

## Analisis Kualitas Hasil Mesin Bubut untuk Menurunkan Tingkat Defect Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) di PT XYZ

**Aries Wijayanto\*, Setiawan, Cipto Purwanto**

Universitas Pelita Bangsa, Indonesia

Email: wijayantoaries674@gmail.com\*, setiawan@pelitabangsa.ac.id,  
cipto.p@pelitabangsa.ac.id

<i>Keywords</i>	<i>Abstract</i>
<p><i>Quality Control; Lathe Machine; Defect; FMEA; RPN</i></p>	<p><i>PT XYZ faces a high defect rate in the turning process at the Machining Department, with an average defect percentage of 12% out of 1,716 total production units from July to November 2025. Six types of defects were identified: dimensional defects, rough surfaces, deformation/distortion, geometric defects, cutting tool quality issues, and setup process errors. This research aims to identify the root causes of defects and provide corrective recommendations using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. Data were collected through direct observation, interviews, and production documentation. The results of the FMEA before repair showed that the deformation/distortion had the highest RPN value of 245, followed by dimensional defects of 175 and rough surfaces of 150. After implementing improvements in the form of standardization of SOPs, production checklists, operator training, calibration of periodic measuring instruments, and preventive maintenance, the RPN value decreased significantly, where deformation/distortion became 32 and dimensional defects became 24. This study concludes that the FMEA method has proven to be effective as a quality control tool in the turning process in the manufacturing industry, as evidenced by a substantial decrease in RPN values in all types of defects. These findings contribute to the development of industrial engineering, especially in the application of risk-based quality improvement for machining process quality control.</i></p>
Kata kunci	Abstrak
<p>Pengendalian Kualitas; Mesin Bubut; Defect; FMEA; RPN</p>	<p>PT XYZ menghadapi permasalahan tingginya tingkat defect pada proses pembubutan di Departemen Machining, dengan rata-rata persentase defect mencapai 12% dari total 1.716 unit produksi selama periode Juli hingga November 2025. Terdapat 6 jenis defect yang teridentifikasi, yaitu cacat dimensi, permukaan kasar, deformasi/distorsi, cacat geometri, masalah kualitas alat potong, dan kesalahan proses setup. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab utama defect serta memberikan usulan perbaikan menggunakan metode <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA). Data dikumpulkan melalui observasi langsung, wawancara, dan dokumentasi data produksi. Hasil FMEA sebelum perbaikan menunjukkan bahwa deformasi/distorsi memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 245, diikuti cacat dimensi sebesar 175 dan permukaan kasar sebesar 150. Setelah diterapkan perbaikan berupa</p>

---

standarisasi SOP, checklist produksi, pelatihan operator, kalibrasi alat ukur berkala, dan preventive maintenance, nilai RPN turun signifikan, di mana deformasi/distorsi menjadi 32 dan cacat dimensi menjadi 24. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode FMEA terbukti efektif sebagai alat pengendalian kualitas pada proses pembubutan di industri manufaktur, yang dibuktikan dengan penurunan substansial nilai RPN pada seluruh jenis *defect*. Temuan ini berkontribusi pada pengembangan ilmu teknik industri, khususnya dalam penerapan *risk-based quality improvement* untuk pengendalian kualitas proses permesinan.

---

## PENDAHULUAN

Perusahaan manufaktur menghadapi tantangan nyata untuk menjaga kualitas produk tetap konsisten, terutama ketika proses produksi melibatkan mesin dengan tingkat presisi tinggi. Serangkaian tindakan yang dikenal sebagai pengendalian kualitas bertujuan untuk menjamin bahwa setiap produk yang dibuat memenuhi standar yang ditetapkan, melalui pengawasan terus menerus dan membandingkan kondisi sebenarnya dengan spesifikasi yang sesuai (Muvidah et al., 2023).

Hasil pengamatan langsung di *Machining Departement* menunjukkan bahwa ada beberapa data kesalahan. Pengambilan data produk dan jumlah kesalahan terjadi di bagian *Workshop* yang diawasi langsung oleh *Machining Departement*.

Untuk mengatasi banyaknya pekerjaan yang terkait dengan *part* dari *paper machine*, perusahaan menyediakan 6 mesin bubut. Namun, karena sebagian besar produk diproses melalui mesin bubut, persentase *defect* tertinggi juga terjadi pada mesin ini. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengurangi *defect*, mengendalikan kualitas produk, serta mengidentifikasi penyebab timbulnya *defect* tersebut (Adar & Deliktaş, 2017; Backlund et al., 2014; Chanamool & Naenna, 2016; Fenta et al., 2025; Wolniak, 2019).

Mesin bubut memberikan dampak tidak langsung yang cukup besar terhadap standar kualitas produk yang dihasilkan. Ketika mesin bekerja secara optimal dan keluarannya memenuhi spesifikasi yang diharapkan, maka angka produk cacat akan berada dalam batas yang dapat diterima. Berbagai studi menunjukkan bahwa temuan produk tidak sesuai sering dijumpai, baik pada tahap akhir produksi maupun di tengah berlangsung proses pembubutan (Azwir et al., 2022).

Salah satu pilar penting dalam keberlangsungan proses produksi adalah kondisi mesin yang selalu siap pakai (Chiozza & Ponzetti, 2009; Liu et al., 2013; Pillay & Wang, 2003). Hal ini sejalan dengan upaya memastikan peralatan dan mesin yang digunakan dapat beroperasi dalam jangka waktu panjang, sehingga tidak mengganggu kelancaran proses (Fattahi & Khalilzadeh, 2018; Safari et al., 2016; Scipioni et al., 2002; Sinha et al., 2004). Langkah perawatan rutin meliputi pemeriksaan berkala, pelumasan komponen, perbaikan atau penggantian bagian yang aus, serta penyesuaian komponen mesin yang tidak bekerja optimal (Idkhan et al., 2023).

Penggunaan mesin secara terus-menerus untuk mengejar target produksi yang melampaui kapasitas normal akan berdampak pada penurunan performa mesin itu sendiri.

Umur operasional mesin menjadi lebih pendek dan intensitas perawatan yang dibutuhkan pun meningkat (Baynal et al., 2018; Doblaz-Reyes et al., 2021; Pereira et al., 2019; Shahin, 2004). Akibatnya, evaluasi kinerja dan pemeliharaan mesin bubut harus dilakukan untuk memperbaiki masalah yang muncul (Dharu & Suseno, 2023).

PT XYZ adalah perusahaan manufaktur di Indonesia yang berfokus pada produksi kertas berbahan dasar kertas bekas yang didaur ulang. Kertas tersebut diolah kembali dengan campuran berbagai bahan kimia dan digunakan sebagai bahan dasar kemasan kardus untuk memenuhi kebutuhan industri lainnya. Beberapa jenis kertas yang diproduksi oleh PT XYZ antara lain kertas *Duplex*, *Kraft Liner Board* (KLB), dan *Corrugated Medium Paper* (CMP). Kertas-kertas ini diproduksi oleh mesin kertas (*paper machine*) yang berbeda-beda. *Paper machine* 1 dan 2 memproduksi kertas *Duplex*, *paper machine* 5 memproduksi *Kraft Liner Board* (KLB), sedangkan *paper machine* 3 dan 7 memproduksi *Corrugated Medium Paper* (CMP). PT XYZ adalah produsen kertas terkemuka di Indonesia dengan produk yang didistribusikan ke luar negeri. Untuk memastikan kualitas produk dan meningkatkan kepuasan pelanggan, perusahaan telah menerapkan sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 (Azwir et al., 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan komponen atau proses yang paling sering menyebabkan kegagalan pada mesin bubut konvensional. Ini dilakukan dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode ini membangun fondasi untuk menentukan nilai nomor Prioritas Risiko (RPN) dan menghasilkan saran perbaikan yang terstruktur. Dengan menghitung dan membandingkan nilai RPN antar komponen, dimungkinkan untuk menetapkan urutan prioritas perbaikan sehingga intervensi dapat dilakukan pada titik yang paling berisiko (Teknologi et al., 2025).

