



Integrasi Six Sigma (DMAIC) dan Metode Taguchi untuk Optimasi Parameter Proses dan Reduksi *Defect* pada Produksi Aluminium Foil

Zulkani Sinaga¹, Achmad Muhazir^{2*}, Dede Rukmayadi³, Afgan Sandy Putra⁴

¹²³⁴Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, Jakarta, Indonesia 12550

*Corresponding author: achmad.muhammad@ubharajaya.ac.id

ARTICLE INFO

Received: 26-03-2026
Revision: 25-04-2026
Accepted: 02-05-2026

Keywords:

Six Sigma
Taguchi Method
Quality Control
Aluminium Foil
Process Optimization

ABSTRACT

The high defect rate in aluminium foil production can reduce production efficiency and product quality. This study aims to analyze the main causes of defects and determine optimal process parameters to improve aluminium foil production quality. The research applies the Six Sigma approach through the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) framework combined with the Taguchi method for process parameter optimization. In the measurement stage, the process capability analysis shows a Defects per Million Opportunities (DPMO) value of 85,084 with a sigma level of 3.116, indicating that the process performance is still at a moderate capability level. Root cause analysis using fishbone diagrams and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) identifies temperature and machine speed as the dominant factors affecting defect occurrence. Furthermore, Taguchi experimental design using an L9 orthogonal array is applied to determine the optimal parameter combination. The results show that the optimal parameters are a temperature of 154 °C and a machine speed of 250.208 m/min. The implementation of these parameters reduces defect levels, where the DPMO decreases to approximately 55,304 and the sigma level increases to about 3.35, indicating an improvement in process capability and stability. This improvement is also supported by the control chart results, which show that the process is within statistical control limits after improvement. Therefore, the integration of Six Sigma and Taguchi methods is proven effective in reducing defects, improving process capability, and enhancing the overall quality of aluminium foil production.

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur saat ini menghadapi tantangan yang semakin kompleks dalam mempertahankan kualitas produk di tengah meningkatnya persaingan global dan tuntutan efisiensi produksi. Kualitas produk merupakan faktor penting yang menentukan daya saing perusahaan karena berhubungan langsung dengan kepuasan pelanggan, efisiensi proses produksi, serta keberlanjutan bisnis perusahaan. Tingginya tingkat kecacatan produk dapat menyebabkan peningkatan biaya produksi, pemborosan material, serta menurunkan produktivitas proses manufaktur. Oleh karena itu, perusahaan perlu menerapkan sistem pengendalian kualitas yang efektif untuk mengurangi variasi proses serta meningkatkan stabilitas produksi [1]; [2]. Dalam praktiknya, pendekatan berbasis statistik seperti Six Sigma telah banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk meningkatkan kapabilitas proses serta menurunkan tingkat kecacatan produk melalui analisis data yang sistematis [3].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan metode Six Sigma mampu meningkatkan kualitas proses produksi melalui identifikasi akar penyebab kecacatan dan implementasi perbaikan proses secara berkelanjutan. Omprakash, menunjukkan bahwa pendekatan DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) mampu menurunkan tingkat kecacatan pada proses manufaktur logam secara signifikan [4]. Selain itu, penelitian lain menyatakan bahwa penggunaan alat analisis kualitas seperti control chart, diagram Pareto, fishbone diagram, dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dalam metode Six Sigma dapat membantu perusahaan dalam mengidentifikasi penyebab utama kegagalan proses produksi [5]. Di sisi lain, metode Taguchi juga banyak digunakan dalam penelitian kualitas untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal melalui pendekatan Design of Experiment (DoE) yang efisien dan sistematis [6]; [7]. Integrasi antara metode Six Sigma dan Taguchi dinilai mampu meningkatkan kualitas proses

produksi secara lebih komprehensif karena kedua metode tersebut saling melengkapi dalam analisis penyebab cacat dan optimasi parameter proses [8].

Permasalahan kualitas juga terjadi pada industri aluminium foil. Berdasarkan studi pendahuluan yang dilakukan di PT Indoaluminium Intikarsa Industri, diketahui bahwa proses produksi aluminium foil masih mengalami tingkat kecacatan produk yang cukup tinggi. Data produksi tahun 2025 menunjukkan bahwa selama periode Januari hingga Desember terjadi 1.412 kasus kecacatan produk pada beberapa mesin produksi. Analisis Pareto menunjukkan bahwa

mesin Vonroll merupakan penyumbang kecacatan terbesar dengan jumlah 51% dari total kecacatan produksi. Selain itu, proses produksi aluminium foil juga menghasilkan beberapa jenis cacat utama seperti herringbone, flatness, bintik-bintik, dan garis hitam yang mempengaruhi kualitas produk akhir. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses produksi masih memiliki variasi proses yang cukup tinggi sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi penyebab utama kecacatan produk serta menentukan parameter proses yang optimal dalam produksi aluminium foil.

