

Pengendalian Kualitas dengan Menggunakan Metode *Six Sigma* dan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) pada Produk *EQ Spacing* di PT Sinar Semesta

Alvito Shultan Alfiansyah^{*1}, Elly Wuryaningtyas Yunitasari², Kusmendar³
Program Studi Teknik Industri, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa Jalan Miliran No.16
Yogyakarta, Indonesia
e-mail: ^{*1}alvitosa234@gmail.com, ²ellywy@ustjogja.ac.id, ³kusmendar@ustjogja.ac.id

(artikel diterima: 13-01-2024, artikel disetujui: 14-05-2024)

Abstrak

Dalam proses produksi produk *EQ Spacing* di PT Sinar Semesta, ditemukan bahwa terdapat delapan jenis *defect* yang mengakibatkan cacat produk melebihi standar perusahaan. Tujuan dari penelitian ini adalah menjalankan serangkaian analisis dan tindakan yang terfokus pada pengendalian kualitas produk serta mengidentifikasi berbagai aspek yang memerlukan perbaikan selama proses produksi. Jenis cacat dengan presentase tertinggi meliputi permukaan tidak rata sebesar 35,3%, keropos sebesar 24,9%, dan gempil sebesar 19,3%. Dengan menggunakan pendekatan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) dengan bobot 4,05, ditemukan pergeseran pada periode 6, 10, 11, 12, 13, 14, dan 15 pada grafik MEWMA, dengan nilai DPMO sebesar 24.268 dan sigma. dari 3,5. Analisis ini menunjukkan bahwa untuk mencegah cacat yang berlebihan, kinerja proses produksi harus ditingkatkan. PT Sinar Semesta harus menyarankan modifikasi berdasarkan pendekatan 5W+1H untuk mengurangi jumlah cacat pada produk tas. Tujuan dari peningkatan kualitas ini adalah untuk mendekati nihil cacat dan tingkat kegagalan yang sangat rendah. Hal ini bertujuan agar produk akhir menjadi lebih unggul dan memenuhi persyaratan kualitas perusahaan.

Kata kunci: Pengendalian kualitas, *Six sigma*, MEWMA, 5W + 1H

Abstract

In the production process of EQ Spacing products at PT Sinar Semesta, it was discovered that there were eight types of defects which resulted in product defects exceeding company standards. The aim of this research is to carry out a series of analyzes and actions focused on controlling product quality and identifying various aspects that require improvement during the production process. The types of defects with the highest percentage include uneven surfaces at 35.3%, porous at 24.9%, and chipped at 19.3%. Using the Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) approach with a weight of 4.05, shifts were found in periods 6, 10, 11, 12, 13, 14, and 15 of the MEWMA graph, with a DPMO value of 24268 and a sigma of 3.5. This analysis demonstrates that in order to prevent excessive defects, production process performance must be improved. PT Sinar Semesta must suggest modifications based on the 5W+1H approach in order to lower the quantity of flaws in bag products. The goal of this quality improvement is to get closer to zero defects and a very low failure rate. It is intended that by doing this, the final product will be superior and satisfy the company's quality requirements.

Keywords: Quality Control, *Six sigma*, MEWMA, 5W+1H

1. PENDAHULUAN

Dalam era pertumbuhan industri dan teknologi yang pesat, persaingan bisnis meningkat, memaksa perusahaan untuk mempertimbangkan secara teliti berbagai aspek sebelum memproduksi atau memasarkan produk mereka. Kualitas produk, bersama dengan strategi harga, pemasaran, dan inovasi produk, menjadi kunci untuk memastikan posisi kompetitif yang kuat di pasar yang semakin kompetitif (Yunindah *et al.*, 2016). Keunggulan kompetitif menjadi faktor penting dalam meningkatkan kinerja pemasaran dan memastikan posisi pasar yang kuat di tengah persaingan yang meningkat (Fatikha, Rahayu dan Sumiati, 2021; Suherman, 2021). Produk yang kompetitif ditandai dengan pemenuhan kebutuhan perdagangan dan harga yang tepat dibandingkan produk serupa (Carbone *et al.*, 2020), serta keunggulan kompetitif yang bertindak sebagai mediator antara orientasi kewirausahaan, orientasi pasar, dan kinerja pemasaran.

PT Sinar Semesta merupakan sebuah perusahaan pengecoran logam, menghadapi tantangan dalam mengendalikan kualitas proses produksi *EQ Spacing*, di mana produknya sering kali cacat, seperti permukaan tidak rata dan mudah pecah, yang jika cacatnya signifikan, maka harus diperbaiki atau dibuang. Situasi ini menyoroti pentingnya strategi diferensiasi dan respons proaktif terhadap peluang pasar untuk meningkatkan daya saing dan kinerja pemasaran produk (Prihandono, Pandu Wijaya dan Afiffah Ainii, 2021). Dalam konteks UKM, strategi yang berorientasi pasar, intensitas kompetitif, dan dinamika teknologi sangat penting untuk mendorong pertumbuhan kompetitif (Amadasun dan Mutezo, 2022). Pemahaman tentang kompetisi pasar esensial bagi perusahaan, karena mempengaruhi keputusan investasi jaringan, penghindaran pajak perusahaan, dan bahkan isu diskriminasi, dengan dinamika kompetisi pasar dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti regulasi kapital, biaya intermediasi keuangan, dan harmonisasi dengan kerangka regulasi (Shin dan Park, 2019; Siddique, Vlassopoulos dan Zenou, 2020; Mia, 2023).

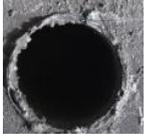
Untuk memberikan gambaran lebih lanjut tentang tantangan kualitas yang dihadapi, Tabel 1 menyajikan data volume produksi dan jumlah cacat bulanan produk *EQ Spacing*, sedangkan Tabel 2 merinci jenis cacat yang ditemukan, masing-masing memberikan wawasan penting terkait area kritis yang memerlukan perbaikan.

