

# **Analysis of Defect Reduction in Bone Screw Production Using Six Sigma and TRIZ Methods : Analisis Pengurangan Tingkat Cacat pada Produksi Bone Screw dengan Metode Six Sigma dan Triz**

*Daffa Alifio Hartono*

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

*Sumiati Sumiati*

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

**General background:** The medical device industry plays a crucial role in healthcare, demanding consistently high-quality standards. **Specific background:** In orthopedic implant manufacturing, particularly in bone screw production, even minor defects can compromise product integrity and patient safety. **Knowledge gap:** However, there is limited quantitative analysis integrating quality control and inventive problem-solving methods to reduce defect rates in this domain. **Aim:** This study aims to evaluate product defect levels and propose systematic improvements to enhance production quality. **Results:** Using Six Sigma and TRIZ methodologies, defect data from January to December 2024 were analyzed. The average Defects Per Million Opportunities (DPMO) was 19,990.17, corresponding to a sigma level of 3.55. **Novelty:** Improvement proposals were formulated through TRIZ principles, including pre-process calibration, stricter raw material control, SOP updates, task reassignment evaluations, implementation of work performance assessments, and scheduled machine maintenance. **Implications:** These findings offer a structured approach to reducing defects in high-precision manufacturing settings, with implications for broader adoption in quality-critical industries.

## **Highlights:**

- Identifies high defect levels in bone screw production.
- Applies Six Sigma and TRIZ for data-driven improvements.
- Recommends targeted actions to boost production quality.

**Keywords:** Defect Rate, Product Quality, Six Sigma, TRIZ Method, Medical Manufacturing

## Pendahuluan

Dampak globalisasi telah mentransformasi dinamika persaingan bisnis di tingkat internasional. Perusahaan kini tidak hanya harus unggul dalam persaingan lokal, tetapi juga mampu bersaing dan bertahan di pasar global. Tingkat persaingan yang semakin ketat menjadikan perencanaan strategi bisnis sebagai hal krusial bagi manajemen. Setiap pelaku usaha harus mampu mengoptimalkan kualitas produknya guna mendukung upaya ekspansi pasar maupun mempertahankan posisi kompetitif di segmen pasarnya [1]. Upaya yang dapat dilakukan perusahaan untuk tetap kompetitif adalah dengan meningkatkan mutu produk. Tingkat kualitas produk menjadi strategi efektif dalam meningkatkan daya tarik dan permintaan pasar. Hal ini mencerminkan kombinasi atribut dan ciri khas produk yang mampu memenuhi standar kebutuhan konsumen [2].

Sebagai salah satu perusahaan manufaktur alat kesehatan, PT XYZ mengkhususkan diri pada pembuatan produk *Implant Orthopedic* dan *Traumatology*. Pada tahun 2024, kapasitas produksinya mencapai 32.197 unit, dengan fokus utama pada *bone plate* dan *bone screw*. Pada tahun 2024, PT XYZ memproduksi 9.925 unit *bone plate* dan 22.272 unit *bone screw*. Proses pembuatan *bone screw* diawali dengan pemotongan material stainless steel menggunakan alat khusus untuk memperoleh ukuran yang sesuai standar spesifikasi. Ketidaksesuaian dimensi screw biasanya terjadi pada fase ini akibat kesalahan operator. Proses berikutnya meliputi pembentukan kepala screw dan pemotongan ulir yang dikerjakan dengan mesin bubut. Pada proses ini terjadi pembubutan ulir dan kepala screw yang menyebabkan terjadi ketidaksesuaian diameter kepala screw akibat tidak terjdwalnya kalibrasi pada mesin bubut. Proses manufaktur kemudian berlanjut ke pembentukan lubang hexa (kunci) di bagian kepala screw dengan mesin bor frais. Masalah yang kerap muncul adalah bentuk hexa yang tidak simetris, disebabkan oleh ketidakdisiplinan dalam menjadwalkan pergantian pisau frais [3].

Data produksi tahun 2024 menunjukkan total output sebanyak 22.272 unit, dengan 1.335 unit diantaranya tergolong produk cacat. Angka ini merepresentasikan tingkat defect sebesar 6%, dimana ketidaksesuaian pada lubang hexa menjadi penyimpangan yang paling dominan. Perusahaan menetapkan batas toleransi defect maksimal sebesar 2%, namun dalam praktiknya ditemukan beberapa penyimpangan kualitas, seperti lubang hexa berukuran kurang dari 3,5 mm, diameter kepala bone screw di bawah 8 mm, dan panjang bone screw melebihi batas 28 mm. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan pengendalian kualitas yang komprehensif melalui identifikasi faktor penyebab dan penerapan solusi perbaikan guna meminimalkan tingkat ketidaksesuaian produk sesuai standar yang berlaku [4].

Penelitian analisis *defect* produk bone screw dengan metode Six Sigma dilakukan sebagai solusi atas permasalahan kualitas yang dihadapi perusahaan. Sebagai metode pengawasan mutu, Six Sigma berorientasi pada pengurangan variabilitas proses melalui pendekatan statistik guna meminimalkan terjadinya defect dalam produksi [5]. Sebagai alat manajemen mutu, Six Sigma dirancang untuk menekan defect hingga level terendah, yakni 3,4 kesalahan per juta kesempatan dalam produksi barang maupun jasa. Target ini merepresentasikan upaya sistematis menuju zero defect [6].