Tabel 1. Data Kecacatan per mesin tahun 2025

Bulan	Blaw-Knox (Roll)	Vonroll (Roll)	Pittsburgh (Roll)	Kobe 1 (Roll)	Kobe 2 (Roll)	Total Defect (Roll)
Januari	0	12	7	0	0	19
Februari	0	9	7	0	0	16
Maret	0	10	9	0	0	19
April	0	7	3	0	0	10
Mei	2	6	21	0	0	29
Juni	2	6	18	0	0	26
Juli	2	6	21	3	0	32
Agustus	4	47	67	0	10	128
September	0	128	91	4	38	261
Oktober	0	160	71	4	23	258
November	0	178	148	4	5	335
Desember	0	146	81	4	48	279
Total Kecacatan	10	715	544	19	124	1412

Sumber : (PT. Indoaluminium Intikarsa Industri 2025)

Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah membahas penerapan Six Sigma maupun metode Taguchi dalam peningkatan kualitas proses manufaktur, sebagian penelitian masih berfokus pada penggunaan salah satu metode secara terpisah. Berdasarkan uraian tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana tingkat kapabilitas proses produksi aluminium foil pada mesin Vonroll berdasarkan pendekatan Six Sigma?
2. Apa saja faktor penyebab utama kecacatan produk aluminium foil berdasarkan analisis DMAIC dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)?
3. Bagaimana kombinasi parameter proses yang optimal menggunakan metode Taguchi untuk meminimalkan kecacatan produk?
4. Bagaimana integrasi metode Six Sigma dan Taguchi dapat meningkatkan kualitas proses produksi aluminium foil?

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis tingkat kapabilitas proses produksi aluminium foil menggunakan pendekatan Six Sigma.
2. Mengidentifikasi penyebab utama kecacatan produk menggunakan metode DMAIC dan FMEA.
3. Menentukan parameter proses yang optimal menggunakan metode Taguchi.
4. Mengintegrasikan metode Six Sigma dan Taguchi untuk meningkatkan kualitas proses produksi serta menurunkan tingkat kecacatan produk.

Penelitian ini melengkapi penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan metode Six Sigma untuk mengidentifikasi penyebab kecacatan produk tanpa melakukan optimasi parameter proses secara eksperimental [9]. Sementara itu, penelitian lain lebih menekankan pada penggunaan metode Taguchi untuk optimasi parameter proses namun belum mengintegrasikannya dengan pendekatan analisis kualitas seperti DMAIC dan FMEA yang mampu mengidentifikasi akar penyebab kecacatan secara sistematis [10]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengintegrasikan kedua metode tersebut untuk memperoleh pendekatan peningkatan kualitas yang lebih komprehensif dalam proses produksi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tujuan untuk menganalisis dan meningkatkan kualitas proses produksi aluminium foil melalui pendekatan berbasis statistik. Metode kuantitatif digunakan karena mampu mengolah data numerik secara sistematis untuk mengetahui hubungan antar variabel serta mengevaluasi kinerja

proses produksi [2]. Penelitian ini dilakukan di PT XYZ yang berlokasi di Bekasi, Jawa Barat, Indonesia, dengan objek penelitian berupa proses produksi aluminium foil pada mesin Vonroll yang memiliki tingkat kecacatan tertinggi dibandingkan mesin lainnya. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Six Sigma dengan tahapan DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) yang dikombinasikan dengan metode Taguchi untuk optimasi parameter proses produksi, khususnya pada parameter suhu dan kecepatan mesin. Metode Six Sigma telah terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas dan mengurangi variasi proses produksi di industri manufaktur [1]; [3].

2.2. Sumber Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses produksi aluminium foil, wawancara dengan operator dan bagian quality control, serta kegiatan brainstorming untuk menentukan nilai Severity, Occurrence, dan Detection dalam analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Sementara itu, data sekunder diperoleh dari perusahaan yang meliputi data produksi aluminium foil tahun 2025, data kecacatan produk pada setiap mesin produksi, serta data parameter proses mesin Vonroll seperti suhu dan kecepatan mesin. Penggunaan kombinasi data primer dan sekunder bertujuan untuk meningkatkan validitas hasil penelitian [4].

2.3. Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Six Sigma dengan pendekatan DMAIC yang dikombinasikan dengan metode Taguchi. Six Sigma merupakan metode peningkatan kualitas yang berfokus pada pengurangan variasi proses dan peningkatan kapabilitas proses melalui analisis statistik [1]; [15]. Sementara itu, metode Taguchi digunakan untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal melalui desain eksperimen yang efisien [6], tahapan penelitian terdiri dari:

1. Define
2. Measure
3. Analyze
4. Improve
5. Control

2.4. Tahapan Metode Six Sigma (DMAIC)

2.4.1. Tahap Define

Tahap Define bertujuan untuk mengidentifikasi masalah kualitas yang terjadi dalam proses produksi serta menentukan karakteristik kualitas yang kritis (Critical to Quality / CTQ). Pada tahap ini digunakan alat bantu seperti diagram SIPOC untuk memetakan proses produksi secara menyeluruh [3]; [17].

2.4.2. Tahap Measure

Tahap Measure dilakukan untuk mengukur kinerja proses produksi menggunakan parameter statistik seperti peta kendali P, Defect per Unit (DPU), Defect per Opportunity (DPO), dan Defect per Million Opportunities (DPMO). DPMO digunakan untuk mengukur tingkat kecacatan dalam satu juta peluang dan menjadi dasar dalam menentukan level sigma [2].

1. Peta Kendali P

Peta kendali P digunakan untuk memonitor proporsi cacat dalam suatu proses produksi.

Rumus garis tengah (CL)

$$CL = \bar{p} \tag{1}$$

Rumus batas kendali atas (UCL)

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \tag{2}$$

Rumus batas kendali bawah (LCL)

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

Rumus proporsi cacat

$$p = \frac{d}{n} \tag{4}$$

Dimana, p merupakan proporsi cacat, d adalah jumlah unit cacat yang ditemukan, n merupakan jumlah unit atau sampel yang diperiksa, CL adalah garis tengah (Center Line), UCL merupakan batas kendali atas (Upper Control Limit), dan LCL adalah batas kendali bawah (Lower Control Limit).

