

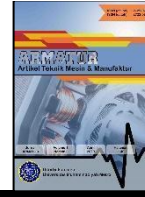


Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>



Kerangka Terintegrasi Pareto–FMEA–FTA untuk Pengendalian Kualitas Berbasis Risiko pada Pemesinan Komponen Presisi: Studi Kasus Manufaktur *Spinning Spinnerette*

Alya Rahma Putri^{1*}, Supriyati², Fibi Eko Putra³

^{1,2,3}Departemen Teknik Industri, Universitas Pelita Bangsa, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:

Quality Control

Pareto Analysis

FMEA

FTA

Spinning Spinnerette

Precision Manufacturing

ABSTRACT

The precision component manufacturing industry faces quality control challenges because defect occurrences, although relatively infrequent, can result in substantial financial losses due to the high value of each product. This study aims to identify dominant defect types, evaluate failure risks, determine root causes of critical failures, and formulate corrective action recommendations in the machining process of spinning spinnerette products at PT XYZ, Indonesia. The novelty of this study lies in the integration of Pareto Diagram, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), and Fault Tree Analysis (FTA), complemented by financial-loss-based prioritization to provide a more comprehensive risk assessment framework. A mixed-methods approach was employed using production and quality-control data from January–December 2025, supported by observations, interviews, and FMEA assessments involving QC/QA personnel, process engineers, and machine operators. Pareto analysis was used to identify dominant defects, FMEA to assess risk levels through Risk Priority Numbers (RPN), and FTA to investigate root causes of the most critical failure mode. The results showed that rough surface defects (37.50%), hole diameter deviations (25.00%), and clogged holes (20.00%) accounted for 82.50% of total defects. FMEA identified rough surface as the highest-priority failure mode with an RPN of 240, while micro-cracks exhibited the highest severity score ($S = 9$). FTA revealed that rough surface defects were caused by the interaction of cutting tool conditions, machining parameters, operator competence, and environmental factors. Corrective

*Corresponding author: alyarahmaputri20@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.12036>

Received 16 June 2026; Received in revised form 19 June 2026; Accepted 20 June 2026

Available online 1 September 2026

actions were developed using the 5W+1H framework. The study concludes that the integrated Pareto–FMEA–FTA approach effectively supports risk-based quality control and provides a practical framework for reducing defect-related losses in precision manufacturing industries.

Pendahuluan

Sektor manufaktur presisi tinggi menghadapi tantangan kualitas yang semakin kompleks seiring meningkatnya tuntutan pelanggan terhadap keandalan produk dan konsistensi dimensi [1]. Dalam industri serat sintetis (*synthetic fiber*), komponen *spinnerette* merupakan elemen kritis yang menentukan kualitas serat yang dihasilkan, sebab komponen ini berfungsi sebagai cetakan mikro yang membentuk filamen melalui ratusan hingga ribuan lubang (*hole*) berdiameter sangat kecil [2]. Ketidaksesuaian dimensi sekecil apa pun pada komponen ini dapat mengakibatkan kegagalan fungsi secara langsung, penolakan produk oleh pelanggan, serta kerugian finansial yang signifikan. Oleh karena itu, pengendalian kualitas pada proses produksi *machining spinnerette* bukan sekadar aktivitas inspeksi rutin, melainkan merupakan kebutuhan strategis yang berdampak langsung pada daya saing perusahaan.

Urgensi pengendalian kualitas dalam proses *machining* presisi semakin diperkuat oleh fakta bahwa setiap unit produk *spinning spinnerette* memiliki nilai ekonomis yang sangat tinggi. Kondisi ini menjadikan setiap kejadian cacat, meskipun jumlahnya kecil secara absolut, berpotensi menimbulkan kerugian finansial yang besar. Berbeda dengan produk massal berbiaya rendah yang toleran terhadap tingkat scrap tertentu, produk presisi seperti *spinnerette* menuntut pendekatan pengendalian kualitas yang lebih proaktif

dan sistematis, yakni dengan mengidentifikasi potensi kegagalan sebelum kegagalan tersebut benar-benar terjadi dalam skala yang merugikan.

PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur komponen *spinnerette* yang didirikan pada tahun 1948 dan berinduk di Okayama, Jepang. Sejak tahun 1995, perusahaan ini mengoperasikan fasilitas produksinya di Cikarang, Indonesia, untuk melayani kebutuhan industri serat sintetis (*chemical man-made fibers*) di kawasan Asia Tenggara. Proses produksi di PT XYZ mencakup tujuh departemen utama, yaitu *Material Cutting* (MPN), *Migaki Tool* (KL), *F-Line*, *Washing* (WS), *Kensa* (Inspeksi), *Packing*, dan *Warehouse*. Tahap *machining* merupakan salah satu proses paling kritis dalam rantai produksi tersebut, sebab pada tahap inilah lubang-lubang mikro (*hole*) dibentuk pada bodi *spinnerette* dengan tingkat presisi yang sangat tinggi. Produk yang dihasilkan merupakan komponen pesanan khusus dari pelanggan industri, sehingga setiap penyimpangan dari spesifikasi yang ditetapkan berpotensi langsung berujung pada penolakan dan kerugian ekonomi yang tidak dapat dikompensasi melalui mekanisme produksi ulang secara cepat.

Permasalahan kualitas ini secara nyata terjadi di PT XYZ. Berdasarkan data produksi periode Januari hingga Desember 2025, total produksi mencapai 5.370.000 unit dengan jumlah produk cacat sebanyak 40 unit, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Produksi *Defect Spinning Spinnerette* Januari–Desember 2025

No	Bulan	Total Produksi (Unit)	Total <i>Defect</i> (Unit)	Persentase (%)
1	Januari	420.000	4	0,95
2	Februari	425.000	3	0,71
3	Maret	430.000	4	0,93
4	April	435.000	3	0,69

5	Mei	440.000	4	0,91
6	Juni	445.000	3	0,67
7	Juli	450.000	4	0,89
8	Agustus	455.000	3	0,66
9	September	460.000	4	0,87
10	Oktober	465.000	3	0,65
11	November	470.000	3	0,64
12	Desember	475.000	2	0,42
Total		5.370.000	40	0,74

Berdasarkan Tabel 1, tingkat cacat produk berkisar antara 0,42% hingga 0,95% per bulan dengan rata-rata 0,74%. Meskipun persentase tersebut tergolong rendah secara statistik, dampak

finansialnya sangat signifikan. Rincian kerugian berdasarkan jenis cacat yang terjadi selama periode yang sama disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Kerugian Produk *Spinnerette* Tahun 2025

No	Jenis Cacat	Jumlah <i>Scrap</i> (Unit)	Estimasi Biaya/Unit (Rp)	Total Kerugian (Rp)
1	Permukaan kasar	15	8.000.000	120.000.000
2	Diameter <i>hole</i> tidak sesuai	10	10.000.000	100.000.000
3	Lubang tersumbat	8	7.000.000	56.000.000
4	<i>Misalignment</i>	5	20.000.000	100.000.000
5	Retak mikro	2	50.000.000	100.000.000
Total		40		476.000.000