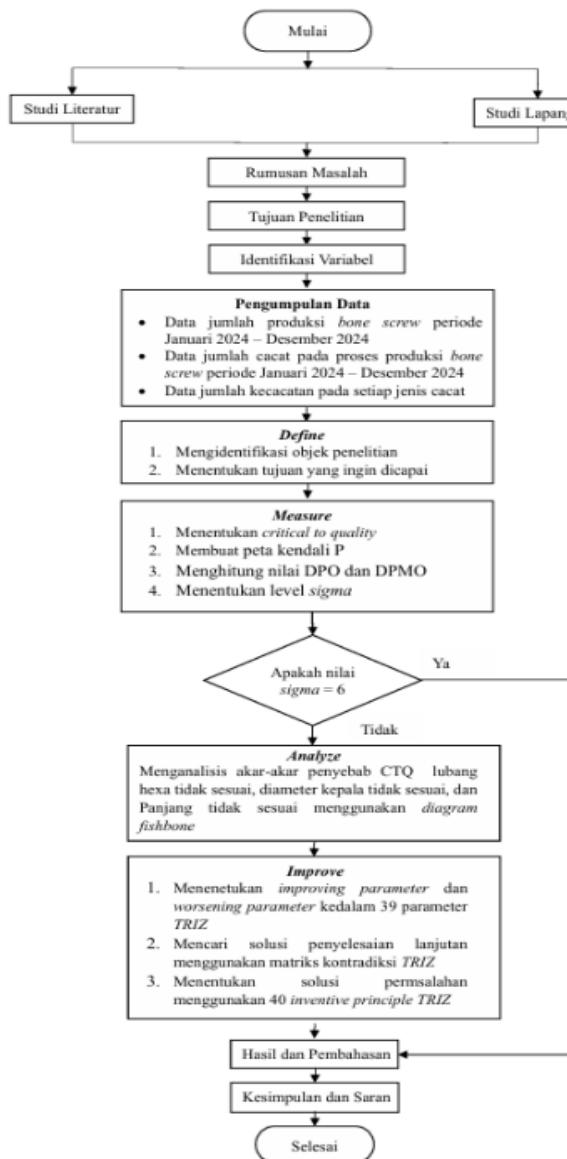
Dalam praktiknya, Six Sigma menggunakan framework DMAIC yang terdiri atas lima fase berurutan: *pendefinisian masalah, pengukuran parameter, analisis akar penyebab, peningkatan proses, dan pengendalian berkelanjutan*. Fase menentukan masalah (*define*) ini tidak banyak menggunakan statistik, alat-alat (*tools*) statistik yang sering dipakai pada fase ini adalah diagram sebab akibat dan diagram pareto. *Measure* merupakan langkah pengumpulan data, tujuannya untuk menetapkan standar kinerja. *Tools* penting dalam fase ini biasanya mencakup grafik pareto dan diagram alur proses [7]. Fase analisis (*Analyze*) merupakan fase mencari dan menentukan akar atau penyebab dari suatu masalah [8]. Tahap *Improve* mencakup pengembangan ide solusi perbaikan dan pemilihan solusi yang paling optimal untuk mencapai hasil terbaik [9]. Fase tahapan control merupakan suatu tahapan berupa upaya pengawasan dalam rangka mempertahankan segala perbaikan yang akan dilakukan. Metodologi ini berfungsi sebagai solusi terstruktur untuk perbaikan kualitas dan optimalisasi proses secara berkesinambungan [10].

Metode TRIZ menawarkan pendekatan unik dalam menyelesaikan masalah melalui pengembangan solusi kreatif, dengan fokus utama pada penghapusan kontradiksi alih-alih menggunakan metode tradisional seperti kompromi atau negosiasi [11]. TRIZ merupakan metode perbaikan berdasarkan ide yang dapat menyelesaikan permasalahan yang ktradiktif meningkatkan keidealannya sistem dan menggunakan sumber tersedia [12]. Kontradiksi yang telah diselesaikan akan diaplikasikan menjadi solusi general untuk dijadikan solusi yang spesifik [13]. Proses penerapan inventive principles dilakukan dengan mengidentifikasi masalah produk melalui 39 parameter teknis, lalu

memanfaatkan matriks kontradiksi untuk menghasilkan solusi inovatif yang mengacu pada 40 prinsip yang tersedia [14]. Banyak perusahaan memanfaatkan metode TRIZ karena kemampuannya dalam meningkatkan kompetitivitas bisnis di tengah persaingan pasar yang ketat. Selain itu, pendekatan ini juga fleksibel untuk diaplikasikan dalam perencanaan industri di berbagai level, mulai dari strategis, taktis, hingga operasional [15]. Melalui studi ini, diharapkan perusahaan dapat mencapai standar bebas cacat (*zero defect*) serta meningkatkan daya saingnya di kancah global.