2. Defect Per Unit (DPU)

Defect Per Unit (DPU) adalah ukuran yang digunakan untuk menunjukkan rata-rata jumlah cacat yang terjadi pada setiap unit produk yang dihasilkan dalam suatu proses produksi, didefinisikan:

$$DPU = \frac{D}{U} \tag{5}$$

DPU menyatakan jumlah cacat rata-rata per unit produk, D menunjukkan jumlah total defect atau cacat yang ditemukan, dan U merupakan jumlah unit produk yang diproduksi atau diperiksa.

3. Defect Per Opportunity (DPO)

Defect Per Opportunity (DPO) adalah ukuran yang digunakan untuk menunjukkan jumlah cacat yang terjadi dibandingkan dengan jumlah peluang terjadinya cacat dalam suatu proses produksi. DPO digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemungkinan terjadinya cacat pada setiap kesempatan atau peluang cacat dalam satu unit produk.

$$DPO = \frac{D}{U \times O} \tag{6}$$

DPO menyatakan jumlah cacat per peluang terjadinya cacat, D menunjukkan jumlah total defect yang ditemukan, U merupakan jumlah unit yang diperiksa atau diproduksi, dan O adalah jumlah peluang terjadinya cacat pada setiap unit produk.

4. Defect per Million Opportunities (DPMO)

Defect per Million Opportunities (DPMO) adalah ukuran yang digunakan untuk menunjukkan jumlah cacat yang terjadi dalam satu juta peluang terjadinya cacat pada suatu proses produksi. DPMO digunakan untuk menilai tingkat kinerja kualitas proses serta menjadi dasar dalam menentukan level sigma pada metode Six Sigma.

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \tag{7}$$

Nilai DPMO kemudian dikonversi menjadi level sigma untuk mengetahui kapabilitas proses produksi.

2.4.3. Tahap Analyze

Tahap Analyze bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab kecacatan produk menggunakan diagram fishbone dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Diagram fishbone digunakan untuk mengelompokkan penyebab masalah berdasarkan faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan [11].

1. Diagram Fishbone

Diagram fishbone digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kecacatan berdasarkan beberapa faktor utama: Man, Machine, Method, Material dan Environment.

2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA digunakan untuk menentukan prioritas risiko kegagalan proses produksi, komponen paling kritis ditandai dengan Risk Priority Number (RPN) terbesar, dimana:

$$RPN = S \times O \times D$$

Dimana, S adalah Severity (tingkat keparahan), O adalah Occurance (peluang kejadian), dan D adalah Detection (tingkat pendeteksian cacat).

2.4.4 Tahap Improve

Pada tahap Improve dilakukan optimasi parameter proses menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi menggunakan Orthogonal Array (OA) untuk menentukan kombinasi parameter proses optimal [7]; [14]. Dalam penelitian ini digunakan Orthogonal Array L9 untuk menguji kombinasi parameter:

- Suhu mesin
- Kecepatan mesin

Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)

Rumus S/N Ratio digunakan untuk menentukan kombinasi parameter terbaik [16].

Smaller The Better

$$S/N = - \log \left(\frac{1}{n} \sum_i y_i^2 \right) \tag{8}$$

S/N menyatakan nilai perbandingan antara sinyal dan gangguan yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas hasil eksperimen, n menunjukkan jumlah eksperimen yang dilakukan, dan y merupakan nilai hasil dari setiap percobaan atau eksperimen.

Analisis hasil eksperimen kemudian dilanjutkan dengan ANOVA (Analysis of Variance) untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap kecacatan produk.

2.4.5 Tahap Control

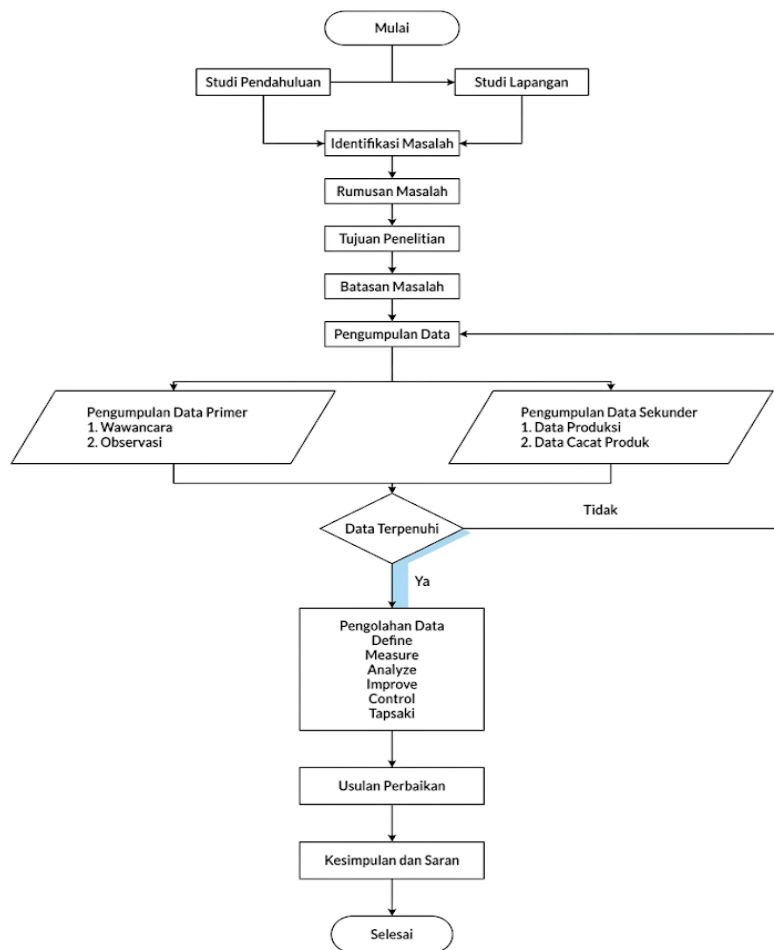
Tahap Control bertujuan untuk memastikan bahwa perbaikan yang telah dilakukan dapat dipertahankan dalam jangka panjang. Pada tahap ini digunakan kembali peta kendali P untuk memonitor stabilitas proses setelah perbaikan dilakukan [12]; [13].