Berdasarkan Tabel 2, total kerugian akibat produk cacat selama tahun 2025 mencapai Rp476.000.000 yang berasal dari 40 unit produk cacat dari total produksi 5.370.000 unit. Meskipun tingkat cacat hanya sebesar 0,74%, nilai kerugian yang ditimbulkan tergolong tinggi. Kondisi ini menunjukkan karakteristik khas industri manufaktur komponen presisi yang berbeda dari industri manufaktur massal. Pada produk bernilai tinggi seperti *spinning spinnerette*, besarnya kerugian tidak semata-mata ditentukan oleh frekuensi cacat, tetapi juga oleh nilai ekonomis setiap unit produk. Sebagai contoh, cacat retak mikro hanya terjadi pada dua unit produk atau sekitar 5% dari total cacat, tetapi menghasilkan kerugian sebesar Rp100.000.000. Nilai tersebut setara dengan total kerugian yang ditimbulkan oleh 12 unit produk dengan cacat permukaan kasar. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan pengendalian kualitas yang hanya berfokus pada persentase cacat kurang memadai untuk diterapkan pada

proses *machining* komponen presisi. Dalam kondisi tersebut, satu unit produk cacat dapat menimbulkan kerugian yang lebih besar dibandingkan biaya yang diperlukan untuk melakukan tindakan pencegahan. Dengan demikian, permasalahan utama tidak terletak pada tingginya frekuensi cacat, melainkan pada keterbatasan sistem pengendalian kualitas dalam mengidentifikasi mode kegagalan dan akar penyebabnya sejak dini. Akibatnya, tindakan korektif sering kali dilakukan setelah kerugian terjadi, bukan sebelum kegagalan muncul.

Dalam rangka menjawab permasalahan tersebut, metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dipandang sebagai pendekatan yang paling relevan dan komprehensif. FMEA adalah metode analisis risiko yang dikembangkan secara sistematis untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan memprioritaskan potensi mode kegagalan dalam suatu sistem, desain, maupun proses produksi [3]. Metode ini bekerja dengan

mengkuantifikasi tingkat risiko setiap mode kegagalan melalui nilai *Risk Priority Number* (RPN), yang merupakan hasil perkalian tiga parameter utama, yaitu tingkat keparahan dampak (*Severity/S*), frekuensi kejadian (*Occurrence/O*), dan kemampuan deteksi (*Detection/D*) [4]. Nilai RPN yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan urutan prioritas tindakan perbaikan, sehingga sumber daya perusahaan dapat dialokasikan secara efisien pada kegagalan yang memberikan risiko terbesar. Keunggulan utama FMEA dibandingkan metode pengendalian kualitas konvensional terletak pada sifatnya yang proaktif, yakni mampu mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi, bukan sekadar merespons setelah cacat ditemukan pada tahap inspeksi akhir [5]. Dalam proses *machining* presisi, pendekatan proaktif ini menjadi sangat relevan mengingat tingginya nilai ekonomis setiap unit produk dan sulitnya melakukan perbaikan setelah proses *machining* selesai dilaksanakan.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan metode FMEA dalam pengendalian kualitas manufaktur. Sagnak et al. (2020) [6] mengusulkan kerangka FMEA yang diperluas dengan pendekatan *fuzzy* dan teori *prospect* untuk mengatasi keterbatasan metode RPN konvensional dalam menangani ketidakpastian penilaian pakar, dan membuktikan bahwa pendekatan tersebut menghasilkan prioritas risiko yang lebih akurat pada industri otomotif. Muhazir et al. (2020) [7] menerapkan FMEA pada proses produksi komponen otomotif dan menemukan bahwa integrasinya dengan diagram *fishbone* mampu memperjelas hubungan kausalitas antara faktor mesin, material, metode, dan manusia terhadap terjadinya cacat produk. Salah et al. (2023) [8] menunjukkan bahwa penerapan FMEA pada industri *machining* presisi berhasil menurunkan nilai RPN rata-rata sebesar 55% setelah implementasi tindakan perbaikan berbasis prioritas risiko. Lesmana dan Pratiwi (2023) [9] mengintegrasikan FMEA dengan *Statistical*

Process Control (SPC) pada proses manufaktur komponen elektronik presisi dan membuktikan bahwa kombinasi kedua metode tersebut mampu meningkatkan kemampuan deteksi cacat dini dibandingkan inspeksi visual konvensional. Putra dan Devi (2025) [10] menerapkan Process FMEA pada industri tekstil dan menemukan bahwa faktor keausan alat potong serta inkonsistensi parameter mesin merupakan penyebab dominan cacat permukaan. Nabila et al. (2025) [11] menggabungkan FMEA dengan *Fault Tree Analysis* (FTA) pada industri komponen mesin presisi dan menunjukkan bahwa pendekatan hibrida tersebut mampu mengidentifikasi akar penyebab kegagalan dengan lebih mendalam dibandingkan FMEA tunggal, khususnya untuk cacat yang bersifat laten dan sulit terdeteksi secara visual. Kazan et al. (2021) [12] mengembangkan model FMEA dinamis berbasis data produksi *real-time* untuk industri manufaktur presisi dan membuktikan bahwa pembaruan nilai RPN secara periodik berdasarkan data aktual menghasilkan sistem pengendalian risiko yang lebih responsif dibandingkan FMEA statis.

Meskipun berbagai penelitian di atas telah memberikan kontribusi penting, terdapat beberapa kesenjangan (*research gap*) yang belum terjawab secara memadai. Pertama, sebagian besar penelitian FMEA pada industri manufaktur tekstil dan serat sintetis berfokus pada proses *spinning* atau *weaving*, sementara kajian mendalam terhadap proses *machining* komponen presisi *spinnerette* masih sangat terbatas dalam literatur ilmiah. Kedua, studi yang mengintegrasikan FMEA dengan FTA secara simultan untuk menganalisis kegagalan pada komponen *spinnerette* belum pernah dilaporkan dalam industri manufaktur Indonesia. Ketiga, penelitian terdahulu yang menghubungkan nilai RPN dengan estimasi kerugian finansial aktual per jenis cacat masih jarang dilakukan, sehingga hubungan antara tingkat risiko teknis dan dampak ekonomi perusahaan

belum tergambarkan dengan komprehensif. Kesenjangan-kesenjangan ini menjadi justifikasi ilmiah yang kuat bagi perlunya penelitian ini dilaksanakan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini dirancang untuk menjawab empat pertanyaan penelitian, yaitu: (1) jenis cacat apa yang paling dominan pada proses *machining* produk *spinning spinnerette* di PT XYZ dan seberapa besar kontribusinya terhadap total kerugian produksi; (2) *failure mode* apa yang memiliki nilai prioritas risiko tertinggi berdasarkan analisis FMEA serta faktor-faktor yang memengaruhinya; (3) apa akar penyebab utama dari *failure mode* dengan tingkat risiko tertinggi yang teridentifikasi melalui analisis FTA; dan (4) tindakan perbaikan apa yang dapat dirumuskan secara sistematis dan operasional untuk menurunkan tingkat cacat serta kerugian finansial perusahaan.

Sejalan dengan pertanyaan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi jenis cacat yang paling dominan pada proses *machining* produk *spinning spinnerette* di PT XYZ melalui analisis Diagram Pareto; (2) menganalisis mode kegagalan potensial beserta penyebab dan dampaknya menggunakan metode FMEA untuk memperoleh nilai RPN sebagai dasar penentuan prioritas perbaikan; (3) mengidentifikasi akar penyebab kegagalan pada *failure mode* dengan tingkat risiko tertinggi menggunakan metode FTA; serta (4) merumuskan usulan tindakan perbaikan yang sistematis dan terukur melalui pendekatan 5W+1H guna menurunkan tingkat cacat dan kerugian perusahaan.