Tabel 1 Jumlah produksi dan jumlah *defect* pada produk *EQ Spacing*

No	Tahun	Bulan	Jumlah produksi	Jumlah <i>Defect</i>
1	2022	Jan	376	47
2	2022	Feb	281	60
3	2022	Mar	248	56
4	2022	Apr	80	23
5	2022	Mei	96	36
6	2022	Jun	302	74
7	2022	Jul	0	0
8	2022	Ags	0	0
9	2022	Sep	0	0
10	2022	Okt	366	68
11	2022	Nov	55	9
12	2022	Des	0	0
13	2023	Jan	365	26

No	Tahun	Bulan	Jumlah produksi	Jumlah Defect
14	2023	Feb	97	10
15	2023	Mar	150	21

Tabel 2 Jenis cacat pada produk *EQ Spacing*

No	Gambar	Kode	Keterangan	No	Gambar	Kode	Keterangan
1		<i>Defect 1</i>	Permukaan tidak rata	5		<i>Defect 5</i>	Salah alir
2		<i>Defect 2</i>	Keropos	6		<i>Defect 6</i>	Retakan
3		<i>Defect 3</i>	Ekor tikus	7		<i>Defect 7</i>	Siku-siku tidak sesuai ukuran
4		<i>Defect 4</i>	Gempil	8		<i>Defect 8</i>	Penyusutan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan meningkatkan kualitas produk *EQ Spacing* di PT Sinar Semesta dengan mengidentifikasi praktik manufaktur, teknologi, protokol inspeksi, dan parameter produksi yang dapat dioptimalkan. Khususnya, penelitian ini mengadopsi metodologi *Six Sigma* dan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)* yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi melalui pendekatan DMAIC dan deteksi dini perubahan proses (Wulansari dan Karnaningroem, 2019; Putri dan Primananda, 2021). Sementara itu, MEWMA memfasilitasi deteksi dini perubahan proses secara *real-time*, memungkinkan tindakan korektif cepat untuk menjaga standar kualitas (Anuradha, Santhinigopalakrishnan dan Sumathy, 2021). Kombinasi keduanya mengoptimalkan pengendalian kualitas, menjamin reduksi variabilitas proses dan peningkatan kualitas produk. Melalui pendekatan ini, penelitian berfokus pada analisis *Fault Tree Analysis (FTA)* dan penggunaan strategi 5W+1H untuk mengidentifikasi dan mengatasi penyebab utama cacat, menyajikan perbedaan signifikan dari penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan *fishbone* dan FMEA.

Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk mengatasi tantangan kualitas produk yang dihadapi oleh PT Sinar Semesta, tetapi juga untuk memberikan wawasan pada literatur pengendalian kualitas melalui penerapan metodologi yang terintegrasi dan berfokus pada peningkatan proses produksi dan kepuasan konsumen.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Langkah Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Six Sigma* dan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)* untuk mengidentifikasi dan

mengurangi cacat produksi pada produk *EQ Spacing* di PT Sinar Semesta. Langkah-langkah penelitian meliputi:

Pengamatan Langsung: Observasi di lapangan untuk memahami proses produksi dan mengidentifikasi potensi sumber kegagalan.

Studi Literatur: *Review* literatur terkait untuk mendukung pemahaman masalah dan metodologi penelitian.

Identifikasi dan Analisis Masalah: Menentukan jenis dan jumlah kegagalan menggunakan data historis produksi dan *defect*.

Pengumpulan Data Sekunder: Mengumpulkan data historis produksi dan jumlah cacat dari catatan perusahaan.

Analisis Data: Menggunakan *Six Sigma* untuk menghitung DPMO (*Defects Per Million Opportunities*) dan MEWMA untuk mendeteksi pergeseran kualitatif dalam proses produksi.

Saran Perbaikan: Memberikan rekomendasi perbaikan berdasarkan analisis untuk mengurangi jumlah cacat.

2.2 Six Sigma

Six Sigma merupakan metodologi bisnis yang bertujuan untuk mencapai target 3,4 kegagalan per satu juta peluang dengan menggunakan analisis statistik untuk meningkatkan kualitas produk dan proses (Wahyani, Chobir dan Rahmanto, 2013). Langkah-langkah DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) *Six Sigma* memandu penelitian ini dari tahap awal pengenalan masalah (*Define*), pengukuran dan pengumpulan data (*Measure*), analisis penyebab masalah (*Analyze*), implementasi solusi perbaikan (*Improve*), hingga pengendalian proses untuk memastikan perbaikan yang berkelanjutan (*Control*). Dalam konteks penelitian ini, khususnya pada tahap *Measure* dan *Analyze*. *Six Sigma* digunakan untuk menghitung nilai DPMO dan menentukan level *Sigma* proses produksi, yang membantu mengidentifikasi area-area kritis yang memerlukan intervensi.

1. *Define*: Tujuan dari langkah ini adalah untuk mengidentifikasi masalah atau kebutuhan bisnis yang perlu diselesaikan.
2. *Measure*: Pada titik ini, pengukuran data dilakukan dan fitur-fitur penting dari proses yang dijelaskan ditentukan. Perhitungannya adalah sebagai berikut:
 - a. Proporsi cacat

$$p = \frac{\text{jumlah produk cacat}}{\text{jumlah produksi}} \quad (1)$$

Dimana p adalah proporsi cacat, jumlah produk cacat adalah total jumlah produk yang ditemukan cacat selama periode tertentu, dan jumlah produksi adalah total jumlah produk yang diproduksi selama periode yang sama.

- b. Menghitung garis tengah (*Center Line / CL*), *Upper Control Limit (UCL)* dan *Lower Control Limit (LCL)*

$$CL = \bar{p} \quad (2)$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (3)$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (4)$$

Dimana \bar{p} adalah rata-rata proporsi cacat dan n adalah ukuran sampel.

- c. *Defect per Million Opportunities (DPMO)*

$$DPMO = \frac{\text{jumlah produk cacat}}{\text{jumlah produksi}} \times 1.000.000 \quad (5)$$

3. *Analyze*: Pada titik ini, menentukan akar masalah yang terjadi pada perusahaan. Untuk mengetahui sumber permasalahan yang dihadapi, analisis akar permasalahan juga dilakukan pada langkah ini (Joes, Salomon dan Daywin, 2023). Analisis penyebab masalah dilakukan untuk menentukan akar dari cacat yang teridentifikasi. Ini termasuk evaluasi terhadap manusia (*Man*), metode (*Method*), material (*Material*), dan lingkungan (*Environment*) yang berkontribusi terhadap masalah kualitas. Teknik analisis seperti *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk memetakan hubungan antara faktor-faktor penyebab dan cacat produk.
4. *Improve*: Tahap ini, solusi yang diberikan untuk perusahaan tentang masalah yang didapat pada bagian *Analysis*. Strategi perbaikan yang ditawarkan melalui pendekatan 5W+1H, yang menargetkan penyebab spesifik dari cacat dan memberikan solusi yang praktis dan terukur.
5. *Control*: Pada tahap ini, Solusi untuk langkah perbaikan selanjutnya bagi perusahaan.

2.3 Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)

Untuk menemukan pergeseran rata-rata dalam data multivariat, diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) adalah alat yang berguna (Arinda, Mustafid dan Mukid, 2016). Berikut adalah definisi persamaan pada *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA):

$$Z_j = \lambda X_j + (1 - \lambda)Z_{j-1} \quad (6)$$

Sebagai pengembangan univariat, dimana Z_j adalah nilai MEWMA atau nilai rata-rata yang didasarkan pada rata-rata dari semua rata-rata sampel sebelumnya, λ adalah besar pembobot atau faktor pelunakan (*smoothing parameter*) dengan nilai antara 0 dan 1, j adalah jumlah banyaknya pengamatan yang dilakukan, dan untuk nilai awal Z_0 biasanya diatur sama dengan nol atau rata-rata target proses.