Hasil observasi digunakan untuk menentukan dasar masalah yang dihadapi *Machining Departement*. Berikut parafrase yang sudah disesuaikan konteksnya menjadi NG pada proses pembubutan. Salah satu masalah dalam proses produksi adalah pembubutan, yang masih sangat bergantung pada kemampuan dan ketelitian masing-masing operator. Kondisi ini berdampak pada hasil pembubutan yang tidak konsisten, baik dari sisi dimensi, toleransi ukuran, maupun kualitas permukaan produk yang dihasilkan, sehingga menimbulkan hambatan pada tahap inspeksi maupun proses lanjutan. Tingginya angka ketidaksesuaian yang dihasilkan secara langsung berkontribusi pada meningkatnya jumlah produk yang tidak memenuhi persyaratan kualitas yang telah ditetapkan, atau yang lazim disebut produk *Not Good* (NG).

Dari sisi dampak, tingginya angka produk NG pada proses pembubutan mengandung risiko yang cukup serius, yakni kemungkinan lolosnya produk yang tidak sesuai standar hingga sampai ke tangan pelanggan dan berpotensi menimbulkan keluhan. Selain permasalahan pada output produksi, terdapat pula persoalan yang menyangkut sistem pengendalian kualitas secara keseluruhan. Proses pembubutan yang berjalan selama ini belum didukung oleh pendekatan yang sistematis dalam menelusuri akar penyebab munculnya *defect*, sehingga upaya perbaikan yang dilakukan cenderung tidak menyentuh inti persoalan dan bersifat sementara. Kondisi ini diperparah dengan masih

terbatasnya keterlibatan anggota tim kerja dalam kegiatan peningkatan mutu, yang menjadikan solusi-solusi yang telah diterapkan belum berjalan secara optimal dan berkesinambungan.

Beberapa penelitian telah mengkaji penerapan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dalam pengendalian kualitas proses manufaktur. (Azwir et al., 2022) dalam penelitiannya tentang analisis dan perbaikan kualitas produk mesin bubut di industri kertas menemukan bahwa faktor utama penyebab defect adalah kurangnya ketelitian operator, parameter pemotongan yang tidak sesuai, serta kondisi mesin yang tidak terkalibrasi secara rutin, dengan tingkat defect mencapai rata-rata 12% pada periode tertentu. (Idkhan et al., 2023) mengimplementasikan FMEA pada mesin bubut konvensional CQ6230b di laboratorium pendidikan teknik mesin dan berhasil mengidentifikasi mode kegagalan kritis seperti keausan spindle dan ketidakakuratan eretan, dengan nilai RPN tertinggi sebelum perbaikan mencapai 224 yang kemudian turun signifikan setelah tindakan perbaikan. (Dharu & Suseno, 2023) menganalisis efektivitas mesin bubut menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan FMEA, dan menemukan bahwa penyebab dominan kegagalan mesin berasal dari faktor operator dan metode kerja yang tidak standar. Fenta, Pamungkas, Arysawan, Giat, & Putra (2025) menggunakan pendekatan FMEA untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan mesin bubut di laboratorium manufaktur dan menyimpulkan bahwa nilai RPN tertinggi terdapat pada komponen spindle akibat kurangnya *preventive maintenance*. (Muvidah et al., 2023) mengkombinasikan *Lean Six Sigma* dan Fuzzy FMEA untuk menekan kecacatan produk dan menemukan bahwa pendekatan terintegrasi tersebut lebih efektif dalam memprioritaskan risiko dibandingkan FMEA konvensional. Hesti & Nugraha (2023) menganalisis komponen kritis mesin bubut underfloor menggunakan FMEA dan *Fault Tree Analysis* (FTA), dan hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kedua metode ini mampu mengidentifikasi akar penyebab kegagalan secara lebih komprehensif.

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah berhasil menerapkan FMEA dalam konteks perbaikan kualitas mesin bubut dan pengendalian defect, masih terdapat kesenjangan penelitian yang perlu diisi. Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada aspek teknis mesin atau kegagalan komponen, namun belum banyak yang secara spesifik menganalisis enam jenis defect sekaligus (cacat dimensi, permukaan kasar, deformasi/distorsi, cacat geometri, masalah kualitas alat potong, dan kesalahan proses setup) dalam satu kerangka FMEA yang terintegrasi. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya dilakukan di lingkungan laboratorium atau industri dengan skala terbatas, sehingga hasilnya belum tentu dapat digeneralisasi ke industri kertas berskala besar seperti PT XYZ. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan FMEA secara komprehensif pada proses pembubutan di industri kertas dengan cakupan enam jenis defect, serta penyusunan usulan perbaikan yang terstruktur meliputi standarisasi SOP, checklist produksi, pelatihan operator, kalibrasi alat ukur berkala, dan preventive maintenance yang diimplementasikan secara simultan. Urgensi penelitian ini sangat tinggi mengingat tingginya tingkat defect (12%) yang berdampak langsung pada

peningkatan biaya scrap dan rework, potensi keluhan pelanggan, serta menurunnya efisiensi operasional perusahaan.

Rumusan masalah dalam penelitian ini berfokus pada upaya mengidentifikasi jenis dan penyebab utama terjadinya defect pada hasil mesin bubut di PT XYZ. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji bagaimana metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dapat digunakan untuk mengidentifikasi serta memprioritaskan risiko defect yang terjadi dalam proses pembubutan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menentukan tindakan perbaikan yang paling efektif dalam menurunkan tingkat defect pada hasil produksi mesin bubut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi jenis dan penyebab utama defect pada hasil mesin bubut di PT XYZ. Penelitian ini juga bertujuan untuk menerapkan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dalam mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko defect yang terjadi pada proses pembubutan. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan usulan tindakan perbaikan yang tepat berdasarkan hasil analisis FMEA, sehingga tingkat defect dapat diminimalkan dan kualitas hasil produksi dapat ditingkatkan. Dalam penelitian ini, metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan sebagai alat bantu untuk mengidentifikasi kemungkinan kegagalan, mengkaji penyebab dan dampak dari setiap mode kegagalan, serta menetapkan prioritas perbaikan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui wawancara, observasi langsung, serta rekaman data produksi PT XYZ dalam jangka waktu tertentu. Dengan demikian, ruang lingkup penelitian dibatasi pada analisis defect hasil mesin bubut dan usulan perbaikan berdasarkan pendekatan FMEA.

Penelitian ini diharapkan dapat membantu industri manufaktur dalam meningkatkan kualitas proses *machining*, khususnya pada operasi pembubutan di PT XYZ. Secara praktis, penelitian ini memberikan pendekatan yang sistematis dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, dan memprioritaskan potensi kegagalan pada proses pembubutan menggunakan metode FMEA. Selain itu, penelitian ini juga dapat menghasilkan rekomendasi perbaikan proses yang terstruktur untuk meningkatkan kualitas hasil pemotongan pada mesin bubut, meminimalkan variasi dimensi, serta mengurangi cacat permukaan. Bagi perusahaan, hasil penelitian ini diharapkan mampu mendukung upaya penurunan tingkat produk defect dan pengurangan biaya *scrap* maupun *rework*, sehingga efisiensi operasional dapat meningkat. Secara akademis, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan terkait peningkatan kualitas *machining* dan penerapan metode FMEA pada proses produksi di industri manufaktur lainnya. Penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu teknik industri, khususnya dalam penerapan konsep *risk-based quality improvement* untuk pengendalian kualitas proses permesinan.