Penelitian ini memberikan beberapa kontribusi orisinal. Dari sisi teoretis, penelitian ini memperkaya literatur pengendalian kualitas manufaktur presisi dengan menyajikan kajian integratif antara FMEA dan FTA pada spesifikasi komponen *spinnerette*, yang selama ini belum mendapat perhatian memadai dalam penelitian akademik. Dari sisi metodologis, penelitian ini memperkenalkan pendekatan triangulasi data yang menggabungkan

penilaian pakar multidisiplin (QC/QA, *process engineer*, dan operator) dengan data kerugian finansial aktual dalam penyusunan prioritas risiko, sehingga menghasilkan rekomendasi perbaikan yang tidak hanya valid secara teknis, tetapi juga relevan secara ekonomis. Dari sisi praktis, penelitian ini menghasilkan peta risiko kegagalan yang terstruktur beserta rekomendasi perbaikan yang dapat langsung diimplementasikan oleh manajemen PT XYZ maupun perusahaan manufaktur komponen presisi sejenis.

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan panduan ilmiah bagi industri manufaktur *spinnerette* dan komponen presisi serupa dalam membangun sistem pengendalian kualitas yang lebih proaktif dan berbasis risiko. Temuan penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi bagi peneliti berikutnya yang tertarik mengembangkan model pengendalian kualitas terintegrasi, khususnya dalam industri manufaktur presisi di negara berkembang, di mana tekanan untuk mempertahankan kualitas produk sambil mengendalikan biaya produksi merupakan tantangan yang terus-menerus dihadapi.

Metode Penelitian

Desain dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif-analitik dengan pendekatan *mixed methods*, yakni integrasi pendekatan kuantitatif dan kualitatif [13]. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data numerik berupa jumlah produksi, jumlah produk cacat, dan perhitungan nilai RPN, sedangkan pendekatan kualitatif digunakan untuk menggali informasi mendalam mengenai penyebab kegagalan melalui wawancara terstruktur dan observasi lapangan. Integrasi kedua pendekatan ini dipilih karena permasalahan pengendalian kualitas dalam proses *machining* presisi tidak dapat dijelaskan secara memadai hanya melalui data numerik semata, melainkan memerlukan pemahaman substantif terhadap kondisi

aktual proses produksi. Penelitian dilaksanakan di PT XYZ, sebuah perusahaan manufaktur komponen *spinnerette* yang berlokasi di Cikarang, Indonesia, dengan periode pengamatan mencakup data produksi Januari hingga Desember 2025.

Objek dan Ruang Lingkup Penelitian

Objek penelitian adalah produk *spinning spinnerette* yang diproduksi melalui proses machining di PT XYZ. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada tahap proses machining, yakni proses pembentukan lubang mikro (*hole*) pada bodi *spinnerette* yang merupakan tahap paling kritis dan menjadi sumber utama kegagalan kualitas berdasarkan hasil observasi awal. Pembatasan ruang lingkup ini dilakukan agar analisis dapat berfokus pada proses dengan risiko kualitas tertinggi, sehingga rekomendasi perbaikan yang dihasilkan memiliki relevansi praktis yang tinggi bagi perusahaan.

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder [14]. Data primer diperoleh langsung melalui tiga mekanisme, yakni observasi langsung di lantai produksi, wawancara mendalam (*in-depth interview*) dengan personel kunci perusahaan, serta pengisian kuesioner FMEA oleh responden yang telah ditentukan. Data sekunder diperoleh dari dokumentasi internal perusahaan yang telah diproses sebelumnya, meliputi rekapitulasi data produksi bulanan, data jumlah dan jenis

produk cacat (*scrap*), serta estimasi kerugian finansial per jenis cacat selama periode penelitian.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik yang saling melengkapi. Pertama, observasi langsung (*direct observation*) dilaksanakan di area *machining* PT XYZ guna memperoleh gambaran aktual mengenai kondisi mesin, prosedur kerja operator, metode inspeksi yang berjalan, serta faktor lingkungan yang berpotensi memengaruhi kualitas produk. Kedua, wawancara terstruktur dilakukan terhadap tiga kategori responden, yaitu Kepala Departemen QC/QA (*Head Officer*), *Process Engineer*, serta Operator Mesin *Machining*. Ketiga, kuesioner FMEA disebarkan kepada seluruh responden untuk memperoleh penilaian terhadap tiga parameter utama, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) untuk setiap *failure mode* yang telah diidentifikasi [5] [8] [15].

Penelitian ini melibatkan tiga orang responden ($n=3$) yang dipilih secara purposif berdasarkan tiga kriteria utama: (1) memiliki keterlibatan langsung dalam proses *machining* atau pengendalian kualitas produk *spinning spinnerette* di PT XYZ; (2) memiliki pengalaman kerja minimal lima tahun di bidang yang relevan; serta (3) bersedia mengikuti seluruh tahapan pengisian kuesioner FMEA dan sesi klarifikasi. Profil lengkap responden disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Profil Responden Penelitian

No	Jabatan	Usia (Tahun)	Pengalaman Kerja (Tahun)
1	Kepala <i>Quality Control / Quality Assurance</i>	35	7
2	<i>Process Engineer</i>	37	9
3	Operator <i>Mesin Machining</i>	34	6

Meskipun jumlah responden tergolong kecil, pemilihan ini dilakukan secara sengaja dengan pertimbangan bahwa ketiga responden mewakili seluruh lapisan

pengambil keputusan kualitas dalam proses *machining* di PT XYZ, mulai dari level strategis (QC/QA), level teknis (*Process Engineer*), hingga level operasional

(Operator). Pendekatan ini sejalan dengan praktik umum dalam penelitian FMEA berbasis pakar, di mana kualitas dan relevansi pengetahuan responden diprioritaskan di atas kuantitas, mengingat penilaian S, O, dan D memerlukan pemahaman mendalam terhadap proses spesifik yang dikaji [5] [8].

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui empat tahap yang diterapkan secara berurutan dan terpadu. Tahap pertama adalah analisis Diagram Pareto. Diagram Pareto digunakan untuk mengidentifikasi dan mengurutkan jenis cacat berdasarkan frekuensi kejadian, dari yang paling dominan hingga yang paling jarang terjadi. Berdasarkan prinsip 80/20, jenis cacat yang berkontribusi terhadap 80% dari total kejadian cacat dikategorikan sebagai *vital few* dan menjadi prioritas utama dalam analisis tahap berikutnya [16].

Tahap kedua adalah analisis FMEA. FMEA diterapkan untuk mengidentifikasi seluruh *failure mode* potensial pada proses *machining spinnerette*, menganalisis penyebab dan dampak dari setiap kegagalan, serta menghitung nilai RPN sebagai indikator prioritas risiko [5] [8] [15]. Nilai RPN dihitung menggunakan formula standar sebagai berikut:

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

di mana S adalah nilai *Severity*, O adalah nilai *Occurrence*, dan D adalah nilai *Detection*, masing-masing pada skala 1 hingga 10. Nilai akhir dari setiap parameter diperoleh dengan menghitung rata-rata penilaian seluruh responden, yang selanjutnya dibulatkan ke bilangan bulat terdekat. Penggunaan nilai bulat ini sejalan dengan konvensi praktik industri dan standar penerapan FMEA, mengingat skala S, O, dan D pada dasarnya bersifat ordinal dan diskret.