2.5. Tahapan Taguchi

Metode Taguchi pada penelitian ini digunakan pada tahap *Improve* dalam kerangka Six Sigma (DMAIC) untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal dalam meminimalkan kecacatan produk aluminium foil. Tahapan metode Taguchi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan faktor dan level
Faktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu mesin dan kecepatan mesin sebagai parameter yang paling berpengaruh terhadap kecacatan, khususnya cacat *herringbone*. Masing-masing faktor ditentukan dalam tiga level pengujian.
2. Penentuan desain eksperimen
Desain eksperimen menggunakan *Orthogonal Array* (OA) L9 (3^2) yang dipilih karena sesuai dengan jumlah faktor dan level, sehingga memungkinkan pengujian kombinasi parameter secara efisien dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit.
3. Pelaksanaan eksperimen
Eksperimen dilakukan berdasarkan kombinasi parameter yang telah ditentukan dalam matriks L9 dengan beberapa replikasi untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.
4. Perhitungan Signal-to-Noise Ratio (S/N Ratio)
Nilai S/N Ratio dihitung menggunakan karakteristik *smaller-the-better* karena tujuan penelitian adalah meminimalkan jumlah cacat. Nilai ini digunakan untuk menentukan kombinasi parameter yang paling optimal.
5. Analisis hasil dan penentuan parameter optimal
Analisis dilakukan berdasarkan nilai rata-rata S/N Ratio pada setiap level faktor untuk menentukan kombinasi parameter terbaik yang menghasilkan tingkat kecacatan paling rendah.
6. Analisis ANOVA
Analisis varians (ANOVA) digunakan untuk mengetahui tingkat pengaruh masing-masing faktor terhadap kecacatan produk serta menentukan faktor yang paling dominan.
7. Penentuan kombinasi optimal
Berdasarkan hasil analisis, diperoleh kombinasi parameter optimal yaitu suhu mesin 154°C dan kecepatan mesin 250,208 m/min yang menghasilkan tingkat kecacatan paling rendah.

2.6. Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis DMAIC

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan agar tujuan dari penelitian dapat tercapai dengan tepat. Adapun pengolahan data yang dilakukan meliputi metode *Six Sigma* DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) dan tahap *improve* pada *six sigma* menggunakan metode taguchi.

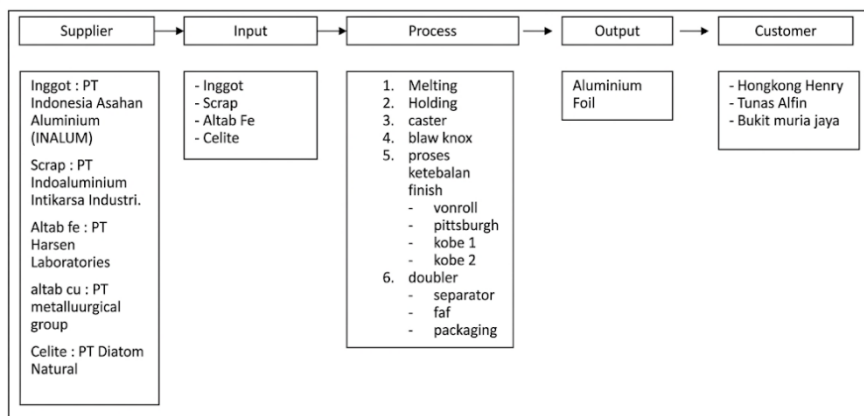
3.1.1. Tahap Define

Tahap Define bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan utama yang terjadi dalam proses produksi aluminium foil serta menentukan karakteristik kualitas yang paling berpengaruh terhadap kecacatan produk. Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap proses produksi aluminium foil menggunakan diagram SIPOC, penentuan Critical to Quality (CTQ), serta analisis alur proses produksi. Berdasarkan data historis produksi tahun 2025, diperoleh nilai rata-rata Defects per Million Opportunities (DPMO) sebesar 85.084 dengan tingkat kemampuan proses (sigma level) sebesar 3,116. Nilai ini menunjukkan bahwa kapabilitas proses produksi masih berada pada kategori sedang (moderate capability), di mana variasi proses masih cukup tinggi dan berpotensi menghasilkan kecacatan produk yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan yang sistematis untuk meningkatkan kapabilitas proses dan menurunkan tingkat kecacatan produk aluminium foil.

1 Diagram SIPOC

Diagram SIPOC digunakan untuk menggambarkan alur proses produksi aluminium foil mulai dari pemasok bahan baku hingga produk diterima oleh pelanggan. Diagram ini terdiri dari lima komponen utama yaitu Supplier, Input, Process, Output, dan Customer.