## **METODE PENELITIAN**

### **Jenis Penelitian**

Penelitian deskriptif kuantitatif ini menggunakan pendekatan studi kasus di PT XYZ untuk memberikan gambaran sistematis, faktual, dan akurat tentang kondisi aktual proses produksi mesin bubut serta tingkat kesalahan yang terjadi. Karena penelitian ini berfokus pada menggambarkan kondisi lapangan yang sebenarnya berdasarkan data numerik yang diperoleh dari catatan produksi dan hasil observasi, pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan. Metode ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menggambarkan secara sistematis kondisi kualitas produk mesin bubut di PT XYZ dan menganalisis komponen yang memengaruhi cacat dalam proses produksi.

*Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* adalah metode analisis utama yang digunakan untuk menemukan, mengevaluasi, dan memprioritaskan mode kegagalan (*failure mode*) yang dapat menyebabkan cacat produk selama proses pembubutan. Metode ini menilai kemungkinan setiap kegagalan berdasarkan tingkat keparahan (*Severity*), kemungkinan terjadinya (*Occurrence*), dan kemampuan deteksi (*Detection*). Nilai *Risk Priority Number (RPN)* digunakan sebagai dasar untuk menentukan prioritas perbaikan.

Untuk mendukung analisis secara objektif, pendekatan kuantitatif digunakan karena melibatkan pengumpulan data numerik seperti jumlah produk yang rusak, nilai RPN, dan hasil pengukuran proses produksi. Sementara itu, pendekatan deskriptif digunakan untuk menjelaskan proses rusak, faktor penyebabnya, dan upaya perbaikan yang dilakukan di lapangan.

### **Tempat Penelitian**

Lokasi prakerin ini bertempat Lokasi · Utama. Jln. Kampung Gardu Sawah RT001/1-1, Desa Kalijaya, Bekasi 17520, Indonesia. Cikarang Barat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17530 Selama penelitian penulis ditempatkan pada departemen *engineering workshop*.

### **Waktu Penelitian**

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan selama 4 bulan, dimulai sejak bulan Juli sampai ke bulan November 2025.

### **Objek Penelitian**

Objek penelitian ini adalah proses produksi pada mesin bubut yang digunakan di Departemen *Machining* PT XYZ, terutama kegiatan pembubutan komponen mesin seperti *coupling*, *bushing*, *pulley*, dan *shaft*. Proses pembubutan memiliki tingkat kesalahan tertinggi dibandingkan dengan proses lainnya, dan ini berdampak langsung pada kualitas produk akhir dan efisiensi produksi perusahaan.

Penelitian ini berfokus pada metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* untuk menganalisis penyebab gagal dan upaya pengendalian kualitas. Metode ini akan memungkinkan untuk mengidentifikasi setiap kemungkinan kegagalan dalam proses pembubutan. Ini juga akan memungkinkan untuk menilai tingkat risikonya (berdasarkan nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*), dan menentukan nilai *Risk Priority Number (RPN)*. Dengan mengutamakan proses pembubutan sebagai subjek penelitian, diharapkan

hasil analisis dapat menawarkan rekomendasi tujuan kepada PT XYZ untuk menurunkan tingkat kesalahan, meningkatkan konsistensi kualitas produk, dan memperkuat penerapan sistem manajemen mutu yang berkelanjutan.

### **Teknik Pengumpulan Data**

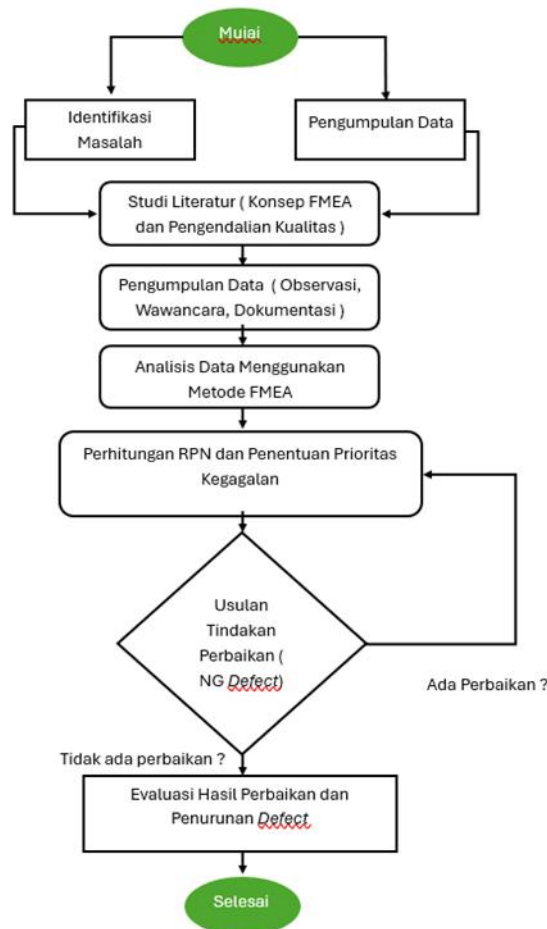
Metode yang digunakan untuk meningkatkan hasil dan data yang disusun menggunakan berbagai metode pengumpulan data, yaitu :

- a) Observasi: Dengan melakukan kunjungan lapangan secara langsung, kegiatan pengamatan ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran umum tentang perusahaan dan menemukan masalah yang dihadapi.
- b) Wawancara: Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mendapatkan informasi dari semua pihak, dan karyawan terkait.
- c) Dokumentasi: Pengamatan dan pencatatan data atau dokumentasi saat di perusahaan yang berkaitan dengan semua data yang diperlukan adalah bagian dari kegiatan ini.

### **Teknik Pengolahan dan Analisis Data**

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengolah dan menganalisis potensi kegagalan yang terjadi selama proses produksi pada mesin bubut. Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis kegagalan, penyebab utama, dampak terhadap kualitas produk, serta menentukan prioritas tindakan perbaikan. Tahapan analisis FMEA dimulai dengan mengamati proses pembubutan, mulai dari pengaturan mesin, pemotongan material, pengukuran dimensi, hingga tahap penyelesaian, sehingga ditemukan beberapa potensi kegagalan seperti ukuran produk yang tidak sesuai toleransi, permukaan kasar, dan kesalahan pengukuran. Setiap kegagalan kemudian dianalisis berdasarkan penyebab dan akibatnya terhadap kualitas produk, misalnya kesalahan pengaturan mesin yang dapat menyebabkan dimensi tidak sesuai atau kalibrasi alat ukur yang kurang tepat sehingga menghasilkan pengukuran tidak akurat. Selanjutnya, setiap risiko dinilai berdasarkan tiga faktor utama, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) dengan skala 1–10, kemudian dihitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) melalui perkalian  $S \times O \times D$ . Nilai RPN yang tinggi menunjukkan tingkat risiko yang besar sehingga menjadi prioritas utama untuk diperbaiki. Berdasarkan hasil tersebut, tindakan perbaikan dapat ditentukan, seperti kalibrasi alat ukur, pemberian instruksi kerja kepada operator, serta pelaksanaan perawatan mesin secara berkala.