Penelitian ini menggunakan formula RPN konvensional dengan tetap mempertimbangkan perkembangan literatur terkini yang mengkritik sejumlah keterbatasannya, antara lain: nilai RPN

yang sama dapat dihasilkan dari kombinasi S, O, dan D yang berbeda secara substansial; ketiga parameter diperlakukan dengan bobot setara, padahal implikasinya terhadap risiko berbeda; serta skala ordinal yang digunakan tidak mencerminkan interval yang sesungguhnya [4]. Berbagai metode alternatif telah diusulkan, seperti *fuzzy FMEA* yang mengakomodasi ketidakpastian linguistik penilaian pakar [6], *weighted RPN* dengan pembobotan kontekstual, serta pendekatan hibrid AHP-FMEA. Meskipun demikian, RPN konvensional dipilih berdasarkan tiga justifikasi: (1) merupakan standar yang paling luas digunakan dalam praktik industri manufaktur dan telah terbukti valid pada berbagai penerapan *machining* presisi [5] [8], sehingga hasil penelitian memiliki komparabilitas tinggi dengan studi terdahulu; (2) tingkat subjektivitas yang menjadi kelemahan utama RPN konvensional telah diminimalkan melalui triangulasi penilaian tiga responden berlatar belakang profesional yang berbeda; serta (3) integrasi FTA pascaanalisis FMEA dalam kerangka penelitian ini mampu mengompensasi keterbatasan RPN dalam mengungkap hubungan kausalitas yang kompleks.

Tahap ketiga adalah analisis FTA. FTA diterapkan secara khusus terhadap *failure mode* dengan nilai RPN tertinggi yang telah diidentifikasi pada tahap FMEA. Metode ini menggunakan pendekatan logika deduktif *top-down*, yaitu dimulai dari kejadian puncak (*top event*) berupa kegagalan produk, kemudian diuraikan secara sistematis melalui gerbang logika AND dan OR hingga ditemukan *basic event* sebagai akar penyebab paling mendasar dari kegagalan tersebut [10] [11]. Integrasi FTA setelah FMEA dipilih karena FTA mampu mengungkap hubungan kausalitas yang lebih dalam dan kompleks, yang tidak dapat dijelaskan secara memadai oleh FMEA semata, khususnya untuk kegagalan yang bersifat laten atau melibatkan interaksi antarfaktor secara bersamaan.

Tahap keempat adalah perumusan usulan perbaikan menggunakan pendekatan 5W+1H (*What, Why, Where, When, Who, How*). Pendekatan ini digunakan untuk menyusun rekomendasi tindakan perbaikan secara terstruktur dan operasional berdasarkan temuan dari analisis FMEA dan FTA. Setiap rekomendasi dirumuskan dengan menjelaskan apa yang harus diperbaiki, mengapa perbaikan tersebut diperlukan, di mana perbaikan harus dilaksanakan, kapan perbaikan harus dimulai, siapa yang bertanggung jawab, serta bagaimana cara pelaksanaannya.

Validitas dan Keandalan Data

Guna memastikan validitas dan keandalan data, penelitian ini menerapkan beberapa prosedur pengendalian kualitas data. Konsistensi penilaian kuesioner FMEA antarresponden diverifikasi melalui perhitungan nilai rata-rata dan analisis rentang (*range*) penilaian antarkelompok responden. Perbedaan penilaian yang signifikan pada parameter tertentu ditindaklanjuti melalui diskusi klarifikasi (*member checking*) guna memastikan kesamaan pemahaman terhadap definisi operasional setiap skala penilaian. Data sekunder yang diperoleh dari dokumentasi perusahaan divalidasi melalui konfirmasi silang dengan hasil observasi langsung dan wawancara, sehingga konsistensi antara data tertulis dan kondisi aktual di lapangan dapat terjamin.

Penelitian ini tidak menerapkan uji reliabilitas statistik formal seperti *Cronbach's Alpha* atau Koefisien Konkordansi Kendall (W). Keputusan ini

didasarkan pada dua pertimbangan. Pertama, jumlah responden sebanyak tiga orang ($n=3$) tidak memenuhi asumsi minimum yang dipersyaratkan oleh uji-uji tersebut untuk menghasilkan estimasi yang stabil dan dapat diinterpretasikan secara bermakna [15]. Kedua, ketiga responden dipilih justru karena keunikan perspektif profesional masing-masing yang berbeda, sehingga variasi antarresponden merupakan informasi substantif yang mencerminkan perbedaan sudut pandang, bukan indikator inkonsistensi yang perlu diminimalkan. Prosedur *member checking* yang diterapkan secara iteratif berfungsi sebagai mekanisme validasi konsensus yang lebih sesuai dengan karakteristik data dan tujuan penelitian ini.

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Jenis Cacat dan Analisis Diagram Pareto

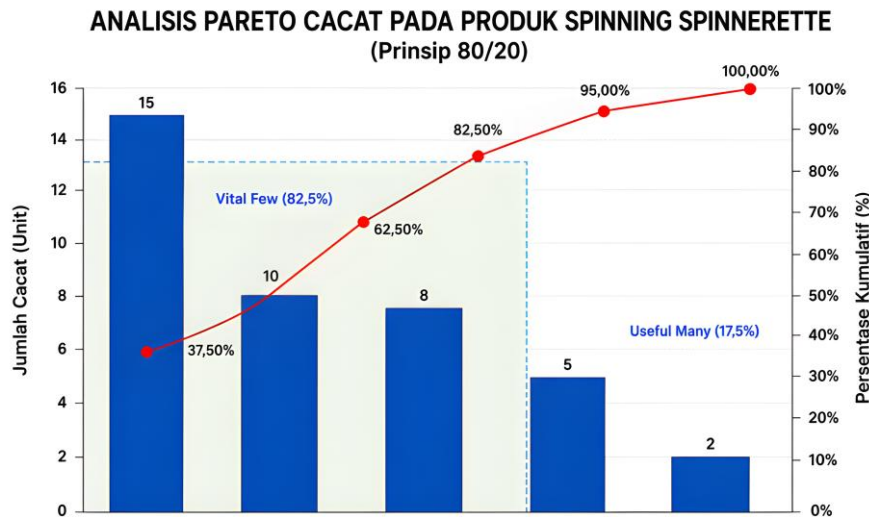
Berdasarkan data produksi PT XYZ periode Januari hingga Desember 2025, total produksi *spinning spinnerette* mencapai 5.370.000 unit dengan jumlah produk cacat sebanyak 40 unit. Identifikasi jenis cacat dilakukan melalui dokumentasi bagian *Quality Control* dan diperkuat dengan observasi langsung di lantai produksi. Hasil identifikasi menemukan lima jenis cacat pada proses *machining*, yaitu permukaan kasar (*rough surface*), diameter *hole* tidak sesuai (*out of specs*), lubang tersumbat (*clogged hole*), *misalignment*, dan retak mikro (*micro crack*). Distribusi frekuensi masing-masing jenis cacat disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Jenis Cacat Produk *Spinning Spinnerette* Periode Januari–Desember 2025

No	Jenis Cacat	Jumlah Cacat (Unit)	Akumulasi (Unit)	Persentase (%)	Akumulasi (%)
1	Permukaan Kasar	15	15	37,50	37,50
2	Diameter <i>Hole</i> Tidak Sesuai	10	25	25,00	62,50
3	Lubang Tersumbat	8	33	20,00	82,50
4	<i>Misalignment</i>	5	38	12,50	95,00
5	Retak Mikro	2	40	5,00	100,00
Total		40		100,00	

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 1, analisis Diagram Pareto menunjukkan bahwa tiga jenis cacat pertama, yaitu permukaan kasar (37,50%), diameter *hole* tidak sesuai (25,00%), dan lubang tersumbat (20,00%), secara kumulatif berkontribusi sebesar 82,50% terhadap total produk cacat. Ketiga jenis cacat tersebut dikategorikan sebagai *vital few* berdasarkan

prinsip Pareto 80/20 dan menjadi fokus utama dalam analisis tahap berikutnya. Cacat permukaan kasar menempati posisi dominan dengan 15 unit atau 37,50% dari total cacat, yang mengindikasikan adanya permasalahan sistemik pada kondisi alat potong dan parameter proses *machining* yang belum terkontrol secara optimal.