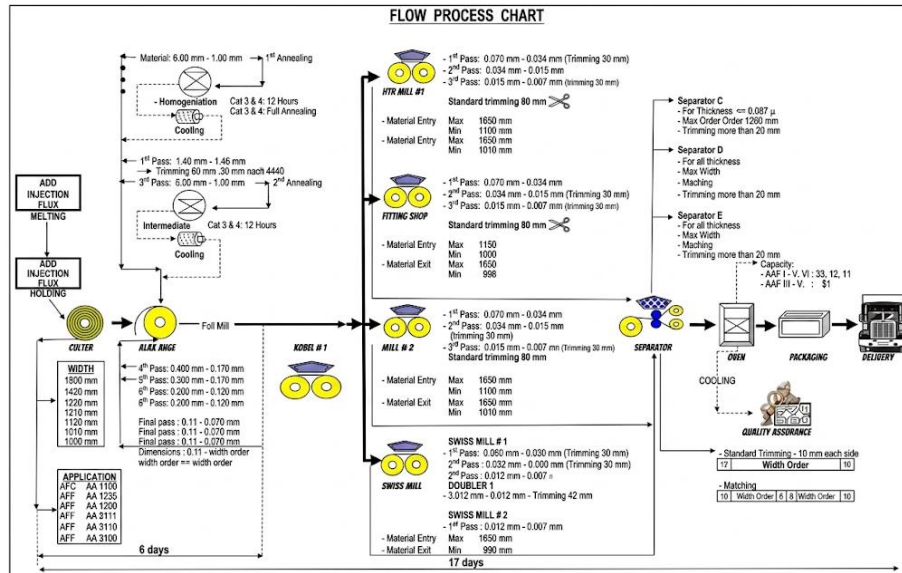
Supplier pada proses produksi aluminium foil adalah pemasok bahan baku aluminium. Input yang digunakan dalam proses produksi berupa bahan baku aluminium foil serta parameter proses produksi seperti suhu dan kecepatan mesin. Proses produksi aluminium foil dilakukan melalui beberapa tahapan proses pada mesin produksi hingga menghasilkan produk aluminium foil. Output dari proses produksi berupa aluminium foil yang siap digunakan untuk kebutuhan industri. Customer dari produk aluminium foil meliputi industri kemasan makanan dan farmasi.



Gambar 2. Diagram SIPOC

2. Flowchart Proses Produksi Aluminium Foil

Flowchart proses produksi aluminium foil digunakan untuk menggambarkan tahapan proses produksi secara sistematis.



Gambar 3. Flow Proses Chart aluminium foil

Tahapan proses produksi aluminium foil secara umum meliputi:

1. Persiapan bahan baku aluminium
2. Proses rolling aluminium
3. Proses pemanasan
4. Proses pendinginan
5. Proses finishing
6. Inspeksi kualitas produk

Setiap tahapan proses tersebut berpotensi menghasilkan kecacatan produk apabila parameter proses tidak dikendalikan dengan baik.

3. Identifikasi Critical to Quality (CTQ)

Critical to Quality (CTQ) merupakan karakteristik kualitas yang paling berpengaruh terhadap kualitas produk aluminium foil. Penentuan CTQ dilakukan berdasarkan analisis terhadap jenis kecacatan produk yang sering terjadi pada proses produksi aluminium foil.

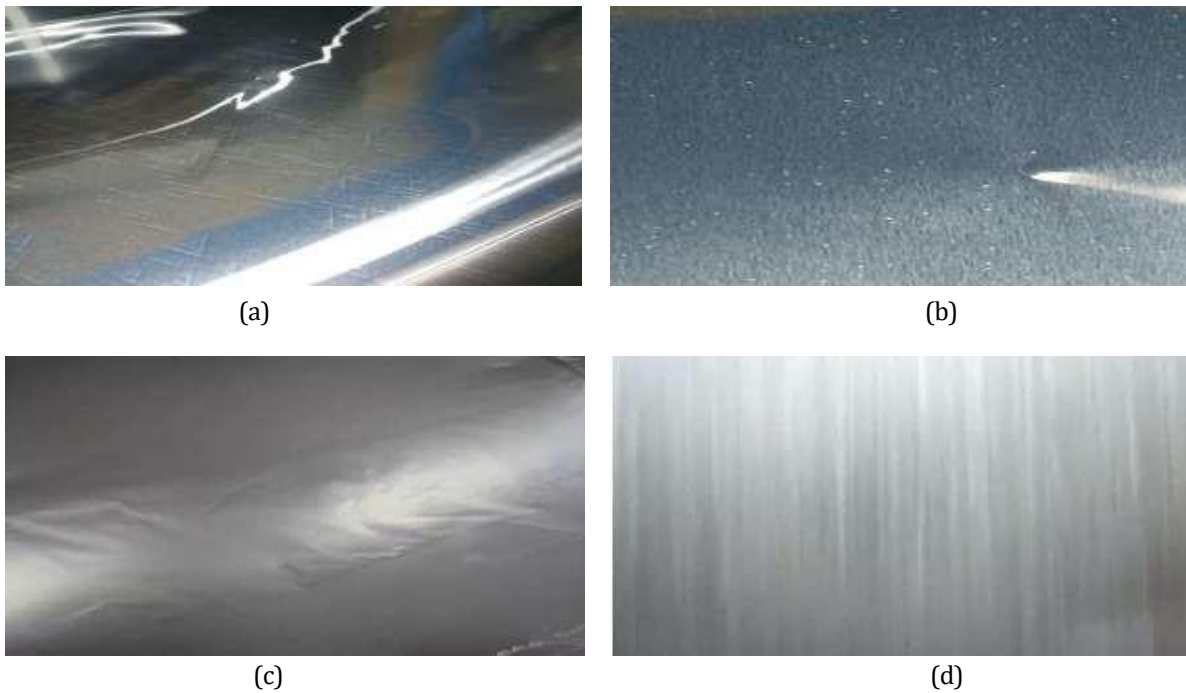
Tabel 2. Critical to Quality (CTQ)