Dalam menghitung bobot untuk pembuatan grafik Metode MEWMA menggunakan metode statistik *Hotelling's T²* (Austin, Lauro dan Herwindiati, 2020). Berikut adalah rumus mencari nilai bobot:

$$T^2 = n(\bar{X} - \mu)^T S^{-1}(\bar{X} - \mu) \quad (7)$$

Dimana T^2 adalah statistik *Hotelling's T²*, n adalah ukuran sampel, \bar{X} adalah vektor rata-rata sampel, μ adalah vektor rata-rata proses atau target yang diinginkan, S^{-1} adalah invers dari matriks kovarians sampel, dan T menunjukkan transpos vektor atau matriks.

Berikut rumus menghitung CL, UCL, dan LCL dalam MEWMA:

$$CL = \pi_0 \quad (8)$$

$$UCL = \pi_0 + L_\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (9)$$

$$LCL = \pi_0 - L_\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (10)$$

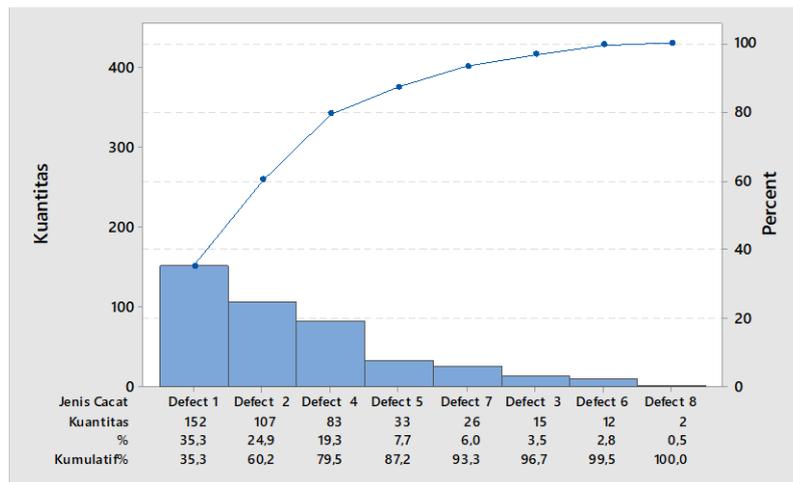
Dimana π_0 adalah target proses atau nilai rata-rata yang diharapkan untuk sekumpulan variabel proses, L_σ adalah jarak statistik dari *mean*, yang sering kali berkaitan dengan batas kepercayaan yang diinginkan (misalnya, 3σ untuk batas kontrol *3-sigma*), λ adalah faktor pelunakan dalam MEWMA, dan i adalah indeks sampel (biasanya waktu).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap *Define*

Pada tahap ini, identifikasi cacat produk dilakukan dengan memanfaatkan teknik diagram Pareto, yang memvisualisasikan distribusi frekuensi cacat berdasarkan data yang terkumpul dalam penelitian. Diagram Pareto, seperti yang dikemukakan oleh Purnomo (2020), efektif dalam mengutamakan masalah berdasarkan prinsip 80/20, yang menyoroti bahwa sebagian besar masalah (80%) seringkali berasal dari sejumlah kecil penyebab utama (20%).

Seperti yang terlihat pada Gambar 1, cacat pada permukaan yang tidak rata atau kasar merupakan kontributor terbesar terhadap cacat produk, dengan persentase sebesar 35,3%. Diikuti oleh kesalahan dalam proses kegagalan sebesar 24,9%, kedua jenis cacat ini bersama-sama menyumbang lebih dari setengah dari semua isu kualitas yang ditemukan dalam produksi *EQ Spacing*. Fokus pada perbaikan kualitas pada dua area ini akan memiliki dampak paling signifikan dalam meningkatkan kualitas produk akhir.



Gambar 1 Pareto chart jenis cacat

Gambar 1 menggambarkan perbandingan antara jumlah cacat dan proporsi kumulatifnya terhadap total cacat yang diamati. Dengan analisis ini, permukaan yang tidak rata dan kesalahan kegagalan diidentifikasi sebagai target utama untuk intervensi perbaikan, menunjukkan pentingnya mengalokasikan sumber daya dan upaya perbaikan terutama pada dua jenis cacat tersebut.

Tahap *Measure*

Dalam tahap pengukuran, penelitian ini mengidentifikasi kondisi saat ini dari proses produksi perusahaan dan menemukan masalah yang perlu dievaluasi dan diperbaiki (Rahmadi dan Bernik, 2018). Menggunakan metode *Control Chart P*, yang merupakan alat pengukuran efektif untuk melacak variabilitas dalam proses produksi (Suhartini, Basjir dan Hariyono, 2020), kami menganalisis sampel dan jumlah cacat yang didokumentasikan. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan

rumus 1-4 yang dijabarkan dalam Tabel 3, dapat diketahui nilai *Upper Control Limit* (UCL) sebesar 0,2372, *Center Line* (CL) sebesar 0,1780, dan *Lower Control Limit* (LCL) sebesar 0,1188.

Tabel 3 Hasil perhitungan *Control Limit* produk *EQ Spacing*

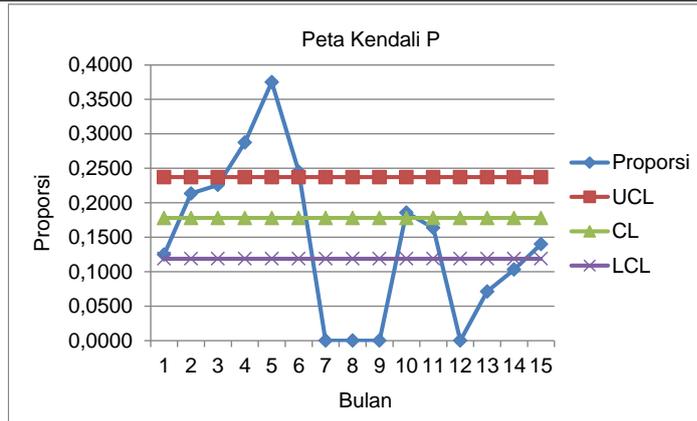
No	Sampel	Jumlah Cacat	Proporsi	UCL	CL	LCL
1	376	47	0,1250	0,2372	0,1780	0,1188
2	281	60	0,2135	0,2372	0,1780	0,1188
3	248	56	0,2258	0,2372	0,1780	0,1188
4	80	23	0,2875	0,2372	0,1780	0,1188
5	96	36	0,3750	0,2372	0,1780	0,1188
6	302	74	0,2450	0,2372	0,1780	0,1188
7	0	0	0	0,2372	0,1780	0,1188
8	0	0	0	0,2372	0,1780	0,1188
9	0	0	0	0,2372	0,1780	0,1188
10	366	68	0,1858	0,2372	0,1780	0,1188
11	55	9	0,1636	0,2372	0,1780	0,1188
12	0	0	0	0,2372	0,1780	0,1188
13	365	26	0,0712	0,2372	0,1780	0,1188
14	97	10	0,1031	0,2372	0,1780	0,1188
15	150	21	0,1400	0,2372	0,1780	0,1188
Total	2416	430	0,1780			

Pada Peta Kendali P yang ditampilkan dalam Gambar 2, terdapat fluktuasi signifikan dalam proporsi cacat yang mencerminkan variabilitas dalam proses produksi produk *EQ Spacing*. Periode ketika proporsi cacat melebihi *Upper Control Limit* (UCL) terjadi pada sampel ke-4 dan ke-5, dengan proporsi mencapai puncak pada 0,2875 dan 0,3750. Ini menandai insiden cacat yang jauh di atas rata-rata, menunjukkan variabilitas yang tidak diinginkan dalam proses yang dapat berdampak negatif pada kualitas keseluruhan dan keandalan produk.