## Tahapan Penelitian (*Flowchart* Penelitian)



**Gambar 1. *Flowchart* Penelitian**

Sumber: Dokumentasi peneliti (2025)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penerapan Metode FMEA

Penerapan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dalam penelitian ini tujuan utamanya adalah memperbaiki kualitas proses pembubutan terjadinya banyak *defect* yang menjadi masalah utama terjadinya keluhan.

Berdasarkan jadwal yang disebutkan pada Tabel 3.1, dapat dilihat bahwa tahapan awal seperti penentuan tema dan analisis kondisi dilakukan pada bulan pertama. Selanjutnya, dibulan kedua dan ketiga memikirkan penetapan target analisis akar masalah yang dilakukan. Berikutnya dibulan ke empat menyusun rencana perbaikan hingga bulan kelima. Dengan pembagian waktu ini diharapkan kegiatan *Machining Departement* ini dapat lebih terarah dan memberikan hasil yang optimal.

#### 1. Data Jumlah Produksi dan Jumlah *defect*

Berdasarkan pengamatan langsung, area *machining* memiliki 6 karakter jenis *defect* pada bulan Juli-November 2025 dapat dilihat dari tabel berikut :

**Tabel 1. Lembar Jumlah *defect* bulan Juli-November**

No.	CTQ Potensial	Jumlah ( <i>Defect</i> )					Total
		Juli	Agustus	September	Oktober	November	
1	Cacat dimensi	8	10	13	10	6	47
2	Permukaan kasar	8	11	11	10	5	45
3	Deformasi atau Distorsi Masalah	11	10	6	9	10	46
4	Masalah cacat geometri	10	7	7	10	11	45
5	Masalah kualitas alat potong	3	2	1	6	2	14
6	Kesalahan dalam setup2	4	1	1	2	2	10
<b>Total defect</b>		<b>44</b>	<b>41</b>	<b>39</b>	<b>47</b>	<b>36</b>	<b>207</b>

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa jenis dan jumlah *defect* area *machining* pada bulan Juli sampai dengan bulan November tahun 2025, dimana letak *defect* Cacat dimensi memiliki jumlah paling banyak yaitu 47 pcs.

Adapun tahap pertama yang dilakukan bagian ini mengurutkan data *defect* total produksi. Berikut adalah tabel jenis *defect* kumulatif yaitu sebagai berikut :

**Tabel 2. Total Produksi dan *Defect***

Bulan ke-	Total Produksi	Jumlah NG	Persentase Data (%)	Persentase <i>defect</i>
Jul	331	44	21%	13%
Agus	370	41	20%	11%
Sept	344	38	18%	11%
Okt	356	47	23%	13%
Nov	315	36	17%	11%
<b>Total</b>	<b>1716</b>	<b>206</b>	<b>100%</b>	<b>12%</b>

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Dari data diatas menunjukkan bahwa *defect* tertinggi pada bulan Juli dan Oktober dengan *persentase defect* 13%. Dari data diatas membutuhkan identifikasi masalah lebih lanjut serta dilakukan perbaikan untuk meminimalisirkan *defect* dikemudian hari.

## 2. *Fishbone Diagram*

Pada *fishbone diagram* setiap jenis produksi akan menjadi bagian utama yang memengaruhi faktor penyebab kegagalan kualitas terbesar di PT. XYZ pada tahun 2025. Dalam kasus ini jenis produksi sangat diamati.

Setiap jenis *part defect machining* memiliki banyak kecacatan yang terkait faktor-faktor penyebab tertentu. Dengan mengetahui sebab akibat mengapa terjadinya *defect*, oleh karena itu diagram ini membantu PT. XYZ untuk secara visual mengidentifikasi hubungan antara sebab akibat dan efeknya terhadap kualitas produk, memungkinkan

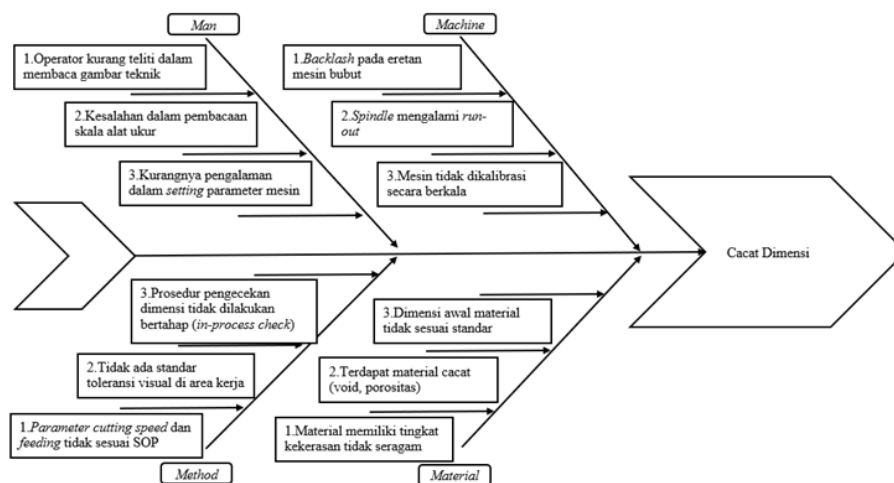
perusahaan untuk mengambil langkah-langkah korektif yang tepat untuk meningkatkan kinerja kualitasnya. Berikut tabelnya :

**Tabel 3. Jenis Defect**

No.	Jenis Defect	Man	Machine	Method	Material
1	Cacat Dimensi	1.Operator kurang teliti dalam membaca gambar teknik	1. <i>Backlash</i> pada eretan mesin bubut	Parameter cutting speed dan feeding tidak sesuai SOP	1.Material memiliki tingkat kekerasan tidak seragam
		2.Kesalahan dalam pembacaan skala alat ukur	2. <i>Spindle</i> mengalami <i>run-out</i>	2.Tidak ada standar toleransi visual di area kerja	2.Terdapat material cacat (void, porositas)
		3.Kurangnya pengalaman dalam setting parameter mesin	3.Mesin tidak dikalibrasi secara berkala	3.Prosedur pengecekan dimensi tidak dilakukan bertahap ( <i>in-process check</i> )	3.Dimensi awal material tidak sesuai standar
2	Permukaan Kasar	1.Operator tidak mengganti pahat yang sudah tumpul	1.Getaran saat pembubutan	1. <i>Feeding</i> terlalu tinggi saat <i>finishing</i>	1.Material terlalu keras
		2.Kurang memahami parameter finishing	2.Sistem pendingin tidak berfungsi optimal	2. <i>Cutting speed</i> tidak sesuai jenis material	2.Permukaan bahan baku sudah tidak rata
		3.Kurang memperhatikan penggunaan <i>coolant</i>	3.Putaran <i>spindle</i> tidak stabil	3.Tidak ada standar Ra ( <i>roughness</i> ) yang dijadikan acuan	3.Kandungan karbon tinggi tanpa penyesuaian parameter
3	Deformasi Distorsi	1.Kesalahan dalam penjepitan benda kerja	1. <i>Chuck</i> tidak <i>center</i>	1. <i>Depth of cut</i> terlalu besar	1.Material memiliki tegangan sisa ( <i>residual stress</i> )
		2.Operator tidak memahami teknik <i>balancing</i>	2.Tekanan penjepit tidak merata	2.Tidak menggunakan <i>steady rest</i> untuk <i>shaft</i> panjang	2.Material tipis dengan struktur kurang rigid
		3.Tidak melakukan pendinginan secara konsisten	3. <i>Tailstock</i> tidak sejajar	3.Proses <i>machining</i> dilakukan terlalu cepat tanpa kontrol suhu	3.Perbedaan komposisi material antar batch
4	Cacat Geometri	1.Salah <i>setting</i> posisi pahat	1.Eretan aus	1.Tidak dilakukan <i>alignment</i>	1.Material berbentuk