Gambar 1. Diagram Pareto Jenis Cacat *Spinning Spinnerette*

Temuan ini konsisten dengan penelitian Manjunath et al. (2021) [17] yang melaporkan bahwa cacat permukaan pada proses *machining* komponen presisi secara konsisten mendominasi distribusi cacat akibat kombinasi faktor keausan alat potong dan inkonsistensi parameter pemotongan. Dominasi tiga jenis cacat pada ambang 80% juga mengonfirmasi validitas penerapan prinsip Pareto dalam

pengendalian kualitas manufaktur presisi, sebagaimana dilaporkan oleh Melkamu et al. (2024) [16].

Analisis Pareto berbasis frekuensi perlu dilengkapi dengan perspektif berbasis biaya kerugian guna memperoleh gambaran prioritas yang lebih komprehensif. Tabel 5 menyajikan distribusi kerugian finansial aktual per jenis cacat yang dihitung berdasarkan data Tabel 4.

Tabel 5. Analisis Pareto Berbasis Biaya Kerugian Produk *Spinning Spinnerette*

No	Jenis Cacat	Total Kerugian (Rp)	Akumulasi (Rp)	Persentase (%)	Akumulasi (%)
1	Retak Mikro	100.000.000	100.000.000	21,01	21,01
2	<i>Misalignment</i>	100.000.000	200.000.000	21,01	42,02
3	Diameter <i>Hole</i> Tidak Sesuai	100.000.000	300.000.000	21,01	63,03
4	Permukaan Kasar	120.000.000	420.000.000	25,21	88,24
5	Lubang Tersumbat	56.000.000	476.000.000	11,76	100,00
Total		476.000.000		100,00	

Hasil analisis *Cost-Pareto* pada Tabel 5 menunjukkan pola prioritas yang berbeda secara substansial dibandingkan

prioritas berbasis frekuensi. Dari perspektif finansial, empat jenis cacat pertama, yakni retak mikro, *misalignment*, diameter *hole*

tidak sesuai, dan permukaan kasar, secara kumulatif berkontribusi sebesar 88,24% dari total kerugian sebesar Rp476.000.000. Temuan yang paling menonjol adalah posisi retak mikro: meskipun hanya menempati urutan kelima berdasarkan frekuensi (5,00%), jenis cacat ini berbagi posisi kerugian finansial tertinggi bersama *misalignment* dan diameter *hole* tidak sesuai, masing-masing sebesar Rp100.000.000, akibat nilai kerugian per unit yang ekstrem sebesar Rp50.000.000. Temuan ini menegaskan bahwa prioritas perbaikan berbasis frekuensi semata, yang menempatkan permukaan kasar sebagai prioritas utama, belum sepenuhnya mencerminkan urgensi dari perspektif finansial perusahaan. Oleh karena itu, pendekatan pengendalian kualitas yang optimal harus mempertimbangkan kedua

dimensi prioritas secara bersamaan: frekuensi defek untuk pengendalian proses harian, dan dampak finansial per unit untuk pengelolaan risiko strategis.

Hasil Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Analisis FMEA dilakukan terhadap seluruh lima *failure mode* yang telah diidentifikasi. Penilaian parameter S, O, dan D diperoleh dari tiga kategori responden secara independen, kemudian dirata-ratakan dan dibulatkan ke bilangan bulat terdekat untuk memperoleh nilai final yang digunakan dalam perhitungan RPN. Rekapitulasi penilaian seluruh responden disajikan pada Tabel 6, sedangkan hasil perhitungan RPN final beserta kategori risiko disajikan pada Tabel 7.

Tabel 6. Rekapitulasi Penilaian Kuesioner FMEA per Responden

No	<i>Failure Mode</i>	Responden	S	O	D
1	Permukaan kasar	QC/QA	6	8	5
		<i>Process Engineer</i>	6	7	5
		Operator	5	8	6
2	Lubang tersumbat	QC/QA	6	6	5
		<i>Process Engineer</i>	6	6	5
		Operator	5	7	6
3	Diameter <i>hole</i> tidak sesuai	QC/QA	7	6	4
		<i>Process Engineer</i>	7	6	4
		Operator	6	7	5
4	Retak mikro	QC/QA	9	3	6
		<i>Process Engineer</i>	9	3	6
		Operator	8	4	7
5	<i>Misalignment</i>	QC/QA	8	5	4
		<i>Process Engineer</i>	8	5	4
		Operator	7	5	5

Tabel 7. Hasil Perhitungan FMEA, Nilai RPN, dan Kategori Risiko

No	<i>Failure Mode</i>	Dampak	Penyebab Utama	Pengendalian Saat Ini	S	O	D	RPN	Kategori Risiko
1	Permukaan kasar	Kualitas produk menurun, berpotensi ditolak pelanggan	Mata pahat aus/tidak optimal	Inspeksi visual	6	8	5	240	<i>High Risk</i>
2	Lubang tersumbat	Fungsi produk	Kotoran/serpihan tidak dibersihkan	Pembersihan manual	6	6	5	180	<i>Medium Risk</i>

3	Diameter <i>hole</i> tidak sesuai	terganggu Produk tidak memenuhi spesifikasi	Kalibrasi alat ukur tidak rutin	Pemeriksaan dimensi akhir	7	6	4	168	<i>Medium Risk</i>
4	Retak mikro	Produk <i>scrap</i> total, kerugian tinggi	Kualitas material tidak sesuai	Pemeriksaan bahan baku	9	3	6	162	<i>Medium Risk*</i>
5	<i>Misalignment</i>	Produk gagal fungsi, tidak presisi	Setting mesin kurang tepat	Setup awal mesin	8	5	4	160	<i>Medium Risk</i>

Catatan: * Meskipun terklasifikasi *Medium Risk* berdasarkan nilai RPN, retak mikro memerlukan perhatian setara *High Risk* mengingat nilai *Severity*-nya mencapai 9, tertinggi di antara seluruh *failure mode* yang teridentifikasi. *High Risk* = RPN > 200; *Medium Risk* = RPN 100–200; *Low Risk* = RPN < 100.

Hasil analisis FMEA pada Tabel 7 menunjukkan bahwa *failure mode* permukaan kasar memperoleh nilai RPN tertinggi sebesar 240 dan dikategorikan sebagai *High Risk*, sehingga menjadikannya prioritas utama perbaikan. Tingginya nilai RPN tersebut didorong terutama oleh nilai *Occurrence* sebesar 8, yang mengindikasikan frekuensi kejadian yang sangat tinggi di lapangan. Meskipun nilai *Severity*-nya tergolong sedang (S=6), kombinasi frekuensi kejadian yang tinggi dengan kemampuan deteksi yang terbatas (D=5) menghasilkan nilai risiko kumulatif yang jauh melampaui *failure mode* lainnya. Temuan ini sejalan dengan Salah et al. (2023) [8] yang menyatakan bahwa pada proses *machining* presisi, nilai *Occurrence* yang tinggi merupakan indikator paling kritis dalam penentuan prioritas perbaikan karena mencerminkan kelemahan sistemik pada pengendalian proses.