Kemudian, sampel ke-13 dan ke-14 juga menunjukkan proporsi yang meningkat, meskipun tidak sebesar sampel sebelumnya, menunjukkan adanya perubahan dalam proses yang mungkin mempengaruhi konsistensi produk. Sementara sampel ke-7 sampai ke-9 dan sampel ke-12 memiliki proporsi nol, yang mengindikasikan tidak adanya produksi atau tidak terjadinya cacat dalam periode tersebut.

Pola umum yang dapat ditarik dari Gambar 2 adalah bahwa meskipun sebagian besar periode produksi berada dalam batas kontrol yang ditentukan, terdapat beberapa periode di mana kontrol proses tidak konsisten. Fluktuasi signifikan ini membutuhkan investigasi mendalam untuk mengidentifikasi penyebab variabilitas dan mengembangkan tindakan perbaikan yang sesuai untuk memastikan kualitas produk yang lebih stabil dan dapat diandalkan.

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan DPMO dan tingkat Sigma untuk proses produksi *EQ Spacing* dimana rata-rata DPMO adalah 24.268, yang menyiratkan bahwa rata-rata terdapat 24.268 cacat yang diharapkan per satu juta peluang. Ini diperoleh dari penghitungan rata-rata DPU (*Defects Per Unit*), yang kemudian dikonversi menjadi DPMO untuk menstandarisasi ukuran kinerja yang dapat dibandingkan di berbagai proses atau industri.



Gambar 2 Peta Kendali P Produk *EQ Spacing*

Ketika membandingkan DPMO ini dengan skala tingkat Sigma, didapatkan rata-rata tingkat *Sigma* untuk proses produksi ini adalah 3,5. Tingkat Sigma 3,5 menunjukkan bahwa proses produksi relatif stabil namun jauh dari 'world-class' yang seringkali ditandai dengan tingkat *Sigma* 6. Tingkat *Sigma* ini mengindikasikan bahwa meskipun proses berada di bawah kontrol statistik, masih ada peluang yang signifikan untuk peningkatan.

Secara spesifik, dapat dilihat fluktuasi dalam DPMO dari sampel ke sampel yang menunjukkan variabilitas dalam kualitas produksi. Misalnya, Sampel 5 menunjukkan DPMO yang sangat tinggi pada 46.875, yang jauh melebihi rata-rata dan mencerminkan periode di mana kualitas produk sangat buruk. Sebaliknya, Sampel 13 menunjukkan tingkat DPMO pada 8.904,1, yang merupakan nilai terendah dan menunjukkan performa kualitas yang lebih baik.

Tabel 4 DPMO dan Tingkat Sigma

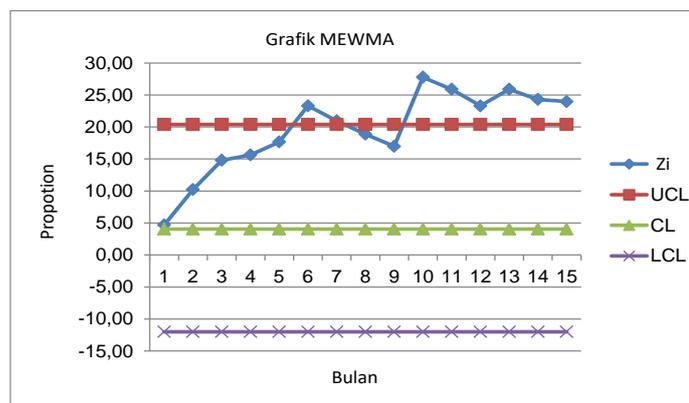
No	Jumlah Produksi	Defect (D)	Defect Oppt (OP)	Total Oppt (TOP)	DPU	DPO	DPMO	Tingkat Sigma
1	376	47	8	3.008	0,125	0,0156	15.625,0	3,7
2	281	60	8	2.248	0,214	0,0267	26.690,4	3,4
3	248	56	8	1.984	0,226	0,0282	28.225,8	3,4
4	80	23	8	640	0,288	0,0359	35.937,5	3,3
5	96	36	8	768	0,375	0,0469	46.875,0	3,2
6	302	74	8	2.416	0,245	0,0306	30.629,1	3,4
7	0	0	0	0	0,000	0,0000	0,0	0,0
8	0	0	0	0	0,000	0,0000	0,0	0,0
9	0	0	0	0	0,000	0,0000	0,0	0,0
10	366	68	8	2.928	0,186	0,0232	23.224,0	3,5
11	55	9	8	440	0,164	0,0205	20.454,5	3,5
12	0	0	0	0	0,000	0,0000	0,0	0,0
13	365	26	8	2.920	0,071	0,0089	8.904,1	3,9
14	97	10	8	776	0,103	0,0129	12.886,6	3,7
15	150	21	8	1.200	0,140	0,0175	17.500,0	3,6
Rata-rata DPMO dan Tingkat Sigma							24.268	3,5

Tabel 5 menggambarkan perhitungan nilai MEWMA untuk setiap subgrup produksi *EQ Spacing* dengan menggunakan rumus 6, 8, 9, dan 10. Nilai Z_j yang dihitung menggambarkan posisi proses terkini relatif terhadap nilai tengah (μ_0), dan batas kontrol. Statistik T^2 , yang berfungsi sebagai statistik pengujian untuk MEWMA, ditentukan sebagai 4,05, yang mencerminkan variabilitas proses rata-rata

sebesar 4,05. Nilai ini berasal dari kombinasi nilai rata-rata dan standar deviasi yang dihitung dari kumpulan data cacat dalam periode yang ditinjau dengan $T^2 = \mu_0 = 4,05$, $Z_0 = 0$, $\lambda = 0,1$, $L\sigma = 28,7$ (rata-rata cacat dalam 15 periode), standar deviasi = 2,5 (hasil dari rata-rata standar deviasi jenis cacat).