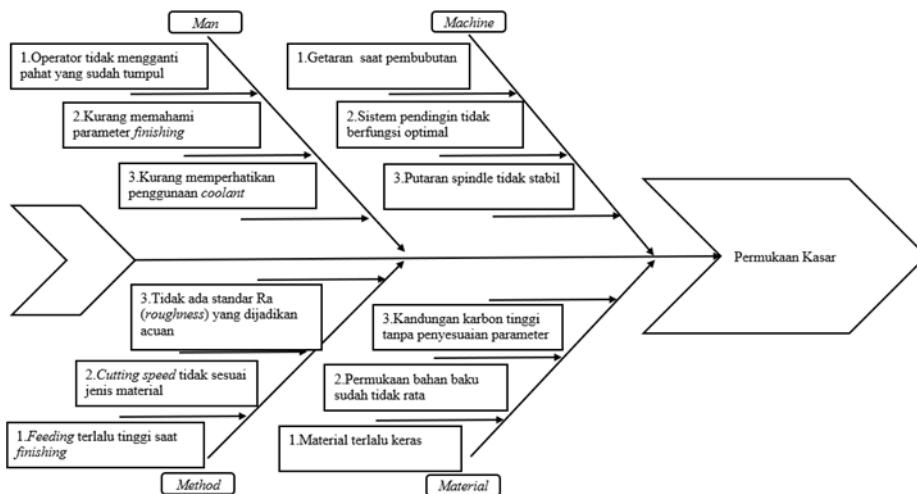
				sebelum produksi	awal tidak presisi
		2. Kesalahan membaca <i>dial indicator</i>	2. <i>Headstock</i> dan <i>tailstock</i> tidak sejajar	2. Tidak dilakukan <i>trial cut</i>	2. Permukaan awal tidak <i>center</i>
		3. Kurang pengalaman dalam <i>alignment</i>	3. <i>Guideway</i> aus	3. Setup mesin tidak diverifikasi ulang	3. Material melengkung sebelum proses
5	Masalah Kualitas Alat Potong	1. Operator terlambat mengganti <i>insert</i>	1. Putaran tidak stabil menyebabkan keausan cepat	1. Tidak ada standar <i>tool life</i>	1. Material terlalu keras
		2. Salah memilih jenis pahat	2. <i>Holder</i> tidak rigid	2. Tidak ada jadwal <i>preventive replacement</i>	2. Banyak inklusi dalam material
		3. Kurang <i>monitoring</i> umur pahat	3. Getaran tinggi	3. Parameter <i>cutting</i> tidak sesuai rekomendasi <i>tool</i>	3. Serpihan ( <i>chip</i> ) menumpuk dan merusak <i>cutting edge</i>
6	Kesalahan dalam Proses Setup	1. Kurang pelatihan <i>setup</i> mesin	1. <i>Dial indicator</i> rusak atau tidak akurat	1. SOP <i>setup</i> tidak tertulis dengan jelas	1. Bahan awal tidak dipotong rata
		2. Tidak memahami gambar kerja secara detail	2. <i>Jig &amp; fixture</i> tidak presisi	2. Tidak ada <i>checklist</i> sebelum produksi	2. Permukaan tidak <i>center</i> saat awal pemasangan
		3. Tidak melakukan pengecekan ulang sebelum produksi	3. Komponen mesin longgar	3. Tidak dilakukan <i>first article inspection</i>	3. Ukuran material awal tidak sesuai <i>drawing</i>

Sumber: Hasil observasi dan wawancara di PT XYZ (diolah peneliti, 2025)



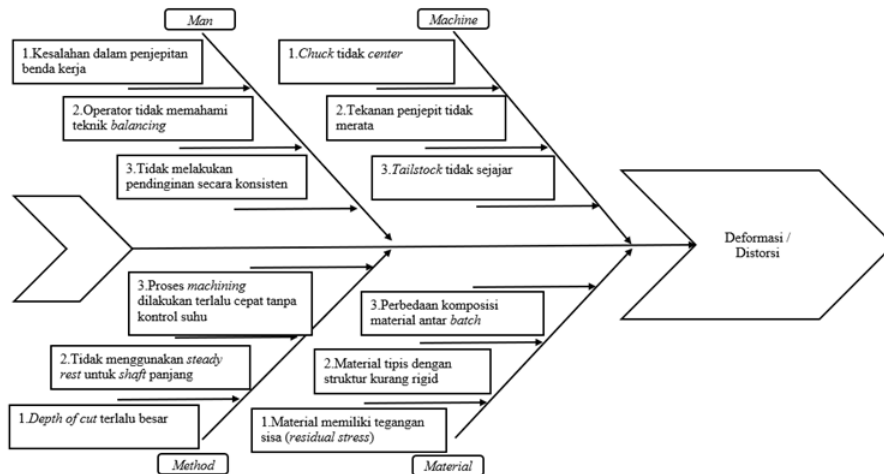
**Gambar 2. Fishbone Defect Cacat Dimensi**

Sumber: Hasil analisis peneliti berdasarkan data PT XYZ (2025)



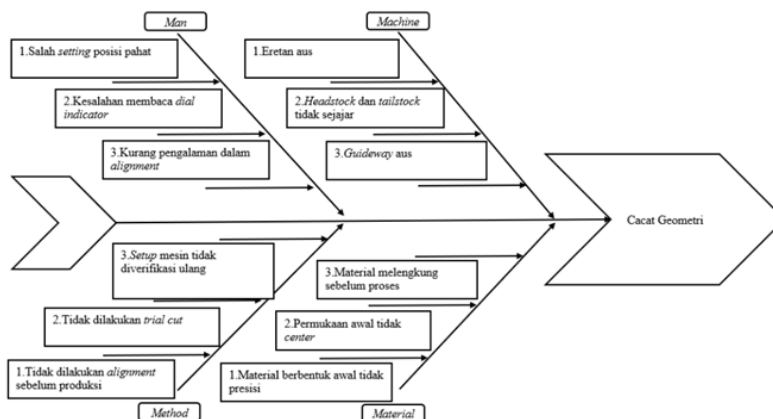
**Gambar 3. Fishbone Defect Permukaan Kasar**

Sumber: Hasil analisis peneliti berdasarkan data PT XYZ (2025)



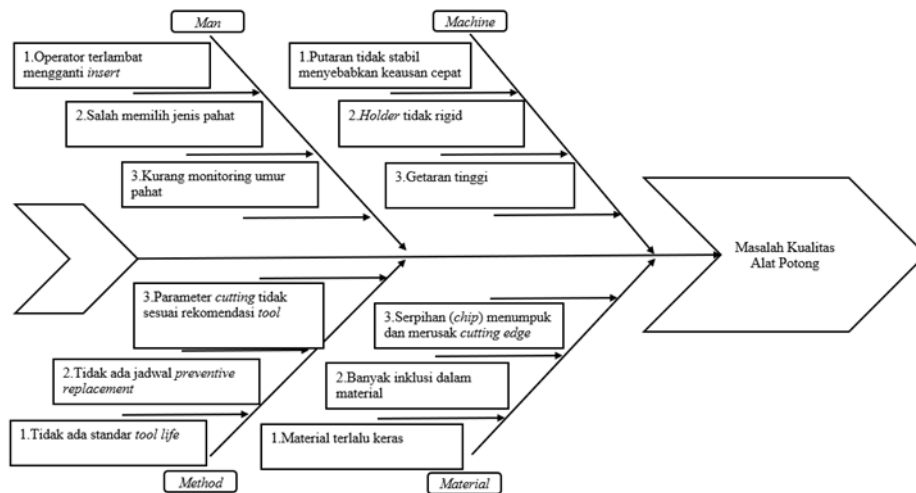
**Gambar 4. Fishbone Defect Deformasi/ Distorsi**