Failure mode lubang tersumbat menempati prioritas kedua dengan RPN sebesar 180 dan dikategorikan *Medium Risk*. Nilai *Severity* dan *Occurrence* yang sama-sama berada pada angka 6 menunjukkan bahwa cacat ini terjadi dengan frekuensi yang cukup sering dan menimbulkan dampak signifikan terhadap fungsi produk. *Failure mode* diameter *hole*

tidak sesuai berada di prioritas ketiga dengan RPN sebesar 168. Nilai *Severity* yang relatif lebih tinggi (S=7) dibandingkan permukaan kasar mencerminkan bahwa penyimpangan dimensi lubang memiliki konsekuensi fungsional yang lebih serius, meskipun frekuensi kejadiannya lebih rendah.

Failure mode yang patut mendapat perhatian khusus adalah retak mikro. Meskipun hanya menempati prioritas keempat berdasarkan nilai RPN (162) dengan kategori *Medium Risk*, *failure mode* ini memiliki nilai *Severity* tertinggi di antara seluruh kegagalan yang teridentifikasi, yaitu sebesar 9. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa setiap kejadian retak mikro berpotensi menyebabkan *scrap* total dengan kerugian finansial per unit yang paling besar, yakni Rp50.000.000 per unit. Kondisi ini menuntut perhatian manajemen tidak hanya pada *failure mode* dengan RPN tertinggi, tetapi juga pada kegagalan dengan tingkat keparahan ekstrem meskipun frekuensinya rendah. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Jannah dan Dewi (2024) [18] bahwa nilai *Severity* tinggi harus selalu menjadi pertimbangan independen dalam pengambilan keputusan perbaikan.

Guna melengkapi analisis prioritas berbasis RPN, Tabel 8 menyajikan *Risk Matrix* yang memetakan seluruh *failure mode* berdasarkan dimensi *Severity* dan *Occurrence* secara bersamaan. Pendekatan

ini diperlukan karena FMEA konvensional berbasis RPN berpotensi meremehkan *failure mode* yang memiliki nilai *Severity* sangat tinggi namun frekuensi kejadian rendah.

Tabel 8. *Risk Matrix* Pemetaan *Failure Mode* Berdasarkan *Severity* dan *Occurrence*

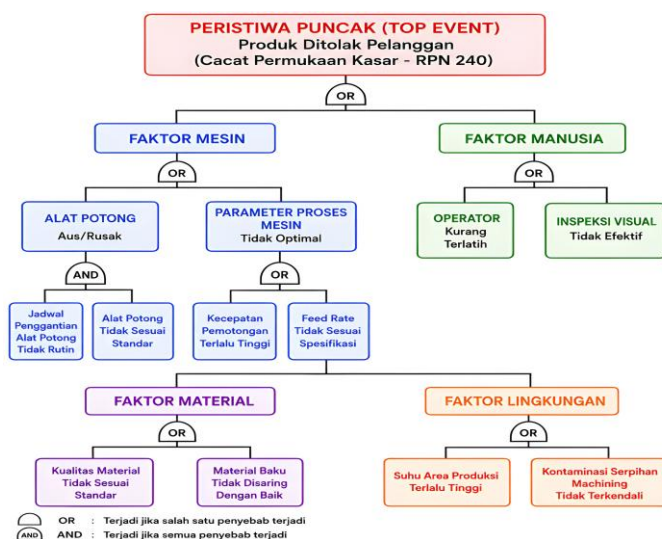
	O = 1–3 (Rendah)	O = 4–6 (Sedang)	O = 7–10 (Tinggi)
S = 9–10 (Kritis)	Retak Mikro (S=9, O=3)	–	–
S = 7–8 (Serius)	–	<i>Misalignment</i> (S=8, O=5)	–
S = 5–6 (Moderat)	–	Lubang Tersumbat (S=6, O=6); Diameter <i>Hole</i> Tidak Sesuai (S=7, O=6)	Permukaan Kasar (S=6, O=8)

Risk Matrix pada Tabel 8 mengonfirmasi temuan penting yang tidak sepenuhnya tertangkap oleh analisis RPN. Permukaan kasar berada di kuadran *Occurrence* tinggi–*Severity* moderat, yang mencerminkan risiko operasional harian yang memerlukan penanganan segera. Sebaliknya, retak mikro berada di kuadran *Severity* kritis–*Occurrence* rendah, yang merepresentasikan risiko katastrofik yang bersifat laten. Posisi retak mikro di kuadran ini secara eksplisit menunjukkan bahwa *failure mode* tersebut memerlukan strategi pengendalian yang berbeda dari pendekatan berbasis frekuensi, yakni melalui pengetatan kontrol material masuk dan prosedur inspeksi bahan baku sebagaimana telah dirumuskan dalam usulan perbaikan

5W+1H. Temuan ini memperkuat pandangan Jannah dan Dewi (2024) [18] bahwa nilai *Severity* tinggi harus selalu menjadi pertimbangan independen dan tidak dapat diabaikan meskipun nilai RPN keseluruhan tidak tertinggi.

Hasil Analisis *Fault Tree Analysis* (FTA)

FTA diterapkan terhadap *failure mode* permukaan kasar sebagai *failure mode* dengan nilai RPN tertinggi (240). Analisis dimulai dari *top event* berupa produk ditolak pelanggan akibat cacat permukaan kasar, kemudian diuraikan ke bawah menggunakan gerbang logika OR dan AND hingga ditemukan *basic event* sebagai akar penyebab terdalam. Hasil analisis FTA disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram *Fault Tree Analysis* Cacat Permukaan Kasar

Berdasarkan hasil FTA pada Gambar 2, teridentifikasi empat kelompok *basic event* yang menjadi akar penyebab cacat permukaan kasar, yaitu: (1) faktor mesin, yang meliputi jadwal penggantian mata pahat yang tidak rutin dan penggunaan alat potong yang tidak sesuai standar; (2) faktor parameter proses, yang mencakup kecepatan pemotongan yang terlalu tinggi dan *feed rate* yang tidak sesuai spesifikasi material; (3) faktor manusia, yang terdiri atas kurangnya kompetensi operator dalam membaca kondisi alat potong dan metode inspeksi visual yang belum terstandarisasi; serta (4) faktor lingkungan, berupa suhu lantai produksi yang tinggi dan kontaminasi serpihan *machining* yang tidak terkontrol dengan baik.

Temuan FTA ini memperkuat hasil analisis FMEA dengan mengungkap bahwa cacat permukaan kasar bukan disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi kompleks antara beberapa faktor yang terhubung melalui gerbang logika OR. Kondisi tersebut berarti setiap faktor secara mandiri sudah cukup untuk memicu terjadinya cacat, dan hal ini menjelaskan mengapa nilai *Occurrence* cacat permukaan kasar sangat tinggi ($O=8$), sebab peluang terjadinya cacat terbuka dari berbagai jalur penyebab secara bersamaan. Temuan ini konsisten dengan Putra dan Devi (2025) [10] yang menyimpulkan bahwa integrasi FTA pascaanalisis FMEA mengungkap kompleksitas kausalitas yang tidak terlihat pada analisis FMEA tunggal.