Tabel 5 Subgrub untuk grafik MEWMA

Subgrub	Xi	Zi	UCL	CL	LCL	
1	47	Z1	4,70	20,1	4,05	-12,0
2	60	Z2	10,23	20,1	4,05	-12,0
3	56	Z3	14,81	20,1	4,05	-12,0
4	23	Z4	15,63	20,1	4,05	-12,0
5	36	Z5	17,66	20,1	4,05	-12,0
6	74	Z6	23,30	20,1	4,05	-12,0
7	0	Z7	20,97	20,1	4,05	-12,0
8	0	Z8	18,87	20,1	4,05	-12,0
9	0	Z9	16,98	20,1	4,05	-12,0
10	68	Z10	27,77	20,1	4,05	-12,0
11	9	Z11	25,89	20,1	4,05	-12,0
12	0	Z12	23,30	20,1	4,05	-12,0
13	26	Z13	25,90	20,1	4,05	-12,0
14	10	Z14	24,31	20,1	4,05	-12,0
15	21	Z15	23,98	20,1	4,05	-12,0



Gambar 3 Grafik MEWMA

Melihat Gambar 3, yang merupakan grafik MEWMA untuk proses produksi, kita bisa melihat bahwa terjadi fluktuasi nilai Z_j dengan titik puncaknya pada periode ke-10 sebesar 27,77, yang jauh melampaui UCL yang ditetapkan sebesar 20,1. Ini menandakan adanya pergeseran signifikan dalam proses yang bisa dikaitkan dengan faktor-faktor internal atau eksternal yang mempengaruhi kualitas produksi.

Sampel pada periode ke-6 hingga ke-15 mengindikasikan nilai-nilai Z_j yang terus berada di atas UCL, mengisyaratkan bahwa proses tersebut belum stabil dan mengalami variasi yang mungkin tidak terkontrol. Variabilitas yang terlihat dalam grafik, yang ditandai dengan pergerakan naik dan turun, menggarisbawahi pentingnya intervensi perbaikan proses untuk mengurangi variasi dan mengarahkan proses kembali ke kondisi yang terkontrol. Sampel ke-7 hingga ke-9 dan ke-12 yang memiliki proporsi nol seharusnya tidak dimasukkan dalam perhitungan MEWMA

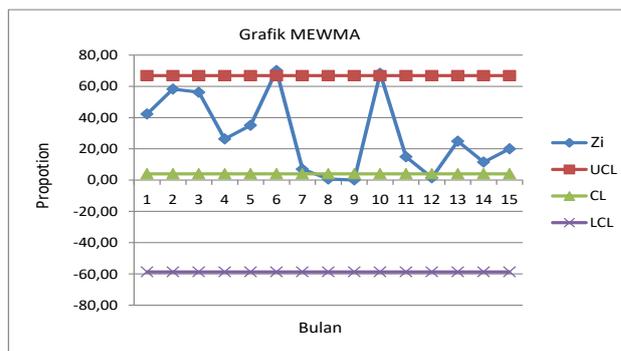
atau diinterpretasikan dengan hati-hati, karena nol dapat mengindikasikan tidak adanya produksi atau pengumpulan data yang tidak lengkap.

Pada akhirnya, hasil analisis ini mengarah kepada rekomendasi untuk peninjauan proses produksi, di mana langkah-langkah harus diambil untuk mengidentifikasi dan mengatasi penyebab variabilitas yang mengganggu. Dengan nilai λ sebesar 0,1 seperti pada Tabel 6, MEWMA memberikan kepekaan terhadap perubahan yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai λ yang lebih tinggi, dan oleh karena itu perlu pertimbangan ulang untuk menyesuaikan nilai ini guna meningkatkan deteksi perubahan proses yang lebih halus. Dalam konteks perbaikan berkelanjutan, analisis MEWMA seperti yang disajikan dapat menjadi alat yang ampuh untuk mendeteksi dan mengatasi masalah kualitas dalam proses manufaktur secara tepat waktu.

Tabel 6 Selisih Pembobotan

Pembobotan (λ)	Nilai UCL	Selisih	<i>Out-of-Control</i>
0,1	20,4	-	7
0,2	28	0,23	5
0,3	34,2	6,2	4
0,4	39,9	5,7	3
0,5	45,5	5,6	3
0,6	51	5,5	2
0,7	56,7	5,7	2
0,8	62,6	5,9	2
0,9	63,7	6,4	0

Berdasarkan Tabel 6 dapat dipilih pembobotan yang optimum dengan $\lambda = 0,9$ dengan *Out-of-Control* 0 terhadap nilai UCL 63,7. Nilai pembobotan sebesar 0,9 dipilih sebagai pembobotan ideal karena peta kendali MEWMA dengan pembobotan 0,9 memenuhi kriteria pemilihan pembobotan optimal. Pada Gambar 4 ditampilkan grafik MEWMA dengan pembobotan 0,9.