Sumber: Hasil analisis peneliti berdasarkan data PT XYZ (2025)



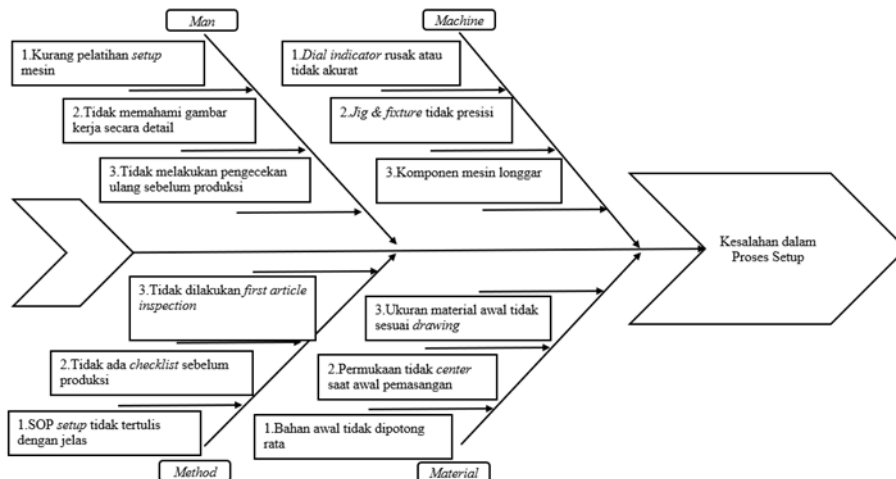
**Gambar 5. Fishbone Defect Cacat Geometri**

Sumber: Hasil analisis peneliti berdasarkan data PT XYZ (2025)



**Gambar 6. Fishbone Defect Masalah Kualitas Alat Potong**

Sumber: Hasil analisis peneliti berdasarkan data PT XYZ (2025)



**Gambar 7. Fishbone Defect Kesalahan dalam Proses Setup**

Sumber: Hasil analisis peneliti berdasarkan data PT XYZ (2025)

Setelah enam jenis *defect* yang ditemukan dalam proses pembubutan, yang terdiri dari cacat dimensi, permukaan kasar, deformasi atau distorsi, cacat geometri, masalah kualitas alat potong, dan kesalahan dalam proses setup, dapat disimpulkan bahwa semua cacat tersebut saling berkaitan dan dipengaruhi oleh faktor 4M: *Man*, *Machine*, *Method*, dan *Material*.

Secara umum, ketidaktepatan dalam pengaturan mesin dan proses pengukuran yang kurang optimal adalah penyebab utama cacat dimensi dan geometri. Parameter pemotongan dan kondisi pahat yang digunakan memengaruhi permukaan kasar dan kualitas alat potong. Meskipun demikian, kesalahan seperti deformasi dan distorsi sering terjadi karena metode penjepitan, alignment mesin, dan prosedur kerja yang tidak sepenuhnya terkendali.

Oleh karena itu, *Fishbone diagram* menunjukkan bahwa kerusakan berasal dari kombinasi dari kesalahan operator, kondisi mesin, metode kerja yang tidak konsisten, dan karakteristik material. Oleh karena itu, perbaikan harus dilakukan secara menyeluruh dan terintegrasi untuk mencapai penurunan kerusakan yang optimal.

### 3. Perhitungan *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA)

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan untuk mencari nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Maka nilai RPN (*Risk Priority Number*) dapat dihasilkan dengan cara mengalikan nilai S x O x D. Dimana nilai tersebut dijadikan patokan pemilihan kegagalan yang perlu untuk dilakukan perbaikan, berikut hasil rekapitulasi pengisian data nilai SOD dan hasil RPN dari masing-masing responden dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 4. Perhitungan Nilai RPN dengan Metode FMEA sebelum perbaikan**

No.	Failure Mode (Jenis Defect)	Effect (Kegagalan Fungsional)	Cause (Sebab Kegagalan)	Current Control / Detection	S	O	D	Nilai RPN (S×O×D)
1	Cacat Dimensi	Ukuran produk tidak sesuai toleransi sehingga tidak dapat dirakit atau memerlukan rework	Pengaturan mesin tidak tepat, pahat aus, kesalahan pengukuran, getaran mesin	Pengukuran menggunakan jangka sorong dan micrometer setelah proses	7	5	5	175
2	Permukaan Kasar	Kualitas permukaan tidak sesuai standar sehingga menurunkan kualitas fungsi dan estetik	Pahat tumpul, feeding terlalu besar, kecepatan potong tidak sesuai	Pemeriksaan visual dan perabaan langsung oleh operator	6	5	5	150
3	Deformasi / Distorsi	Produk mengalami perubahan bentuk setelah pembubutan sehingga fungsi mekanis terganggu	Panas berlebih, pendinginan tidak optimal, penjepitan benda kerja tidak simetris	Pemeriksaan visual dan pengecekan kelurusan setelah dilepas dari chuck	7	5	7	245
4	Cacat Geometri	Bentuk geometris tidak presisi (tidak siku, tidak center) sehingga sulit dipasang	Kesalahan setup, posisi pahat tidak sejajar, tailstock tidak center	Pengukuran geometri menggunakan dial indicator dan visual check	5	5	4	100

5	Kualitas Alat Potong Buruk	Hasil pembubutan tidak konsisten dan mempercepat munculnya defect lain	Pemilihan pahat tidak sesuai, umur pahat berlebih, perawatan kurang	Inspeksi visual pahat sebelum dan saat proses	4	4	4	64
6	Kesalahan Proses Setup	Variasi kualitas produk tinggi dan hasil tidak konsisten antar batch	Operator kurang terlatih, SOP tidak detail, work preparation tidak optimal	First piece inspection sebelum produksi massal	5	4	4	80

Sumber: Hasil pengolahan data primer PT XYZ (diolah peneliti, 2025)

### Analisis dan Pembahasan

Setelah melalui tahapan identifikasi masalah, analisis akar penyebab, penyusunan rencana tindakan. Penelitian ini menghasilkan sejumlah penemuan *defect* yang menunjukkan efektivitas penerapan metode FMEA (*Failure Mode And Effect Analysis*) meningkatkan kualitas pembubutan. Pembahasan ini berfokus terhadap sebelum dan sesudah perbaikan, serta analisis dampak terhadap aspek kualitas pembubutan.