## Metode

Penelitian ini diawali dengan proses pengumpulan data pendukung, meliputi data primer yang diperoleh melalui observasi langsung di lokasi penelitian serta wawancara mendalam dengan narasumber utama, termasuk Manajer Operasional, Penanggung Jawab Produksi, serta Staff Produksi. Data sekunder diperoleh dari arsip internal perusahaan yang mencakup catatan historis mengenai jenis, kuantitas, dan frekuensi defect produk. Kombinasi data primer dan sekunder ini memberikan pemahaman menyeluruh tentang kondisi riil di lapangan, sekaligus menjadi landasan dalam menyusun strategi pengendalian kualitas yang efektif. Setelah memperoleh data yang memadai dari kedua sumber, tahap berikutnya adalah melakukan analisis dengan pendekatan Six Sigma untuk mengukur tingkat defect produk, dilanjutkan dengan penerapan metode TRIZ guna merumuskan solusi perbaikan atas akar masalah yang teridentifikasi. Berikut urutan proses penelitian yang ditampilkan pada gambar 1. berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## Hasil dan Pembahasan

### A. Data Jumlah Produksi dan Kecacatan Produk

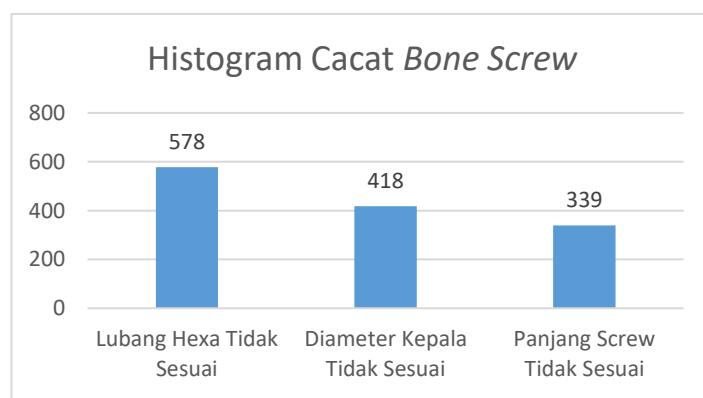
Data jumlah produksi dan data jenis dan jumlah cacat merupakan catatan pada proses produksi *bone screw* selama satu tahun pada periode Januari 2024 sampai dengan Desember 2024. Data yang diambil merupakan data dari satu lini produksi tanpa ada variasi mesin dan shift. Terdapat 3 jenis cacat pada produk *bone plate* yaitu cacat lubang *hexa*, diameter kepala, dan panjang *screw*. Data ini digunakan untuk menentukan jumlah cacat yang terbesar selama proses produksi. Data akan ditampilkan sebagaimana pada tabel 1.

Bulan	Jumlah Produksi	Jumlah reject Pada Proses Produksi Plate (Pcs)		
		Lubang hexa	Diameter kepala	Panjang screw
Januari 2024	1237	36	20	18
Februari 2024	1455	29	46	13
Maret 2024	1423	40	26	21
April 2024	1415	23	43	19
Mei 2024	1776	54	27	24
Juni 2024	1579	28	29	38
Juli 2024	2449	38	76	34
Agustus 2024	1957	53	26	39
September 2024	2087	43	33	47
Okttober 2024	2746	68	42	55
November 2024	2117	77	21	28
Desember 2024	2031	89	29	3
Total	22272	578	418	339

**Tabel 1.** Data Jumlah Produksi Dan Kecacatan Produk Bone Screw Pada Periode Bulan Januari 2024-Desember 2024

### B. Tahap Define

Fase define diawali dengan penentuan objek penelitian dan penetapan tujuan analisis. Masalah utama yang dihadapi perusahaan adalah tingginya tingkat defect pada produksi bone screw. Data tersebut divisualisasikan dalam grafik histogram yang mencakup periode Januari hingga Desember 2024 pada **gambar 2.** berikut :



**Gambar 2.** Histogram Jenis Cacat Bulan Januari 2024-Desember 2024

Analisis grafik histogram menunjukkan bahwa lubang hexa merupakan defect dominan dengan 578 unit, disusul diameter kepala (418 unit) dan panjang screw (339 unit). Kondisi ini mengharuskan upaya penurunan defect secara signifikan untuk mendekati zero defect, mengingat tingkat kecacatan saat ini telah melampaui standar perusahaan. Oleh karena itu, diperlukan rekomendasi perbaikan yang tepat.

### C. Tahap Measure

Tahap pengukuran melibatkan analisis objek penelitian melalui penerapan diagram Pareto dan perhitungan nilai DPMO (Defects Per Million Opportunities) guna mengevaluasi level sigma yang dicapai.