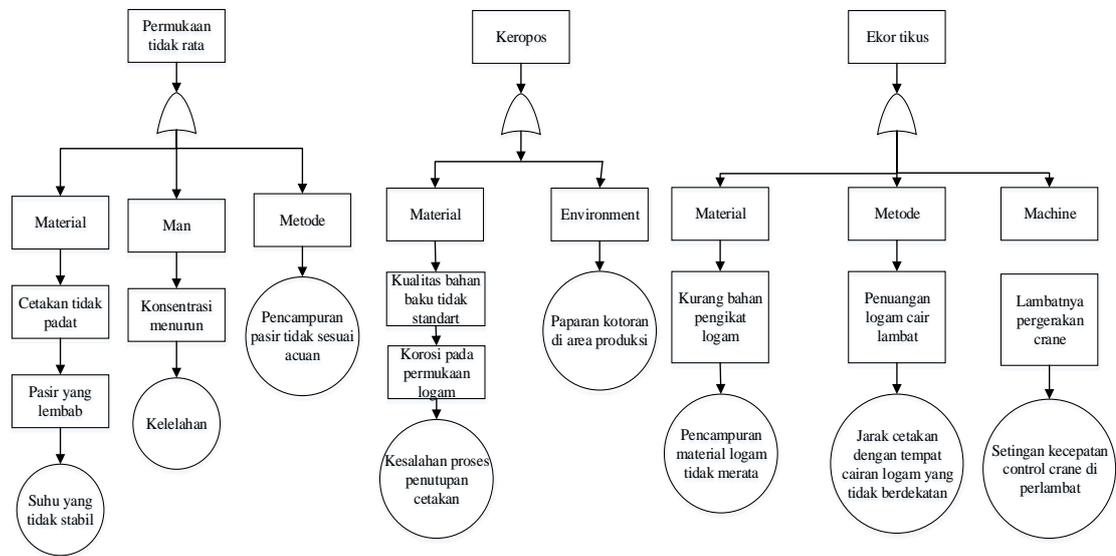


Gambar 4 Grafik MEWMA dengan bobot 0,9

Tahap Analyze

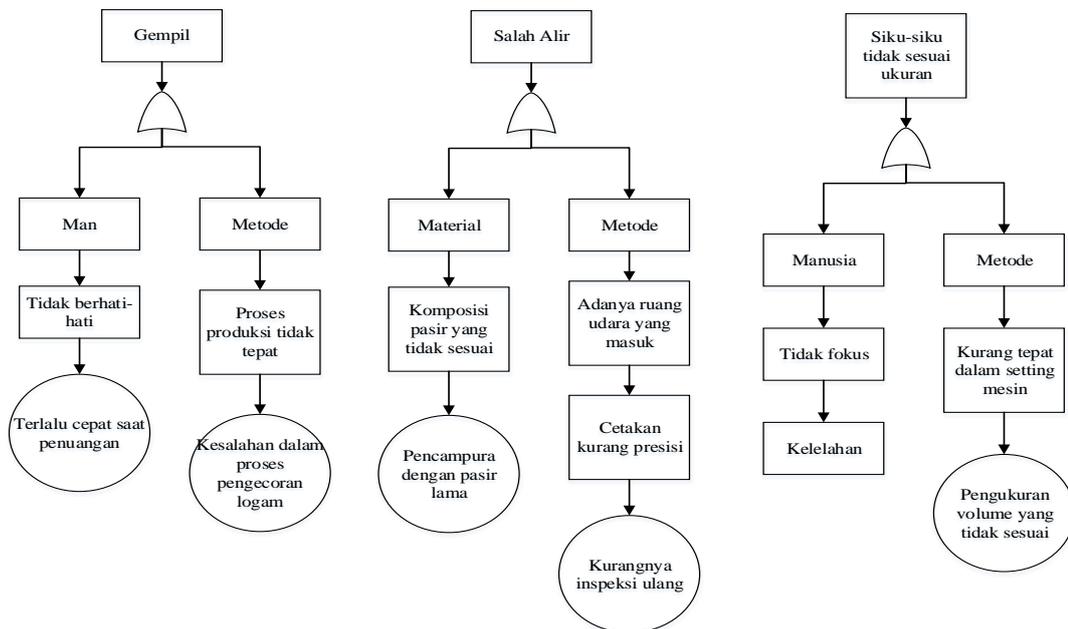
Berdasarkan hasil perhitungan pada tahap *measure*, maka langkah selanjutnya yaitu dilakukan analisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menentukan akar penyebab dari masalah yang ada. Dalam tahap ini, setiap jenis cacat dipecahkan menjadi komponen penyebabnya, termasuk faktor manusia, material, metode, dan lingkungan. Berikut adalah *Fault Tree Analysis* dari cacat yang diketahui:

1. Cacat permukaan tidak rata, keropos, dan ekor tikus dapat ditampilkan pada Gambar 6



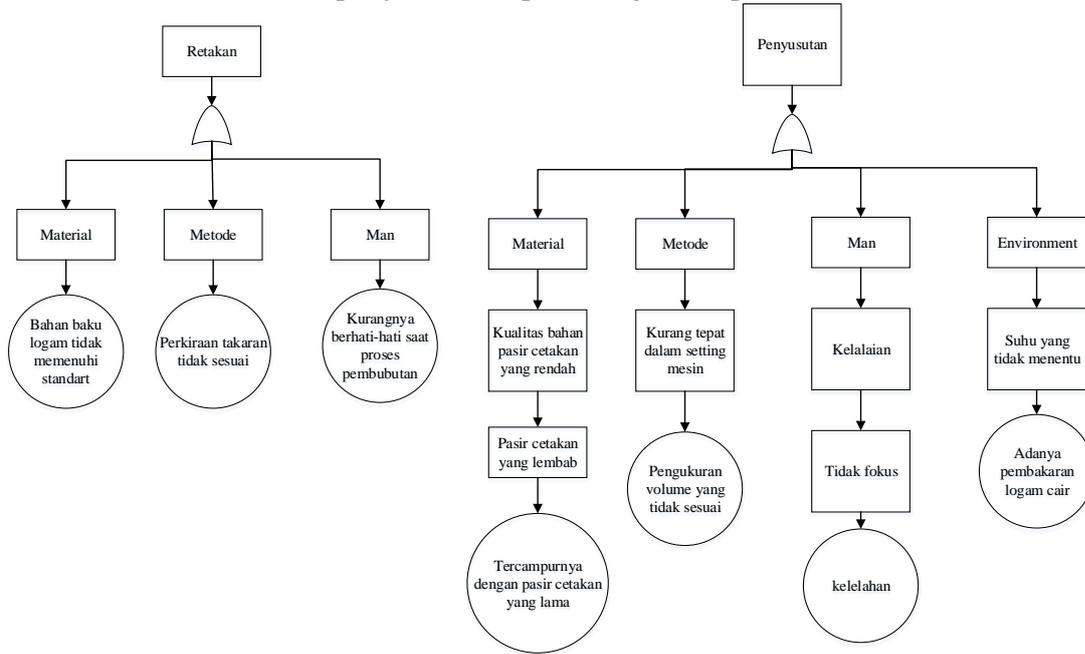
Gambar 6 FTA Defect Permukaan tidak rata, Keropos dan Ekor tikus

2. Cacat gempil, salah alir, dan siku-siku tidak sesuai ukuran dapat ditunjukkan pada Gambar 7



Gambar 7 FTA defect keropos

3. Cacat retakan dan penyusutan dapat ditunjukkan pada Gambar 8



Gambar 8 FTA defect Retakan dan Penyusutan

Tahap Improvement

Pada tahap perbaikan, setiap penyebab yang diidentifikasi dalam FTA ditindaklanjuti dengan rencana perbaikan yang terstruktur menggunakan pendekatan 5W+1H. Ini meliputi penentuan faktor spesifik yang perlu diperbaiki, termasuk pengoptimalan penggunaan bahan baku, perbaikan protokol pelatihan karyawan, dan perawatan preventif terhadap peralatan produksi. Pendekatan ini tidak hanya mengarahkan fokus pada tindakan perbaikan yang tepat tetapi juga memastikan keberlanjutan kualitas produk melalui pengawasan yang lebih baik dan prosedur kontrol kualitas yang lebih efektif. Pada Tabel 7 menunjukkan upaya tindak lanjut sebagai upaya perbaikan berdasarkan pendekatan 5W + 1H.