No	Jenis Cacat	Keterangan
1	Herringbone	Permukaan aluminium foil bergelombang
2	Flatness	Permukaan aluminium foil tidak rata
3	Bintik-bintik	Terdapat titik pada permukaan foil
4	Garis Hitam	Terdapat garis hitam pada foil

Berdasarkan 1. dapat diketahui bahwa Critical to Quality (CTQ) pada proses produksi aluminium foil di PT Indoaluminium Intikarsa Industri terdiri dari 4 CTQ, yaitu : Herringbone, Bintik-bintik, Flatness, Garis Hitam. Cacat produk aluminium foil ini biasanya disebabkan oleh faktor-faktor, seperti kualitas bahan baku, suhu, waktu, dan lain-lain. Berikut ini merupakan penjelasan terkait dengan karakteristik jenis cacat pada produk aluminium foil.

a. Cacat Herringbone

ketebalan terjadi saat foil tidak sesuai dengan standar ketebalan yang telah ditentukan, baik terlalu tebal maupun terlalu tipis. Penyebab utamanya bisa berasal dari setelan mesin rolling yang tidak optimal, keausan roll, atau variasi input material.



Gambar 4. Kecacatan alumunium Foil a) cacat *Herringbone*, b) cacat Bintik-Bintik, c) cacat Flatness, d) cacat Garis Hitam (Black line)

b. Cacat bitnik-bintik

Bintik-bintik adalah cacat berupa partikel kecil yang tertinggal di permukaan foil, biasanya akibat kontaminasi pada permukaan roll, sisa pelumas, atau debu di lingkungan produksi

c. Cacat Flatness

Flatness adalah Kecacatan terjadi ketika permukaan aluminium foil tidak rata, bergelombang, atau mengalami ketidaksesuaian dimensi dalam hal kelurusan (flatness deviation) terhadap standar yang telah ditentukan.

d. Cacat Garis Hitam

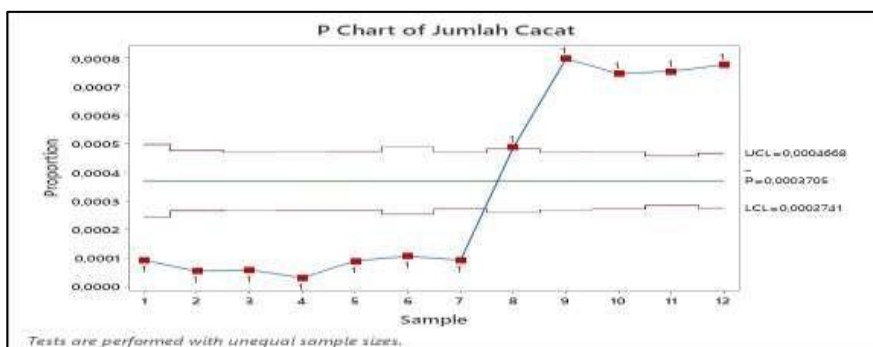
Garis hitam adalah cacat berupa goresan atau noda gelap pada permukaan foil. Penyebab utamanya termasuk pelumas yang terbakar, permukaan roll yang kotor, atau pengaturan suhu yang kurang optimal.

3.1.2. Tahap Measure

Pada tahapan six sigma sebelumnya yaitu tahap define telah mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada penelitian ini. Maka tahapan selanjutnya yaitu measure untuk mengetahui pengendalian statistik pada proses produksi aluminium foil menggunakan peta kendali p, menghitung nilai DPMO dan tingkat kemampuan sigma yang telah dicapai oleh PT Indoaluminium Intikarsa Industri.

1. Peta kendali

Peta kendali ini sangat penting untuk mendeteksi secara dini adanya variasi yang bersifat special cause (penyebab khusus) dibandingkan variasi common cause (penyebab umum), sehingga perusahaan dapat melakukan pengendalian dan perbaikan proses yang lebih terarah. Dengan menggunakan peta kendali p secara rutin, perusahaan dapat mempertahankan kualitas produk dan memastikan bahwa proses produksi tetap berada dalam batas kendali statistik. Selain itu, peta kendali membantu tim kualitas dalam mengidentifikasi tren atau pola penyimpangan yang berulang, serta menjadi dasar untuk melakukan tindakan preventif sebelum terjadi kerugian yang lebih besar.



Gambar 5. Grafik Peta Kendali - P

Lonjakan pada gambar grafik 5. menunjukkan adanya perubahan signifikan dalam proses atau potensi masalah yang

perlu segera diidentifikasi dan diperbaiki. Peningkatan proporsi cacat pada periode akhir ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti perubahan parameter mesin, ketidaksesuaian bahan baku, kesalahan operator, atau kurangnya pemeliharaan rutin pada peralatan. Oleh karena itu, diperlukan investigasi lebih lanjut terhadap kondisi produksi setelah sampel ke-7 untuk mengidentifikasi akar penyebab penyimpangan dan merancang tindakan perbaikan yang tepat

2. Pengukuran tingkat kemampuan sigma

Evaluasi tingkat kapabilitas sigma di PT Indoaluminium Intikarsa Industri menjadi langkah penting untuk menilai sejauh mana keberhasilan upaya peningkatan kualitas yang telah diterapkan. Penilaian performa proses ini dilakukan melalui pendekatan Six Sigma, dengan menggunakan metode kuantitatif berupa perhitungan DPMO (Defects per Million Opportunities) sebagai indikator utama. DPMO memberikan gambaran mengenai jumlah peluang terjadinya cacat dalam satu juta kesempatan, yang kemudian dikonversi menjadi tingkat sigma sebagai representasi kemampuan proses secara statistik. Pengukuran ini didasarkan pada data historis selama tahun 2025, yang mencerminkan kondisi nyata dari proses produksi aluminium foil., dengan menganalisis nilai DPMO dan sigma level.