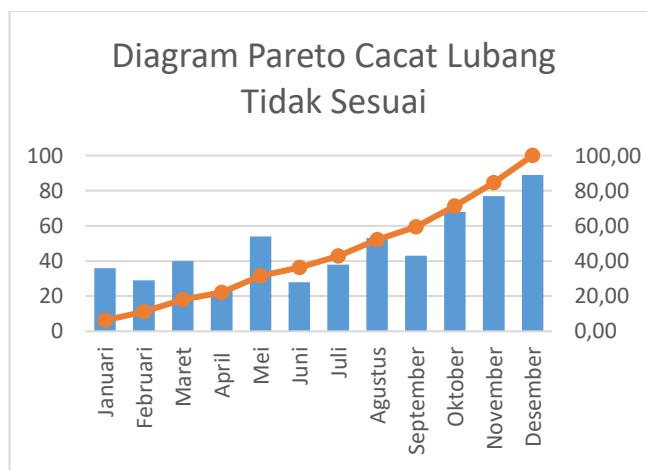
#### 1. Perhitungan Persentase Cacat Lubang hexa

Perhitungan persentase kecacatan lubang pada bone screw selama periode Januari-Desember 2024 dapat dilihat pada tabel 2. berikut :

Bulan	Frekuensi Cacat (Unit)	Persentase Cacat (%)	Persentase Cacat Kumulatif (%)
Januari 2024	36	6,23	6,23
Februari 2024	29	5,02	11,25
Maret 2024	40	6,92	18,17
April 2024	23	3,98	22,15
Mei 2024	54	9,34	31,49
Juni 2024	28	4,84	36,33
Juli 2024	38	6,57	42,91
Agustus 2024	53	9,17	52,08
September 2024	43	7,44	59,52
Okttober 2024	68	11,76	71,28
November 2024	77	13,32	84,60
Desember 2024	89	15,40	100,00
Total	578	100,00	

**Tabel 2.** Persentase Cacat Lubang Pada bulan Januari 2024-Desember 2024

Berdasarkan Tabel 2. dapat dilihat bahwa jenis cacat lubang hexa yang tertinggi pada bulan Desember 2024 sebanyak 89 unit dengan persentase cacat sebesar 15,40%, dan cacat lubang hexa terendah pada bulan April 2024 sebanyak 23 unit dengan persentase cacat sebesar 3,98%. Berikut adalah diagram pareto yang menggambarkan cacat lubang hexa bone screw pada bulan Januari 2024 - Desember 2024 yang ditampilkan pada gambar 3. :



**Gambar 3.** Diagram Pareto Kecacatan Lubang Hexa

#### 2. Perhitungan Peta Kendali P

Berdasarkan Tabel 1. maka dapat dilakukan perhitungan nilai proporsi, CL, UCL, dan LCL. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

**a. Menghitung proporsi kecacatan**

$$p = \frac{np_1}{n_1} = \frac{36}{1237} = 0,029103$$

1. Menghitung garis pusat yang merupakan rata-rata kecacatan produk ( $\bar{p}$ ) atau *Center Line* (CL)

$$CL = \bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n} = \frac{578}{22.272} = 0,025952$$

**b. Menghitung batas kendali atas atau *Upper Control Limit* (UCL)**

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \\ &= 0,025952 + 3 \sqrt{\frac{0,025952(1 - 0,025952)}{1.237}} \\ &= 0,03951347 \end{aligned}$$

**c. Menghitung batas kendali atas atau *Lower Control Limit* (LCL)**

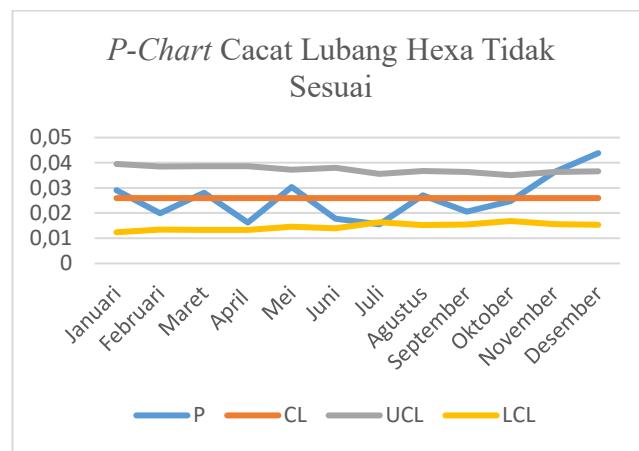
$$\begin{aligned} LCL &= \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \\ &= 0,025952 - 3 \sqrt{\frac{0,025952(1 - 0,025952)}{1.237}} \\ &= 0,012390268 \end{aligned}$$

Jadi, dapat diketahui bahwa cacat lubang *hexa* pada bulan Januari 2024 memiliki nilai proporsi kecacatan sebesar 0,029103; CL sebesar 0,025952; UCL sebesar 0,03951347; dan LCL sebesar 0,012390268. Rekapitulasi hasil perhitungan proporsi kecacatan, CL, UCL, dan LCL bulan Januari 2024-Desember 2024 dapat dilihat pada **tabel 3**. sebagai berikut:

Bulan	Jumlah Cacat Diameter Hole	Jumlah Produksi	P	CL	UCL	LCL
Januari 2024	36	1237	0,029103	0,025952	0,0395135	0,012390268
Februari 2024	29	1455	0,019931	0,025952	0,0384563	0,013447427
Maret 2024	40	1423	0,02811	0,025952	0,0385961	0,013307611
April 2024	23	1415	0,016254	0,025952	0,0386318	0,013271917
Mei 2024	54	1776	0,030405	0,025952	0,03727	0,014633748
Juni 2024	28	1579	0,017733	0,025952	0,0379553	0,013948456
Juli 2024	38	2449	0,015517	0,025952	0,0355902	0,016313547
Agustus 2024	53	1957	0,027082	0,025952	0,0367339	0,015169842
September 2024	43	2087	0,020604	0,025952	0,0363927	0,015511049
Oktober 2024	68	2746	0,024763	0,025952	0,035054	0,016849686
November 2024	77	2117	0,036372	0,025952	0,0363184	0,015585292
Desember 2024	89	2031	0,043821	0,025952	0,0365356	0,015368088
Total	578	22272				

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Peta Kendali Atribut pada Cacat Lubang Hexa

Berdasarkan hasil perhitungan tabel 3., maka peta kendali P pada cacat lubang hexa dapat dilihat pada gambar 4. di bawah ini.



**Gambar 4.** Peta Kontrol P Cacat Diameter Lubang

Analisis terhadap peta kontrol p menunjukkan seluruh data berada dalam batas kendali yang ditetapkan, mengindikasikan bahwa proses produksi telah stabil dan terkontrol dengan baik.

### 3. Perhitungan Nilai DPO,DPMO dan Level Sigma

Penentuan level sigma setiap periode dilakukan melalui komputasi dua metrik kualitas: DPO (Defect Per Opportunity) dan DPMO (Defect Per Million Opportunities) pada setiap periode, guna mengestimasi kemungkinan munculnya defect dalam satu juta kesempatan produksi. Berikut adalah metode perhitungan yang digunakan :

#### a. Perhitungan Nilai DPO (*Defect Per Opportunities*)

$$DPO = \frac{\text{Jumlah Cacat}}{\text{Jumlah unit} \times CTQ}$$

$$= \frac{74}{1237 \times 3}$$

$$= 0,01994$$

#### b. Perhitungan Nilai DPMO (*Defect Per Million Opportunities*)

$$DPMO = \frac{\text{Jumlah Cacat}}{\text{Jumlah unit} \times CTQ} \times 1.000.000$$

$$= \frac{74}{1237 \times 3} \times 1.000.000$$

$$= 19.941$$

#### c. Perhitungan Level Sigma

$$\frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)} = \frac{(Y-Y_1)}{(Y_2-Y_1)}$$

$$\frac{(X-3,55)}{(3,56-3,55)} = \frac{(19.941-20.182)}{(19.699-20.182)} = 3,55$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai DPMO sebesar 19.941 setara dengan level sigma 3,55. Berdasarkan analisis tersebut, berikut disajikan tabel rekapitulasi nilai DPMO dan six sigma untuk produk bone screw selama periode Januari-Desember 2024 pada **tabel 4.** :

Bulan	Jumlah Produksi	Jumlah Defect (unit)	CTQ	DPO	DPMO	Level Sigma
Januari 2024	1237	74	3	0,019941	19941	3,55
Februari 2024	1455	88	3	0,02016	20160	3,55

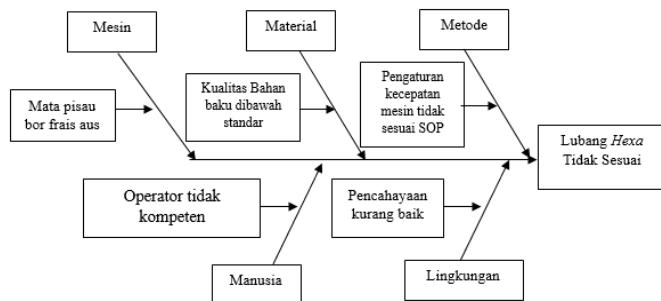
Maret 2024	1423	87	3	0,020379	20379	3,55
April 2024	1415	85	3	0,020024	20024	3,55
Mei 2024	1776	105	3	0,019707	19707	3,56
Juni 2024	1579	95	3	0,020055	20055	3,55
Juli 2024	2449	148	3	0,020144	20144	3,55
Agustus 2024	1957	118	3	0,020099	20099	3,55
September 2024	2087	123	3	0,019645	19645	3,56
Oktober 2024	2746	165	3	0,020029	20029	3,55
November 2024	2117	126	3	0,019839	19839	3,56
Desember 2024	2031	121	3	0,019859	19859	3,56
Total	22272	1335		0,239882	239882,09	42,65
Rata-Rata				0,01999	19990,17	3,55

**Tabel 4.** Nilai DPO, DPMO, dan Level *Sigma Bone Screw* Bulan Januari 2024 - Desember 2024

Analisis kinerja PT XYZ menunjukkan pencapaian level sigma 3,55 dengan rata-rata DPMO 19.990,17 per juta unit produksi. Capaian ini mengindikasikan bahwa perusahaan masih berada pada level 3 sigma dan belum memenuhi target zero defect. Kondisi ini berpotensi menimbulkan dampak signifikan terhadap keberlanjutan bisnis jika tidak segera ditangani. Oleh karena itu, diperlukan langkah perbaikan menyeluruh melalui identifikasi akar penyebab defect guna meningkatkan level sigma mendekati standar six sigma.