Tabel 7 5W + 1H

Waktu terjadi (When)	Defect terjadi (What)	Terjadinya defect (Where)	Penyebab (Why)		Penanggung jawab (Who)	Perbaikan (How)	
			Faktor Penyebab	Penyebab			
saat proses produksi berjalan	Permukaan tidak rata	Terjadi saat proses cetakan	Man	Konsentrasi menurun karena kelelahan	Pekerja bagian cetakan dan QC	pekerja lebih mengontrol daya tahan tubuh	
			Material	Cetakan kurang padat, pasir lembab dan suhu tidak stabil			pekerja bagian cetakan dan QA
			Method	Pencampuran pasir tidak sesuai acuan			
saat proses produksi berjalan	Keropos	Terjadi saat proses cetakan	Material	Kualitas bahan baku tidak sesuai standar, korosi pada permukaan logam, dan kesalahan proses penutupan	Pekerja bagian cetakan dan QA	Pastikan pemasok andal, sesuaikan spesifikasi bahan baku, dan periksa cetakan sebelum setiap siklus produksi	

Waktu terjadi (When)	Defect terjadi (What)	Terjadinya defect (Where)	Penyebab (Why)		Penanggung jawab (Who)	Perbaikan (How)
			Faktor Penyebab	Penyebab		
				cetakan		
			<i>Environment</i>	Paparan kotoran di area produksi	pekerja dan devisi lingkungan	Pastikan aliran material dan proses tidak menyebabkan kontaminasi silang
saat proses produksi berjalan	Ekor tikus	Terjadi saat proses produksi	<i>Material</i>	Kurangnya bahan pengikat logam dan pencampuran logam tidak merata	Pekerja dan QA	Lakukan tinjauan terhadap rasio campuran
			<i>Method</i>	Penuangan logam cair yang lambat dan jarak cetakan dengan tempat cairan logam tidak berdekatan	Pihak manajemen dan QA	Pastikan peralatan dapat menangani kecepatan penuangan yang diinginkan.
			<i>Machine</i>	Lambatnya pergerakan crane dan settingan crane yang diperlambat	Pihak manajemen dan QA	Lakukan pemeriksaan crane secara rutin
saat proses produksi berjalan	Gempil	Terjadi Saat proses produksi	<i>Man</i>	Tidak berhati-hati dan terlalu cepat saat penuangan	Pekerja dan karyawan	Pengawasan aktif selama proses penuangan
			<i>Method</i>	Proses produksi tidak tepat dan kesalahan dalam proses	Pekerja dan QA	Tetapkan standar operasional untuk setiap tahap proses produksi
saat proses produksi berjalan	Salah alir	Terjadi saat proses cetakan	<i>Material</i>	Komposisi pasir yang tidak sesuai dan penampuran dengan pasir lama	Pekerja dan QA	Pengujian dan analisis pasir secara rutin
			<i>Method</i>	Terdapat ruang udara karena cetakan kurang presisi dan kurang inspeksi ulang	Pekerja dan QA	Perketat pengawasan detail cetakan
saat proses produksi berjalan	Retakan	Terjadi saat proses cetakan dan finishing	<i>Material</i>	bahan baku logam tidak memenuhi standar	Pekerja dan QA	Terapkan sistem penyaringan atau pemisahan bahan baku sebelum digunakan dalam proses produksi.
			<i>Method</i>	Perkiraan takaran tidak sesuai	Pekerja	Mengikuti SOP dan formulasi dengan benar
			<i>Man</i>	Kurangnya berhati-hati saat proses	Pekerja	Meningkatkan kesadaran dan kehati-hatian

Waktu terjadi (When)	Defect terjadi (What)	Terjadinya defect (Where)	Penyebab (Why)		Penanggung jawab (Who)	Perbaikan (How)
			Faktor Penyebab	Penyebab		
saat proses produksi berjalan	Siku-siku tidak sesuai ukuran	Terjadi saat proses produksi	<i>Man</i>	Tidak fokus saat bekerja yang disebabkan karena kelelahan	Pekerja	Mengintegrasikan jeda singkat untuk merestorasi energi Pengukuran volume dengan cermat, mengacu pada petunjuk manual atau panduan teknis.
			<i>Method</i>	Kurang tepat dalam setting mesin dan pengukuran volume yang tidak sesuai	Pekerja	
saat proses produksi berjalan	Penyusutan	Terjadi saat proses produksi	<i>Material</i>	Kualitas pasir cetakan rendah karena cetakan lembab dan bercampur dengan pasir lama	Pekerja	Terapkan kontrol kualitas ketat agar mencapai pasir cetakan berkualitas tinggi. Pengaturan dan pengukuran harus mengacu pada petunjuk manual atau panduan teknis yang tersedia Meningkatkan kesadaran diri dan fokus selama bekerja. Pastikan suhu tetap stabil dengan pengawasan yang baik
			<i>Method</i>	Kurang tepat dalam penyetingan mesin karena pengukuran volume tidak sesuai	Pekerja	
			<i>Man</i>	Kelalaian karena tidak fokus dan kelelahan	Pekerja	
			<i>Environment</i>	Suhu yang tidak menentu	Pekerja dan devisi lingkungan	

Tahap Control

Tahap *control* merupakan langkah vital dalam metode DMAIC yang bertujuan untuk menjamin keberlanjutan perbaikan proses dan kualitas produk (Wibisono dan Suteja, 2013). Untuk mencapai tujuan ini, perusahaan perlu mengimplementasikan serangkaian tindakan pengendalian yang dapat dipantau dan dievaluasi secara berkala sebagai berikut:

1. Pengawasan bahan baku dengan pengawasan bahan baku harus dilakukan secara ketat dan teratur untuk memastikan konsistensi kualitas produk yang dihasilkan. Pengawasan ini termasuk verifikasi sertifikat kualitas dari *supplier* dan inspeksi visual sebelum bahan digunakan dalam produksi.
2. Respons cepat atas kesalahan produksi dengan mengembangkan sistem tanggap darurat untuk kesalahan produksi agar dapat ditangani secara efisien dan segera. Sistem ini harus meliputi protokol perbaikan serta prosedur dokumentasi untuk pelacakan dan analisis lebih lanjut.
3. Pemeliharaan mesin dengan menetapkan jadwal pemeliharaan rutin untuk semua peralatan produksi dengan memastikan bahwa pemeriksaan dan pemeliharaan dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan untuk mencegah downtime dan kerusakan yang tidak terduga.
4. Pemeriksaan proses produksi dengan menugaskan tim khusus untuk melakukan pemeriksaan proses produksi yang berlangsung, guna memastikan bahwa setiap tahapan produksi berjalan sesuai dengan standar operasional yang ditentukan.