#### 1. Analisis Data

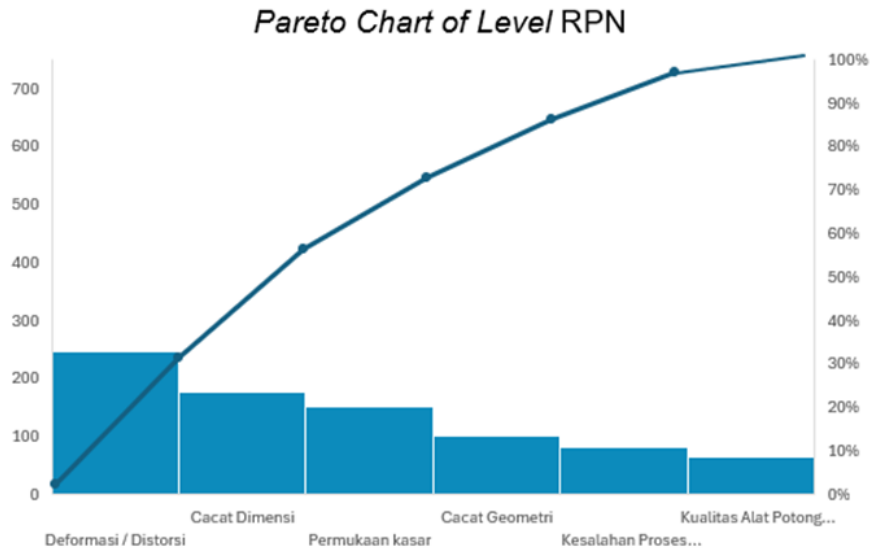
Berdasarkan hasil perhitungan FMEA, diketahui bahwa deformasi atau distorsi memiliki nilai RPN tertinggi, yaitu 245, dan menjadi prioritas utama untuk perbaikan. Hasil ini menunjukkan bahwa kegagalan dimensi memiliki tingkat keparahan yang tinggi, frekuensi kejadian yang sering, dan masih ada celah dalam proses pendeteksian. Kegagalan berikutnya dengan nilai RPN tinggi adalah cacat dimensi dengan nilai RPN 175, yang biasanya disebabkan oleh panas berlebihan dan ketidakseimbangan penjepitan benda kerja. Di sisi lain, permukaan kasar berada di urutan ketiga dengan nilai RPN 150, yang terkait erat dengan parameter pemotongan dan kualitas alat potong. Cacat dengan nilai RPN rendah, seperti cacat geometri, masalah kualitas alat potong, dan kesalahan setup, harus diperhatikan karena dapat menyebabkan cacat tambahan jika tidak dikendalikan dengan baik.

**Tabel 5. Jenis Defect dan Nilai RPN sebelum perbaikan**

No.	Failure Mode (Jenis Defect)	RPN
1	Deformasi / Distorsi	245
2	Cacat Dimensi	175
3	Permukaan Kasar	150
4	Cacat Geometri	100
5	Kesalahan Proses Setup	80
6	Kualitas Alat Potong Buruk	64

Sumber: Hasil perhitungan FMEA (diolah peneliti, 2025)

Selanjutnya, Diagram pareto berfungsi sebagai diagram batang yang menyajikan jumlah *defect* berurutan dari yang terbesar sampai yang terkecil. Dalam kejadian ini dapat diketahui jumlah produk cacat dapat di ketahui jumlah RPN dari yang tertinggi hingga terendah selama penulis melakukan penelitian sebagai berikut :



**Gambar 8. Diagram Pareto Chart RPN sebelum perbaikan**

Sumber: Hasil analisis peneliti berdasarkan perhitungan FMEA (2025)

## 2. Analisis Implementasi Hasil data

Analisis *Implementasi* pada area kerja *machining engineering* dilakukan untuk mengetahui perubahan apa saja yang terjadi pada proses perbaikan. Berdasarkan pengamatan yang sudah dilakukan selama Juli sampai November 2025, dapat diketahui bahwa hasil pengamatan dan observasi, yakni belum ada proses *monitoring* yang teratur dari atasan terkait SOP, *implementasi* konsep pembubutan, sehingga berjalannya waktu program SOP terkait pembubutan berjalan sukses. Berikut adalah tabel *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) setelah penerapan perbaikan diatas :

**Tabel 6. Perhitungan Nilai RPN dengan Metode FMEA Setelah perbaikan**

No.	Failure Mode (Jenis Defect)	Effect (Kegagalan Fungsional)	Cause (Sebab Kegagalan)	Current Control / Detection	S	O	D	Nilai RPN (S×O×D)
1	Cacat Dimensi	Ketidaktepatan bentuk geometris	Tool positioning tidak konsisten	Alignment check menggunakan dial indicator sebelum produksi	4	2	3	24
2	Permukaan Kasar	Penurunan kualitas finishing produk	Sistem pendingin kurang optimal	Pemeriksaan coolant secara rutin sebelum produksi	3	2	2	12

3	Deformasi / Distorsi	Ketidaksesuaian bentuk setelah pendinginan	Depth of cut terlalu besar	Standarisasi metode penjepitan (clamping standard)	4	2	4	32
4	Cacat Geometri	Ketidaksesuaian concentricity atau alignment	Tool positioning tidak konsisten	Form pengecekan harian mesin	4	2	2	16
5	Kualitas Alat Potong Buruk	Hasil potongan tidak presisi	Penggunaan tool melebihi umur pakai	Jadwal penggantian insert preventif	2	1	3	6
6	Kesalahan Proses Setup	Defect pada produksi awal	Tidak adanya checklist setup sebelumnya	Tanda tangan leader sebelum produksi jalan	2	1	2	4

Sumber: Hasil pengolahan data setelah implementasi perbaikan (diolah peneliti, 2025)

Sistem pengendalian kualitas mengalami peningkatan yang signifikan, menurut hasil evaluasi setelah perbaikan. Sistem pengendalian berbasis proses sekarang menggantikan pemeriksaan akhir. Dengan standarisasi SOP, checklist pembuatan, inspeksi berkala, dan pemantauan kehidupan alat, kemampuan mendeteksi kesalahan meningkat dan frekuensi kesalahan menurun. Ini berdampak langsung pada penurunan nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk semua jenis kegagalan.

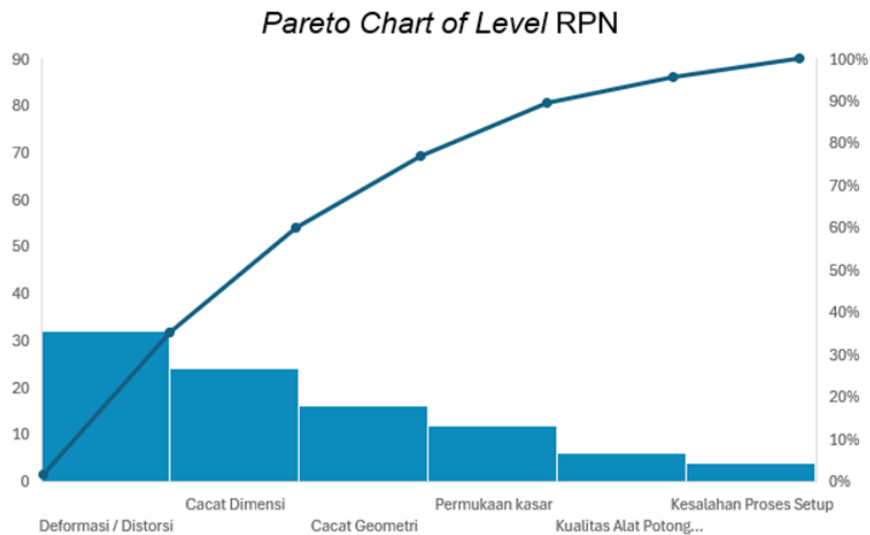
Berdasarkan setelah perbaikan perhitungan hasil FMEA, diketahui masih Deformasi/Distorsi dengan nilai tertinggi yaitu 32, akan tetapi sudah jauh turun dari sebelumnya dengan nilai 245. Hasil ini menunjukkan bahwa pentingnya hasil perbaikan yang signifikan dikarenakan frekuensi yang sering terjadi kegagalan yang mengakibatkan *defect*. Nilai Kegagalan berikutnya yaitu Cacat Dimensi yang bernilai 24, nilai ini juga turun sangat signifikan dari nilai sebelumnya. Oleh karena itu berikut adalah nilai setelah perbaikan :

**Tabel 7. Jenis *Defect* dan Nilai RPN Setelah perbaikan**

No.	<i>Failure Mode</i> (Jenis <i>Defect</i> )	RPN
1	Deformasi / Distorsi	32
2	Cacat Dimensi	24
3	Cacat Geometri	16
4	Permukaan kasar	12
5	Kualitas Alat Potong Buruk	6
6	Kesalahan Proses Setup	4

Sumber: Hasil perhitungan FMEA setelah perbaikan (diolah peneliti, 2025)

Diagram Pareto merupakan salah satu alat bantu visualisasi data yang menampilkan informasi dalam bentuk diagram batang, di mana data disusun secara berurutan mulai dari nilai tertinggi hingga terendah. Dalam penelitian ini, diagram tersebut digunakan untuk menggambarkan urutan nilai RPN dari setiap jenis *defect* yang ditemukan selama periode penelitian berlangsung, sehingga dapat dengan mudah diidentifikasi kegagalan mana yang paling dominan dan perlu mendapat prioritas penanganan terlebih dahulu.