#### D. Tahap Analyze

Fase analyze sebagai tahap ketiga dalam metodologi six sigma bertujuan menganalisis hasil pengukuran sebelumnya sekaligus mengidentifikasi akar masalah CTQ melalui fishbone diagram. Berdasarkan diskusi dengan tim Quality Control dan analisis proses produksi, ditemukan beberapa faktor penyebab defect lubang hexa, yang akan ditampilkan dalam fishbone gambar 5. berikut :



**Gambar 5.** Diagram Sebab Akibat Cacat Lubang *Hexa Bone Screw*

Berdasarkan Gambar 5. mengidentifikasi lima akar masalah ketidaksesuaian dimensi lubang hexa melalui pendekatan 5M (Man, Material, Machine, Method, Environment). Berikut penjelasan rinci masing-masing faktor:

##### 1. Manusia

Kompetensi operator yang belum memadai dalam menjalankan proses produksi menjadi kontributor utama kesalahan dimensi lubang hexa.

##### 2. Material

Kualitas material yang tidak optimal berdampak pada ketidakakuratan hasil akhir pembentukan lubang hexa pada produk bone screw

##### 3. Mesin

Keausan mata bor frais akibat tidak terjadwalnya maintenance preventive menyebabkan penyimpangan dalam proses pembuatan lubang.

**4. Metode**

Penyimpangan dalam pengaturan parameter kecepatan bor dari standar operasional yang telah ditetapkan mempengaruhi konsistensi hasil.

**5. Lingkungan**

Tata cahaya kerja yang tidak memadai mengakibatkan gangguan visual dalam proses pengawasan dan pelaksanaan produksi.

**E. Tahap Improve**

Pada tahap Improve, perusahaan akan menerapkan tindakan perbaikan setelah melakukan analisis risiko terhadap faktor penyebab kegagalan produksi. Metode TRIZ digunakan sebagai pendekatan solutif dengan menganalisis berbagai kontradiksi teknis yang mempengaruhi kualitas produk, khususnya pada tiga masalah utama: ketidaksesuaian dimensi lubang hexa ; penyimpangan diameter kepala screw ; variasi panjang screw yang tidak memenuhi standar. Melalui metode ini, hambatan proses produksi dapat diatasi secara sistematis untuk meminimalkan terjadinya defect.

**1. Kontradiksi-Kontradiksi Permasalahan**

Pada Tabel ini menunjukkan kontradiksi – kontradiksi permasalahan yang ada pada diagram sebab akibat cacat lubang hexa tidak sesuai yang menjadi hambatan pada proses produksi. Berikut penjelasan detail mengenai kontradiksi kontradiksi pada tabel 5. berikut.

No	Penyebab Cacat	Kontradiksi <i>Improve</i>	
		<i>Improve Parameter</i>	<i>Worsening Parameter</i>
1	Pengaturan kecepatan mesin tidak sesuai	33 ( <i>Ease of Operation</i> )	39 ( <i>Productivity</i> )
2	Kualitas bahan dibawah standar	29 ( <i>Manufacturing Precision</i> )	11 ( <i>Stress or Pressure</i> )
3	Mata pisau aus	34 ( <i>Ease of Repair</i> )	25 ( <i>Loss of Time</i> )
4	Operator tidak kompeten	39 ( <i>Productivity</i> )	22 ( <i>Loss of Energy</i> )
5	Cahaya kurang	18 ( <i>Illumintaion Intensity</i> )	17 ( <i>Temperature</i> )

**Tabel 5.** Parameter konflik permasalahan lubang hexa

- Improve parameter yang digunakan pada penyebab cacat pengaturan kecepatan mesin tidak sesuai berupa pembuatan standar pengoperasian mesin bor frais yang sejalan dengan prinsip 33 (ease of operation) kemudahan penggunaan suatu system oleh manusia, kesederhanaan dan kemudahan akan menhasilkan produk yang banyak. Namun, dampak yang ditimbulkan yaitu produktivitas mesin menurun. Hal ini sejalan dengan worsening parameter prinsip 39 (productivity) yang menjelaskan ukuran jumlah keluaran (output) yang dihasilkan oleh suatu sistem, proses, atau operator dalam satuan waktu tertentu, dengan mempertimbangkan efisiensi sumber daya yang digunakan.
- Pada penyebab kualitas bahan dibawah standar, improve parameter berupa peningkatan kembali fokus pengecekan dan perawatan kualitas material. Tindakan ini sejalan dengan prinsip 29 (manufacturing precision) yang berisi penambahan dan memperjelas bagian penting dari suatu benda atau sistem agar lebih pas dengan apa yang dibutuhkan. Namun, dampak yang ditimbulkan dari Tindakan ini yaitu, operator menjadi harus lebih teliti karena material akan menjadi bahan baku produksi, hal ini sesuai dengan worsening 87 parameter 11 (stress or pressure) yang menjelaskan tekanan mental atau beban kerja manusia dalam system.
- Pada penyebab mata pisau bor frais aus, improve parameter berupa kemudahan dalam melakukan proses perbaikan. Tindakan ini sejalan dengan prinsip 34 (ease of repair) kemudahan dan kecepatan yang digunakan untuk memperbaiki kesalahan, kerusakan dalam suatu sistem. Namun, dampak yang ditimbulkan dari tindakan ini yaitu, memerlukan waktu tambah ketika terjadi perbaikan mesin, hal ini sesuai dengan worsening parameter 25 (Loss of Time) yang menjelaskan memperbaiki waktu yang hilang dalam suatu proses