Tabel 3. Perhitungan Nilai DPMO dan Tingkat Kemampuan Sigma

Bulan	Jumlah Produksi	Jumlah Cacat Produk	CTQ	DPU	DPO	DPMO	Sigma
Januari	205.253	19	4	0,0000926	0,0000231	23,142	3,493
Februari	300.196	16	4	0,0000533	0,0000133	13,325	3,717
Maret	327.276	19	4	0,0000581	0,0000145	14,514	3,683
April	325.706	10	4	0,0000307	0,0000077	7,676	3,924
Mei	322.557	29	4	0,0000899	0,0000225	22,477	3,505
Juni	245.241	26	4	0,0001060	0,0000265	26,505	3,435
Juli	345.378	32	4	0,0000927	0,0000232	23,163	3,492
Agustus	262.618	128	4	0,0004874	0,0001218	121,850	2,666
September	327.279	261	4	0,0007975	0,0001994	199,371	2,344
Oktober	346.061	258	4	0,0007455	0,0001864	186,383	2,391
November	444.679	335	4	0,0007534	0,0001883	188,338	2,384
Desember	359.038	279	4	0,0007771	0,0001943	194,269	2,362
Rata-rata						85.084	3.116

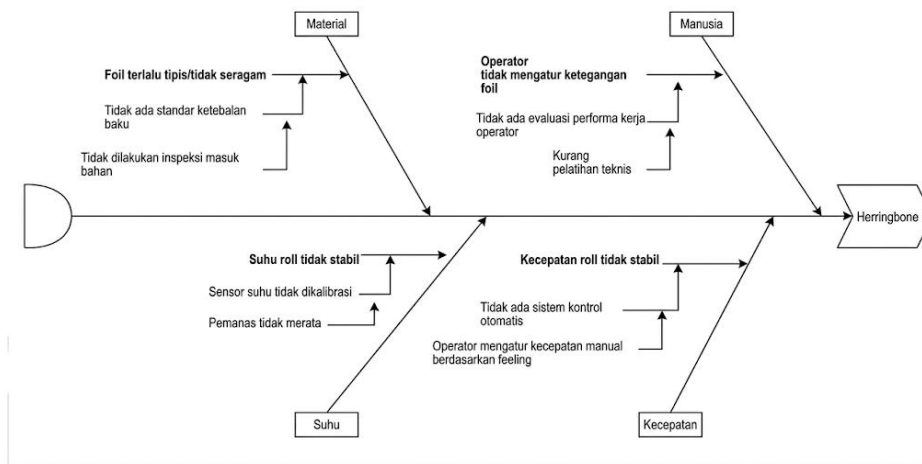
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proses produksi aluminium foil berada pada level sigma 3, yang menunjukkan bahwa kapabilitas proses masih berada pada tingkat sedang.

3.1.3. Tahap Analyze

1. Diagram Fishbone

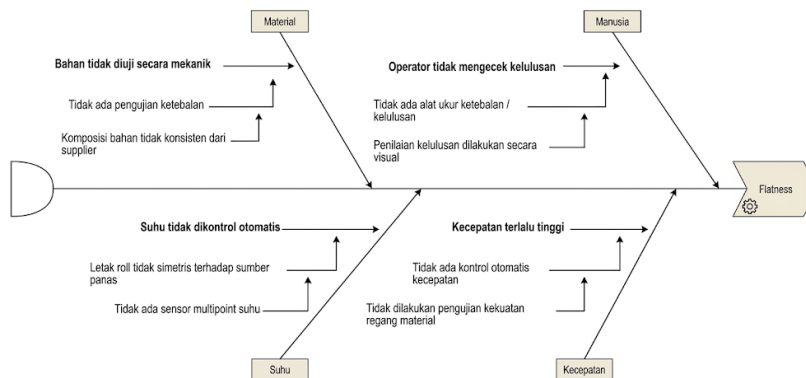
Pada tahap Analyze, dilakukan analisis terhadap penyebab utama terjadinya kecacatan produk aluminium foil berdasarkan hasil penilaian pekerja yang terlibat langsung dalam proses produksi. Penilaian ini diperoleh melalui kegiatan diskusi dan wawancara dengan operator produksi serta bagian quality control untuk mengetahui faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap munculnya kecacatan produk. Hasil penilaian tersebut kemudian dianalisis menggunakan diagram fishbone untuk mengidentifikasi faktor penyebab utama pada setiap jenis cacat produk aluminium foil. Berdasarkan hasil analisis, cacat herringbone merupakan jenis kecacatan yang paling dominan, ditandai dengan munculnya pola bergelombang atau tidak rata pada permukaan aluminium foil. Selain itu, berdasarkan analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), cacat herringbone memiliki nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi yaitu sebesar 280, sehingga menjadi prioritas utama dalam upaya perbaikan karena memiliki tingkat risiko dan dampak paling besar terhadap kualitas produk.