**Gambar 9. Diagram Pareto Chart RPN setelah perbaikan**

Sumber: Hasil analisis peneliti berdasarkan perhitungan FMEA setelah perbaikan (2025)

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di PT XYZ mengenai analisis kualitas hasil mesin bubut menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), ditemukan enam jenis defect pada proses pembubutan, yaitu cacat dimensi, permukaan kasar, deformasi/distorsi, cacat geometri, masalah kualitas alat potong, dan kesalahan proses setup, dengan total produk NG sebanyak 206 unit dari 1.716 unit produksi atau rata-rata defect sebesar 12%. Penyebab utama defect berasal dari faktor Man, Machine, Method, dan Material, seperti kurangnya ketelitian operator, mesin yang tidak dikalibrasi rutin, parameter pemotongan yang tidak sesuai SOP, serta material yang tidak merata. Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa deformasi/distorsi memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 245, diikuti cacat dimensi sebesar 175 dan permukaan kasar sebesar 150, sehingga menjadi prioritas utama perbaikan. Setelah dilakukan perbaikan melalui standarisasi SOP, checklist produksi, monitoring operator, kalibrasi alat ukur berkala, dan preventive maintenance, nilai RPN menurun signifikan, misalnya deformasi/distorsi turun menjadi 32 dan cacat dimensi menjadi 24. Oleh karena itu, FMEA terbukti efektif sebagai alat pengendalian kualitas pada proses pembubutan. Perusahaan disarankan menerapkan FMEA secara berkelanjutan, memperketat SOP, melaksanakan pelatihan operator, menjadwalkan preventive maintenance, serta menggunakan checklist sebelum dan sesudah produksi. Sementara itu, penelitian selanjutnya disarankan mengombinasikan FMEA dengan metode lain seperti Six Sigma, FTA, atau SPC,

memperluas objek penelitian pada mesin machining lain, serta memperpanjang periode pengambilan data agar hasil analisis lebih komprehensif dan representatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adar, M., & Deliktaş, E. (2017). Investigation of lathe machining parameter effects on surface roughness using Taguchi method and ANOVA. *Procedia Manufacturing*, *11*, 1399–1406. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.270>
- Azwir, H. H., Oemar, H., & Handa, T. (2022). Analisis dan Perbaikan Kualitas Produk Mesin Bubut dalam Upaya Mengendalikan Tingkat Kecacatan di Industri Kertas. *Jurnal Media Teknik Dan Sistem Industri*, *6*(2), 84. <https://doi.org/10.35194/jmtsiv6i2.1801>
- Backlund, F., Chronéer, D., & Sundqvist, E. (2014). Project Management Maturity Models – A Critical Review: A Case Study within Swedish Engineering and Construction Organizations. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *119*, 837–846. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.094>
- Baynal, K., Sari, T., & Akpınar, B. (2018). Risk management in automotive manufacturing process based on FMEA and a new RPN calculation approach. *Advances in Production Engineering & Management*, *13*(1), 45–55. <https://doi.org/10.14743/apem2018.1.273>
- Chanamool, N., & Naenna, T. (2016). Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. *Applied Soft Computing*, *43*, 441–453. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.02.014>
- Chiozza, M. L., & Ponzetti, C. (2009). FMEA: A model for reducing medical errors. *Clinica Chimica Acta*, *404*(1), 75–78. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2009.03.015>
- Dharu, A. R., & Suseno. (2023). Analisis Efektivitas Mesin Bubut Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness dan Failure Modes and Effects Analysis. *Jurnal Teknik Industri (JURTI)*, *2*(2), 67–77.
- Doblas-Reyes, F. J., Liu, Z., Caballero, R., & Morales, R. (2021). Quality control improvement through real-time fault detection in CNC turning processes. *Journal of Manufacturing Processes*, *62*, 457–469. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.12.033>
- Fattahi, R., & Khalilzadeh, M. (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. *Safety Science*, *102*, 290–300. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.018>
- Fenta, S. G., Pamungkas, N., Arysawan, A., Giat, L., & Putra, J. (2025). Pendekatan FMEA untuk Mengidentifikasi Penyebab Kerusakan Mesin Bubut (Studi Kasus: Laboratorium Manufaktur Politeknik Negeri Batam). *Jurnal Teknologi*, *7*(1), 1–6.
- Idkhan, A. M., Daytona, M. R., & Baharuddin, F. R. (2023). Implementasi Fmea ( Failure Mode And Effect Analysis ) terhadap Mesin Bubut Konvensional CQ6230b Laboratorium Pendidikan Teknik Mesin FT-UNM. *Teknologi*, *25*(1), 9–22.
- Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, *40*(2), 828–838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
- Muvidah, N. I., Yunitasari, E. W., & Kusmendar, K. (2023). Pengendalian Kualitas Produk Menggunakan Lean Six Sigma dan Fuzzy FMEA Dalam Upaya Menekan

- Kecacatan Produk. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 7(2), 86–95.
- Pereira, A., Dinis-Carvalho, J., Alves, A. C., & Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 can enhance lean practices. *Procedia Manufacturing*, 41, 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.021>
- Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79(1), 69–85. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00179-5](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00179-5)
- Safari, H., Faraji, Z., & Majidian, S. (2016). Identifying and evaluating enterprise architecture risks using FMEA and fuzzy VIKOR. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(2), 475–486. <https://doi.org/10.1007/s10845-014-0880-0>
- Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, A., & Arena, F. (2002). FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. *Food Control*, 13(8), 495–501. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(02\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(02)00020-5)
- Shahin, A. (2004). FMEA: An integration approach with Six Sigma and statistical process control. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(4), 426–440. <https://doi.org/10.1108/02656710410530867>
- Sinha, P. R., Whitman, L. E., & Malzahn, D. (2004). Methodology to mitigate supplier risk in an aerospace supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(2), 154–168. <https://doi.org/10.1108/13598540410527010>
- Teknologi, J., Fenta, S. G., Pamungkas, N., Arysawan, A., Giat, L., & Putra, J. (2025). P ENDEKATAN FMEA U NTUK M ENGIDENTIFIKASI P ENYEBAB K ERUSAKAN M ESIN B UBUT ( S TUDI K ASUS: L ABORATORIUM M ANUFAKTUR P OLITEKNIK N EGERI B ATAM ). 7(1), 1–6.
- Wolniak, R. (2019). The use of FMEA method in an enterprise – benefits and difficulties. *Production Engineering Archives*, 23, 3–7. <https://doi.org/10.30657/pea.2019.23.01>