- d. Pada operator tidak kompeten, improve parameter berupa kemampuan operator melakukan kegiatan proses secara produktif, sehingga dapat mengefisiensikan tenaga. Tindakan ini sejalan dengan prinsip 39 (Productivity) jumlah fungsi atau performa pada proses tiap satuan waktu. Namun, dampak yang ditimbulkan dari tindakan ini yaitu, operator membutuhkan sebuah ilmu dan metode sehingga dapat kehilangan tenaga, hal ini sesuai dengan worsening parameter 22 (Loss of Energy) yaitu menggunakan energi yang tidak memberikan kontribusi untuk menyelesaikan pekerjaan.
- e. Pada pencahayaan kurang baik, improve parameter berupa perubahan secara tetap dan cepat setiap unit area dalam meanambah penerangan, Tindakan ini sejalan dengan prinsip 18 (Illumination Intensity) perubahan secara cepat setiap unit area juga karakter penerangan lainnya. Namun, dampak yang ditimbulkan dari tindakan ini yaitu, suhu dalam ruangan meningkat 88 menyebabkan operator mudah lelah, hal ini sesuai dengan worsening parameter 17 (Temperature) yang menjelaskan kondisi termal dari objek atau sistem.

## 2. Kontradiksi

Berdasarkan analisis kontradiksi dari 39 parameter dalam Tabel 4.13, hasil tersebut kemudian diinput ke dalam contradiction matrix. Pada matriks tersebut, sel kosong menunjukkan tidak adanya hubungan kontradiksi, sedangkan sel terisi merepresentasikan prinsip solusi yang direkomendasikan. Berikut ditampilkan contradiction matrix cacat lubang hexa pada tabel 6.

	11	17	22	25	39
18		19,32,35			
29	3,35				
33					1,28,7,10
34				32,1,10	
39			28,10,29,35		

**Tabel 6. Contradiction matrix Cacat Lubang Hexa**

Hasil pemetaan kontradiksi dalam matriks kontradiksi menghasilkan beberapa rekomendasi perbaikan sebagai berikut:

### a. Prinsip 10. *Preliminary Action*

Sebagai tindakan pencegahan, kalibrasi mesin dilakukan sebelum memulai produksi untuk menjamin akurasi dan stabilitas kinerja peralatan. Pendekatan ini selaras dengan prinsip *preliminary action* yang mengedepankan persiapan matang guna menghindari kesalahan produksi seperti deviasi ukuran atau defect produk akibat kinerja mesin yang tidak optimal. Proses kalibrasi memastikan operasional mesin sesuai standar, sehingga menghasilkan produk yang konsisten dan memenuhi spesifikasi teknis.

### b. Prinsip 35. *Parameter Changes*

Sebagai tindakan pencegahan, dilakukan penguatan sistem inspeksi dan perawatan material *stainless steel* untuk produksi bone screw guna menghindari degradasi kualitas akibat korosi. Strategi ini mencakup modifikasi lingkungan penyimpanan melalui: pengendalian atmosfer dengan mengurangi kelembaban ; isolasi dari zat korosif ; pemantauan kondisi fisik material. Pendekatan ini menerapkan prinsip *parameter changes* dengan transformasi lingkungan penyimpanan untuk menjaga stabilitas material, mencegah oksidasi, dan menjamin kesiapan bahan baku tanpa risiko *defect* korosi sejak tahap awal produksi.

## Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di PT XYZ maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode six sigma pada periode bulan Januari 2024 – Desember 2024 di PT XYZ dapat diketahui nilai rata-rata DPMO dengan defect 6% adalah sebesar 19.990,17 dengan rata-rata nilai sigma sebesar 3,55. Untuk mengurangi tingkat cacat dari 6% menjadi 2% sesuai dengan standar perusahaan,

perusahaan perlu mengurangi cacat produk dengan jumlah 455 (pcs) per tahun dengan nilai rata-rata DPMO sebesar 6.653,19 dengan nilai rata-rata sigma sebesar 4

2. Rekomendasi perbaikan yang diberikan untuk meminimasi adanya kecacatan adalah sebagai berikut
- a. Cacat lubang *hexa* adalah dengan prinsip 10 (*preliminary action*) yaitu melakukan kalibrasi dan pengecekan sebelum proses dimulai dan prinsip 35 (*parameters change*) yaitu meningkatkan pengecekan dan perawatan bahan baku *stainless steel* yang digunakan dalam produksi *bone screw*
  - b. Cacat kepala diameter tidak sesuai adalah dengan prinsip 34 (*discording and recovering*) yaitu dengan memperbarui SOP dalam proses produksi *bone screw* dan prinsip 35 (*parameters change*) yaitu melakukan evaluasi secara menyeluruh terhadap penempatan tugas kerja di lini produksi *bone screw* guna memastikan efisiensi kerja dan dukungan optimal terhadap produktivitas
  - c. Cacat Panjang *screw* tidak sesuai adalah dengan prinsip 10 (*preliminary action*) yaitu membuat form penilaian kerja untuk mengevaluasi kinerja operator secara berkala dan sistematis dalam proses produksi *bone screw* dan prinsip 3 (*local quality*) yaitu melakukan penjadwalan pemeliharaan mesin secara teratur dan terencana dalam proses produksi *bone screw* guna menjaga kinerja optimal setiap pcs peralatan