Usulan Tindakan Perbaikan Berbasis 5W+1H

Berdasarkan hasil analisis FMEA dan FTA, dirumuskan usulan tindakan perbaikan yang terstruktur dengan pendekatan 5W+1H. Perbaikan diprioritaskan pada tiga *failure mode* dengan nilai RPN tertinggi, yakni permukaan kasar ($RPN=240$), lubang tersumbat ($RPN=180$), dan diameter *hole* tidak sesuai ($RPN=168$), dengan tetap memberikan perhatian khusus pada retak mikro mengingat nilai *Severity*-nya yang

ekstrem ($S=9$) dan posisinya di kuadran *Severity* kritis pada *Risk Matrix*.

Failure mode pertama dan utama adalah cacat permukaan kasar dengan nilai $RPN=240$ berkategori *High Risk*. Tindakan perbaikan yang diusulkan adalah standarisasi jadwal penggantian mata pahat disertai penerapan *preventive maintenance* alat potong yang terjadwal. Perbaikan ini mendesak dilakukan karena mata pahat yang aus merupakan akar penyebab utama cacat permukaan kasar dengan frekuensi kejadian tertinggi ($O=8$). Implementasi dilakukan di area *machining* PT XYZ dan harus diterapkan mulai siklus produksi berikutnya di bawah tanggung jawab *Process Engineer* dan Teknisi Mesin. Perbaikan dilaksanakan dengan menyusun SOP penggantian mata pahat berdasarkan akumulasi jam operasi mesin, memasang *checklist* harian kondisi alat potong di setiap stasiun kerja, serta melakukan kalibrasi parameter pemotongan, seperti kecepatan potong dan *feed rate*, secara berkala sesuai spesifikasi material yang diproses.

Failure mode kedua adalah lubang tersumbat dengan nilai $RPN=180$. Tindakan perbaikan yang diusulkan adalah penerapan prosedur pembersihan terstandarisasi dan peningkatan kontrol kebersihan di seluruh area *machining*. Perbaikan ini diperlukan karena serpihan sisa *machining* yang tidak terbersihkan secara konsisten menjadi penyebab utama penyumbatan lubang yang mengganggu fungsi produk. Pelaksanaan perbaikan dijadwalkan dalam satu bulan pertama setelah penelitian ini selesai, mencakup seluruh stasiun kerja *machining*, dan berada di bawah tanggung jawab *Supervisor* Produksi bersama Operator. Mekanisme perbaikan meliputi penyusunan SOP pembersihan mesin dan area kerja yang terperinci, penetapan frekuensi pembersihan minimal dua kali per *shift*, serta penambahan prosedur pengecekan kebersihan *hole* sebagai bagian dari tahap inspeksi antara (*in-process inspection*)

sebelum produk melanjutkan ke proses berikutnya.

Failure mode ketiga adalah diameter *hole* tidak sesuai dengan nilai RPN=168. Tindakan perbaikan yang diusulkan adalah penerapan jadwal kalibrasi alat ukur secara rutin dan terstandarisasi. Perbaikan ini diperlukan karena ketidakrutinan kalibrasi menyebabkan penyimpangan dimensi yang tidak terdeteksi hingga tahap inspeksi akhir, sehingga produk cacat baru ditemukan setelah proses selesai dan kerugian telah terjadi. Kalibrasi rutin dijadwalkan setiap minggu di laboratorium QC dan area *machining*, di bawah tanggung jawab langsung *Head QC/QA*. Perbaikan dilaksanakan dengan menyusun jadwal kalibrasi alat ukur dimensi yang terdokumentasi, mencatat seluruh hasil kalibrasi dalam *logbook* terstandarisasi, serta menerapkan verifikasi silang dimensi *hole* di tengah proses produksi sebagai bagian dari sistem *in-process inspection* yang lebih ketat.

Failure mode keempat adalah retak mikro dengan nilai RPN=162. Meskipun nilai RPN-nya tidak tertinggi, *failure mode* ini mendapat perhatian khusus karena memiliki nilai *Severity* tertinggi di antara seluruh kegagalan yang teridentifikasi (S=9) dan berada di kuadran *Severity* kritis pada *Risk Matrix*, yang mencerminkan potensi kerugian total per unit sebesar Rp50.000.000. Tindakan perbaikan yang diusulkan adalah pengetatan seleksi bahan baku disertai peningkatan prosedur *incoming quality control*. Perbaikan ini harus diterapkan pada setiap penerimaan bahan baku di gudang penerimaan material dan laboratorium QC, di bawah tanggung jawab bersama *Head QC/QA* dan divisi *Procurement*. Mekanisme perbaikan mencakup penyusunan kriteria seleksi material yang lebih ketat berdasarkan standar kekerasan dan struktur mikro, penambahan pengujian sampel bahan baku pada setiap lot penerimaan, serta pengetatan evaluasi kinerja supplier

berdasarkan data historis cacat yang terdokumentasi secara sistematis.

Failure mode kelima adalah misalignment dengan nilai RPN=160. Tindakan perbaikan yang diusulkan adalah penguatan SOP setting mesin yang disertai peningkatan kompetensi operator secara terprogram. Perbaikan ini diperlukan karena kesalahan setting mesin bersumber dari prosedur yang belum terstandarisasi secara memadai dan kurangnya pelatihan operator dalam menangani parameter mesin yang kompleks. Pelatihan operator dijadwalkan dalam dua bulan pertama implementasi, dilaksanakan di area *machining* di bawah tanggung jawab *Process Engineer* bersama HRD. Perbaikan dilaksanakan dengan menyusun modul pelatihan setting mesin yang terstandarisasi, menyelenggarakan sesi simulasi setting mesin terpandu bagi operator, serta menetapkan prosedur verifikasi setting mesin oleh *process engineer* sebagai syarat wajib sebelum produksi dimulai pada setiap pergantian *job order*.

Usulan perbaikan yang dirumuskan menunjukkan bahwa pengendalian kualitas yang efektif pada proses *machining spinnerette* memerlukan pendekatan yang komprehensif dan mencakup seluruh dimensi sistem produksi, mulai dari manajemen alat potong, standarisasi prosedur operasional, kalibrasi alat ukur, pengendalian kualitas material, hingga peningkatan kompetensi sumber daya manusia. Temuan ini memperkuat argumen Psarommatis et al. (2022) [19] bahwa perbaikan kualitas pada industri manufaktur presisi tidak dapat berhasil apabila hanya difokuskan pada satu aspek semata, melainkan harus bersifat sistemik dan melibatkan seluruh pemangku kepentingan dalam rantai proses produksi. Perumusan rekomendasi berbasis 5W+1H memastikan bahwa setiap tindakan perbaikan memiliki kejelasan tanggung jawab, target waktu, dan mekanisme pelaksanaan yang konkret, sehingga peluang keberhasilan implementasi di lapangan menjadi lebih

tinggi dibandingkan rekomendasi yang bersifat umum dan tidak operasional.

