasi pada mesin *press* dan mesin las untuk memastikan tekanan dan parameter tetap stabil sesuai spesifikasi.
- 2 Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar dilakukan pengembangan metode analisis dengan mengombinasikan FMEA dan FTA dengan metode lain seperti Six Sigma, SPC, atau QFD, serta melakukan pengukuran kinerja perbaikan setelah usulan diterapkan guna mengetahui efektivitasnya secara kuantitatif.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya objek penelitian hanya dilakukan pada satu UMKM sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan pada seluruh industri manufaktur. Selain itu penelitian ini hanya berfokus pada tahap identifikasi risiko kegagalan dan usulan perbaikan tanpa melakukan pengukuran implementasi perbaikan secara langsung. Oleh karena itu penelitian selanjutnya diharapkan dapat menguji efektivitas usulan perbaikan yang diberikan serta mengkombinasikan metode analisis lainnya seperti Six Sigma atau Statistical Process Control untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Analisis Pengendalian Kualitas Produk Fiber Optic Cable Dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Dan Fault Tree Analysis (FTA) Di PT Industri Telekomunikasi Indonesia. *Jurnal Logistik Bisnis*, 11(2), 60-64
- [2] Anggita, R. F., & Damayanti, R. W. (2022). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Garmen Adidas Menggunakan Metode FMEA dan FTA Pada PT XYZ
- [3] Dharma, A., & Nuruddin, M. (2023). Analyzing Product Defects in the Tempeh Production Process Using FTA and FMEA Methods in CV. Aderina. *Riwayat: Educational Journal of History and Humanities*, 6(3), 2160-2167.
- [4] Hidayat, M. T., & Rochmoeljati, R. (2020). Perbaikan Kualitas Produk Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di PT. IFMFI Surabaya. *JUMINTEN*, 1(4), 70-80.
- [5] Analysis of FMEA and FTA methods in identifying the causes of decreased quality of refined sugar products (case study: PT. Makassar Tene). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 885, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.

- [6] Krisnaningsih, E., Gautama, P., & Syams, M. F. K. (2021). Usulan perbaikan kualitas dengan menggunakan metode FTA dan FMEA. *Jurnal Intent: Jurnal Industri Dan Teknologi Terpadu*, 4(1), 41-54.
- [7] Lestari, A., & Mahbubah, N. A. (2021). Analisis Defect Proses Produksi Songkok Berbasis Metode FMEA Dan FTA di Home-Industri Songkok GSA Lamongan. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(3), 2197-2206.
- [8] Prawira, Y. (2019). *Pengendalian Kualitas Batu Pancing Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Metode Fault Tree Analysis (FTA) di PT. Cahaya Castindo Hasanah Cemerlang* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- [9] Ridwan, W., Widiastuti, R., & Nurhayati, E. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Bibit Sawit Dengan Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Metode Failutre Mode Effect Analysis (FMEA) di PT. Kapuas Sawit Sejahtera. *Reslaj: Religion Education Social Laa Roiba Journal*, 5(6), 3730-3738.
- [10] Rusandi, K. E., & Sulistiyowati, W. (2019). Quality Control of Plastic Cup Products Using Statistical Process Control Methods and Failure Modes and Effect Analysis: Pengendalian Kualitas Produk Cup Plastik Dengan Menggunakan Metode Statistical Process Control Dan Failure Mode And Effect Analysis. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 7.