## References

- [1] V. B. Kumbara, "Determinasi Nilai Pelanggan dan Keputusan Pembelian: Analisis Kualitas Produk, Desain Produk dan Endorse," *Jurnal Ilmu Terapan*, vol. 2, no. 5, pp. –, 2021.
- [2] D. Permata Sari, "Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keputusan Pembelian, Kualitas Produk, Harga Kompetitif, Lokasi (Literature Review Manajemen Pemasaran)," *Jurnal Ilmu Manajemen Terapan*, vol. 2, no. 4, pp. 524–533, 2021, doi: 10.31933/jimt.v2i4.
- [3] Y. Erdhianto, "Analisa Pengendalian Kualitas untuk Mengurangi Jumlah Cacat pada Kemasan Produk Gula Pasir PG Kremboong dengan Metode Seven Tools," in *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan I (SENASTITAN I)*, vol. 1, no. 1, pp. 349–357, 2021.
- [4] N. J. K. Jakti and A. Z. Al Faritsy, "Analisis Pengendalian Kualitas Produk dengan Metode Six Sigma dan TRIZ untuk Mengurangi Jumlah Kecacatan Produk di UD Cantenan," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri dan Inovasi*, vol. 2, no. 2, pp. 27–38, 2024, doi: 10.59024/jisi.v2i2.642.
- [5] P. S. K. Hanifah and I. Iftadi, "Penerapan Metode Six Sigma dan Failure Mode Effect Analysis untuk Perbaikan Pengendalian Kualitas Produksi Gula," *Jurnal Intech Teknik Industri Universitas Serang Raya*, vol. 8, no. 2, pp. 90–98, Oct. 2022, doi: 10.30656/intech.v8i2.4655.
- [6] A. Nur, F. Wahyuni, and R. Pratama, "Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Six Sigma (Studi Kasus PT Andalan Mandiri Busana)," *Jurnal Teknik Industri*, vol. –, no. –, pp. –, 2023.
- [7] A. Darmawi, R. Anandita, and S. Parmawati, "Analisis Jump Cone pada Mesin Winding Savio Menggunakan Metode DMAIC dalam Pengambilan Keputusan," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, vol. 6, no. 2, pp. 73–79, 2023.
- [8] R. Firmansyah and P. Yuliarty, "Implementasi Metode DMAIC pada Pengendalian Kualitas Sole Plate di PT Kencana Gemilang," *Jurnal Rekayasa dan Manufaktur*, vol. 14, no. 2, pp. 167–180, 2020.
- [9] A. Jayzyuli and W. Setiafindari, "Analisis Pengendalian Kualitas Produksi General Plywood di PT ABC Menggunakan Six Sigma dan TRIZ," *Jumantara: Jurnal Manajemen dan Teknologi Rekayasa*, vol. 3, no. 2, p. 83, Aug. 2024, doi: 10.28989/jumantara.v3i2.2301.
- [10] A. Waruwu, V. R. Tampubolon, M. A. Pratama, and D. Putri, "Pengendalian Kualitas Metode Six Sigma untuk Mengurangi Tingkat Kerusakan Produk Kalender di PT. KLM," *Jurnal Imtechno*, vol. –, no. –, pp. –, 2022. [Online]. Available: <http://jurnal.bsi.ac.id/index.php/imtechno>
- [11] A. N. Furqon and A. Z. Al-Faritsy, "Usulan Perbaikan Kualitas Produk Rantai Boiler Menggunakan Metode Six Sigma dan TRIZ," *Jurnal Nusantara of Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. –, 2022. [Online]. Available: <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/noe>
- [12] F. Adzima, S. Asmal, and I. Setiawan, "Implementasi Metode TRIZ terhadap Peningkatan Kualitas Proses Roasting Kopi pada UMKM di Makassar," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 9, no. 2, pp. –, 2023.
- [13] A. Y. Nagara, E. Purnamawati, and A. Suryadi, "Analisis Peningkatan Kualitas Pelayanan dengan Metode SERVQUAL dan TRIZ (Studi Kasus pada 'Cafe XYZ')," *Juminten: Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, pp. 76–86, 2020.

- 
- [14] F. Musthofa, S. Watsiqoh, N. F. B. Angin, A. E. Sukamto, and A. R. Fachrur, “Perbandingan Kinerja Peta Kendali NP Klasik dan NP Bayes Produk Roti di UMKM Benroti Snack Box,” *Journal of Systems Engineering and Management*, vol. 2, no. 1, p. 52, 2023, doi: 10.36055/joseam.v2i1.19323.
  - [15] I. Ekmekci and E. E. Nebati, “TRIZ Methodology and Applications,” in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., vol. 158, pp. 303–315, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.09.056.