5. Pendidikan SOP dengan menyelenggarakan sesi pelatihan rutin untuk memastikan bahwa seluruh tenaga kerja memahami dan dapat menerapkan *Standard Operating Procedure (SOP)* dengan benar dan konsisten.
6. Kesejahteraan tenaga kerja dengan menyediakan lingkungan kerja yang mendukung, termasuk penjadwalan yang memadai, istirahat yang cukup, dan fasilitas kesehatan, untuk memastikan bahwa tenaga kerja berada dalam kondisi yang optimal untuk bekerja.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data, penelitian ini menyimpulkan bahwa produk EQ Spacing memiliki delapan jenis cacat dominan, dengan cacat permukaan yang tidak rata sebagai yang paling sering terjadi. Meski proses produksi mencapai tingkat Sigma 3,5 dengan DPMO rata-rata 24.268, menunjukkan ada peluang signifikan untuk mengurangi cacat dan meningkatkan efisiensi. Analisis MEWMA menandakan adanya periode produksi yang melewati batas UCL, menyarankan bahwa proses belum sepenuhnya terkontrol. Rekomendasi untuk perusahaan meliputi pemeriksaan rutin dan pemeliharaan di setiap tahap produksi untuk menjaga fungsi peralatan dan bahan pada level optimal. Untuk penelitian mendatang, ada kebutuhan untuk mengeksplorasi metode pengurangan limbah dalam produksi yang dapat memberikan manfaat dalam efisiensi dan pengurangan biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amadasun, D. O. E. dan Mutezo, A. T. (2022) "Effect of market-driven strategies on the competitive growth of SMEs in Lesotho," *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 11(1), hal. 21. doi: 10.1186/s13731-022-00217-4.
- Anuradha, G., Santhinigopalakrishnan, S. dan Sumathy, S. (2021) "Evaluation of Quality Control Data of Clinical Chemistry Parameters using Six Sigma Metrics Tool in Clinical Laboratory," *Journal of Pharmaceutical Research International*, hal. 305–309. doi: 10.9734/jpri/2021/v33i55A33837.
- Arinda, A., Mustafid, M. dan Mukid, M. A. (2016) "Penerapan Diagram Kontrol Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (Mewma) Pada Pengendalian Karakteristik Kualitas Air (Studi Kasus: Instalasi Pengolahan Air III PDAM Tirta Moedal Kota Semarang)," *Jurnal Gaussian*, 5(1), hal. 31–40. doi: 10.14710/j.gauss.5.1.31-40.
- Austin, D., Lauro, M. D. dan Herwindiati, D. E. (2020) "Perancangan Bagan Kendali Multivariate Dengan Metode T 2 Hotelling Untuk IPK dan Lama Studi Mahasiswa TI Universitas," *Jurnal Komputer dan Informatika*, 15(1), hal. 317-325.
- Carbone, F. *et al.* (2020) "Competitiveness and competitive advantages of chestnut timber laminated products," *Annals of Forest Science*, 77(2), hal. 51. doi: 10.1007/s13595-020-00950-4.
- Fatikha, C., Rahayu, M. dan Sumiati, S. (2021) "Effect Of Entrepreneurship Orientation And Market Orientation On Marketing Performance Through

- Competitive Advantage,” *Jurnal Aplikasi Manajemen*, 19(2), hal. 448–458. doi: 10.21776/ub.jam.2021.019.02.20.
- Joes, S., Salomon, L. L. dan Daywin, F. J. (2023) “Penerapan Lean Six Sigma Untuk Meningkatkan Efisiensi dan Kualitas Produk Kemasan Food Pail Pada Perusahaan Percetakan,” *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 10(3), hal. 224–236. doi: 10.24912/jitiuntar.v10i3.21188.
- Mia, M. R. (2023) “Market competition, capital regulation and cost of financial intermediation: an empirical study on the banking sector of Bangladesh,” *Asian Journal of Economics and Banking*, 7(2), hal. 251–276. doi: 10.1108/AJEB-03-2022-0028.
- Prihandono, D., Pandu Wijaya, A. dan Afiffah Ainii, A. (2021) “The Role Of Competitive Advantage To Enhance Marketing Performance: A Study On Indonesian MSME Business Community,” *Jurnal Bisnis dan Manajemen*, 22(2), hal. 147–161. doi: 10.24198/jbm.v22i2.882.
- Purnomo, A. (2020) “Perbaikan Proses Kerja Menggunakan Metode Six Sigma Pada Bagian Pemasaran Kantor Pos Bandung,” *Jurnal Logistik Bisnis*, 10(02), hal. 46–51. doi: 10.46369/logistik.v10i02.1123.
- Putri, A. S. dan Primananda, F. (2021) “Quality Control on Minimizing Defect Product on 20 OE Yarn,” *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 20(1), hal. 81–88. doi: 10.23917/jiti.v20i1.12443.
- Rahmadi, I. dan Bernik, M. (2018) “Penerapan Lean Six Sigma Pada UKM Untuk Meningkatkan Kualitas Produk Pendukung Perangkat Telekomunikasi,” *ISEI Business and Management Review*, II(1), hal. 9–24.
- Shin, I. dan Park, S. (2019) “The relation between product market competition and corporate tax avoidance: evidence from Korea,” *Investment Management and Financial Innovations*, 16(2), hal. 313–325. doi: 10.21511/imfi.16(2).2019.26.
- Siddique, A., Vlassopoulos, M. dan Zenou, Y. (2020) “Market Competition and Discrimination,” *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.3586133.
- Suhartini, Basjir, M. dan Hariyono, A. T. (2020) “Pengendalian Kualitas dengan Pendekatan Six Sigma dan New Seventools sebagai Upaya Perbaikan Produk,” *Journal of Research and Technology*, 6(2), hal. 297–311. doi: 10.55732/jrt.v6i2.373.
- Suherman, U. D. (2021) “Effect of Relationship Marketing and Competitive Advantage on Marketing Performance (Survey on Cellphone Customers in Bandung),” *Jurnal Manajemen Indonesia*, 21(2), hal. 191. doi: 10.25124/jmi.v21i2.2293.
- Wahyani, W., Chobir, A. dan Rahmanto, D. D. (2013) “Penerapan Metode Six Sigma Dengan Konsep Dmaic Sebagai Alat Pengendali Kualitas,” *Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS)*. Tersedia pada: <https://jurnal.itats.ac.id/wp-content/uploads/2013/06/PENERAPAN-METODE-SIX-SIGMA-DENGAN-KONSEP-DMAIC-SEBAGAI-ALAT-PENGENDALI-KUALITAS1.pdf>.
- Wibisono, Y. Y. dan Suteja, T. (2013) “Implementasi Metode DMAIC-Six Sigma dalam Perbaikan Mutu di Industri Kecil Menengah: Studi Kasus Perbaikan Mutu Produk Spring Adjuster di PT. X,” in *Seminar Nasional IENACO*, hal.

1–8. Tersedia pada: <http://hdl.handle.net/11617/3559>.

Wulansari, I. T. dan Karnaningroem, N. (2019) “Study of the Application of the RCA and Six Sigma Method for Quality of the Kalimas River in Surabaya (Prestasi Park-Petekan Bridge Segment),” *IPTEK Journal of Proceedings Series*, (5), hal. 161. doi: 10.12962/j23546026.y2019i5.6295.

Yunindah, I. *et al.* (2016) “Analisis Strategi Bersaing pada PT Citra Surya Pacific,” *Agora*, 4(2), hal. 188–196.