Simpulan

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jenis cacat dominan, menganalisis mode kegagalan potensial beserta nilai prioritas risikonya, mengidentifikasi akar penyebab kegagalan utama, serta merumuskan usulan tindakan perbaikan yang sistematis pada proses *machining* produk *spinning spinnerette* di PT XYZ melalui pendekatan terintegrasi Diagram Pareto, FMEA, dan FTA. Analisis Diagram Pareto mengidentifikasi tiga cacat dominan sebagai *vital few*, yakni permukaan kasar (37,50%), diameter *hole* tidak sesuai (25,00%), dan lubang tersumbat (20,00%), dengan kontribusi kumulatif 82,50% terhadap total produk cacat. Analisis FMEA menunjukkan permukaan kasar sebagai prioritas utama perbaikan dengan nilai RPN tertinggi sebesar 240 (*High Risk*), sementara seluruh *failure mode* lainnya terklasifikasi *Medium Risk*. Meskipun demikian, retak mikro yang hanya mencakup 5,00% frekuensi cacat tetap memerlukan perhatian strategis karena mencatatkan kerugian finansial tertinggi sebesar Rp50.000.000 per unit dan berada di kuadran *Severity* kritis (S=9). Analisis FTA selanjutnya mengungkap bahwa cacat permukaan kasar bersumber dari interaksi empat kelompok faktor, yaitu kondisi mata pahat, parameter proses *machining*, kompetensi operator, dan pengendalian lingkungan produksi, yang terhubung melalui gerbang logika OR sehingga mensyaratkan intervensi simultan pada seluruh faktor penyebab.

Usulan perbaikan berbasis 5W+1H dirumuskan secara operasional untuk seluruh *failure mode*, mencakup standarisasi jadwal penggantian mata pahat, *preventive maintenance* alat potong, prosedur pembersihan terstandarisasi, kalibrasi alat ukur terjadwal, pengetatan *incoming quality control* bahan baku, serta penguatan SOP setting mesin. Setiap rekomendasi dilengkapi kejelasan tanggung

jawab, jadwal implementasi, dan mekanisme pelaksanaan yang konkret. Penerapan rekomendasi secara konsisten berpotensi menekan tingkat *scrap* secara signifikan dengan estimasi *potential financial savings* hingga Rp476.000.000 per tahun. Kerangka analisis integratif Pareto–FMEA–FTA yang diterapkan dalam penelitian ini berpotensi diadopsi sebagai model standar pengendalian kualitas berbasis risiko pada industri manufaktur komponen presisi sejenis di negara berkembang.

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diakui, di antaranya penilaian parameter FMEA yang hanya melibatkan tiga responden dari satu perusahaan serta belum mencakup fase implementasi dan evaluasi pascaperbaikan, sehingga estimasi *financial savings* bersifat proyektif. Penelitian berikutnya disarankan memperluas cakupan responden dan jumlah perusahaan guna meningkatkan representativitas penilaian risiko, mengintegrasikan model FMEA dinamis berbasis data produksi *real-time*, serta menggabungkan pendekatan *Statistical Process Control* (SPC) atau *Six Sigma* guna menghasilkan sistem pengendalian kualitas yang lebih adaptif dan berkelanjutan pada industri manufaktur presisi.

Referensi

- [1] W. S. Yip, S. To, and H. Zhou, "Current status, challenges and opportunities of sustainable ultra-precision manufacturing," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 33, no. 8, pp. 2193–2205, 2022.
- [2] K. Moriam, D. Sawada, K. Nieminen, Y. Ma, M. Rissanen, N. Nygren, et al., "Spinneret geometry modulates the mechanical properties of man-made cellulose fibers," *Cellulose*, vol. 28, no. 17, pp. 11165–11181, 2021.
- [3] A. Mascia, A. M. Cirafici, A. Bongiovanni, G. Colotti, G. Lacerra, M. Di Carlo, et al., "A failure mode and effect analysis (FMEA)-based

- approach for risk assessment of scientific processes in non-regulated research laboratories,” *Accreditation and Quality Assurance*, vol. 25, no. 5, pp. 311–321, 2020.
- [4] R. Karek, K. Lemnaouer, and L. Guerrida, “A multi-criteria weighted risk priority number model for evaluating failure modes and effects: A case study,” *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 25, no. 3, pp. 895–905, 2025.
- [5] Z. Wu, W. Liu, and 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.
- [6] M. Sagnak, Y. Kazancoglu, Y. D. Ozkan Ozen, and J. A. Garza-Reyes, “Decision-making for risk evaluation: Integration of prospect theory with failure modes and effects analysis (FMEA),” *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 37, no. 6–7, pp. 939–956, 2020.
- [7] A. Muhazir, Z. Sinaga, and A. A. Yusanto, “Analisis penurunan defect pada proses manufaktur komponen kendaraan bermotor dengan metode failure mode and effect analysis (FMEA),” *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 66–77, 2020.
- [8] B. Salah, M. Alnahhal, and 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.
- [9] A. Lesmana and I. Pratiwi, “Pengendalian kualitas dengan pendekatan SPC dan FMEA pada proses perakitan smartphone (studi kasus: PT Adi Reka Mandiri),” *Nusantara of Engineering (NOE)*, vol. 6, no. 1, pp. 46–56, 2023.
- [10] R. F. Putra and S. Devi, “Pemetaan risiko cacat kain gray menggunakan failure mode and effect analysis dan fault tree analysis sebagai dasar sistem pencegahan,” *MUARA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu Teknik Mesin, Industri & Komputer*, vol. 1, no. 1, pp. 49–57, 2025.
- [11] B. N. Nabila, S. S. Dahda, and E. D. Priyana, “Penerapan failure mode and effect analysis (FMEA) dan fault tree analysis (FTA) pada mesin produksi untuk peningkatan keandalan,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 4, no. 4, pp. 1613–1623, 2025.
- [12] C. A. Kazan, H. İ. Koruca, and S. Chehbi Gamoura, “Dynamic data-driven failure mode effects analysis (FMEA) and fault prediction with real-time condition monitoring in Manufacturing 4.0,” in *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering, Cham, Switzerland: Springer International Publishing*, Oct. 2021, pp. 773–790.
- [13] H. Taherdoost, “What are different research approaches? Comprehensive review of qualitative, quantitative, and mixed method research, their applications, types, and limitations,” *Journal of Management Science & Engineering Research*, vol. 5, no. 1, pp. 53–63, 2022.
- [14] U. Sulung and M. Muspawi, “Memahami sumber data penelitian: Primer, sekunder, dan tersier,” *Edu Research*, vol. 5, no. 3, pp. 110–116, 2024.
- [15] P. Bhattacharjee, V. Dey, and U. K. Mandal, “Risk assessment by failure mode and effects analysis (FMEA) using an interval number based logistic regression model,” *Safety Science*, vol. 132, Art. no. 104967, 2020.
- [16] M. Melkamu, N. Feyissa, N. Lemma, and E. Dugassa, “Assessment and identification of

- major common causes of poor quality products through 80/20 principle and cost of poor quality in garment sectors,” *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, vol. 16, pp. 10–20, 2024.
- [17] K. Manjunath, S. Tewary, N. Khatri, and K. Cheng, “Monitoring and predicting the surface generation and surface roughness in ultraprecision machining: A critical review,” *Machines*, vol. 9, no. 12, Art. no. 369, 2021.
- [18] D. N. Jannah and S. Dewi, “Analisis manajemen risiko prioritas dan strategi pengelolaan sewa aset menggunakan metode failure mode and effect analysis (FMEA): Studi kasus perusahaan galangan kapal,” *Innovative: Journal of Social Science Research*, vol. 4, no. 6, pp. 4264–4280, 2024.
- [19] F. Psarommatis, J. Sousa, J. P. Mendonça, and D. Kiritsis, “Zero-defect manufacturing: The approach for higher manufacturing sustainability in the era of Industry 4.0: A position paper,” *International Journal of Production Research*, vol. 60, no. 1, pp. 73–91, 2022.