Hasil analisis fishbone menunjukkan bahwa penyebab utama terjadinya cacat herringbone dipengaruhi oleh faktor mesin dan metode pengoperasian, khususnya ketidakstabilan pengaturan suhu dan kecepatan mesin pada proses rolling yang menyebabkan tekanan pada permukaan aluminium foil tidak merata. Selain itu, pengaturan parameter mesin yang kurang optimal oleh operator juga turut berkontribusi terhadap munculnya cacat tersebut. Temuan ini diperkuat oleh hasil analisis FMEA yang menunjukkan bahwa faktor suhu dan kecepatan mesin merupakan penyebab dominan dengan tingkat risiko tertinggi. Oleh karena itu, kedua faktor tersebut dipilih sebagai variabel utama dalam eksperimen metode Taguchi untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal dalam meminimalkan kecacatan produk aluminium foil.



Gambar 6. Diagram fishbone Defect Herringbone

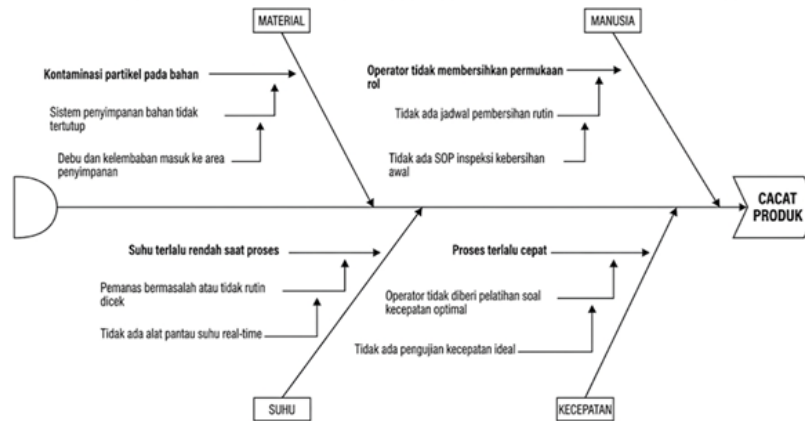
Jenis kecacatan berikutnya adalah cacat flatness, yaitu kondisi dimana permukaan aluminium foil tidak rata atau mengalami ketidaksejajaran pada permukaan produk. Berdasarkan hasil penilaian pekerja, cacat flatness umumnya disebabkan oleh ketidakseimbangan tekanan pada mesin rolling serta kondisi mesin yang kurang optimal. Selain itu, faktor metode pengoperasian mesin juga menjadi salah satu penyebab munculnya cacat flatness, terutama ketika proses pengaturan kecepatan mesin tidak sesuai dengan standar operasi yang telah ditetapkan. Kondisi tersebut menyebabkan distribusi tekanan pada permukaan aluminium foil menjadi tidak merata sehingga menghasilkan produk yang tidak rata.



Gambar 7. Diagram fishbone defect flatness

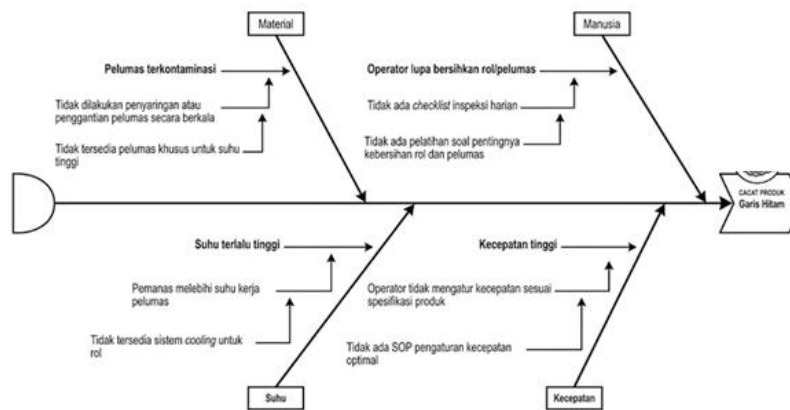
Selanjutnya, cacat titik-titik merupakan jenis kecacatan yang ditandai dengan munculnya titik-titik kecil pada

permukaan aluminium foil. Berdasarkan hasil penilaian pekerja, cacat ini umumnya disebabkan oleh faktor material dan lingkungan kerja. Kontaminasi pada bahan baku aluminium serta adanya partikel kotoran pada mesin produksi dapat menyebabkan munculnya bintik pada permukaan produk. Selain itu, kebersihan lingkungan kerja serta kondisi mesin yang kurang terawat juga dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya cacat bintik-bintik pada produk aluminium foil.



Gambar 8. Diagram fishbone defect Bintik-bintik

Jenis kecacatan lainnya adalah cacat garis hitam (black line) yang ditandai dengan munculnya garis berwarna gelap pada permukaan aluminium foil. Berdasarkan hasil penilaian pekerja, cacat ini umumnya disebabkan oleh faktor mesin serta kondisi pelumas pada mesin rolling. Ketidakseimbangan pelumasan pada permukaan roll serta adanya kotoran yang menempel pada permukaan mesin dapat menyebabkan terjadinya gesekan yang tidak merata sehingga menghasilkan garis hitam pada permukaan aluminium foil. Selain itu, kondisi roll yang mengalami keausan juga dapat memicu terjadinya cacat garis hitam pada produk.



Gambar 9. Diagram fishbone defect Garis Hitam

Berdasarkan hasil analisis terhadap penilaian pekerja tersebut, dapat disimpulkan bahwa faktor mesin merupakan faktor yang paling dominan mempengaruhi terjadinya kecacatan produk aluminium foil, terutama pada parameter proses seperti suhu dan kecepatan mesin. Oleh karena itu, pada tahap selanjutnya dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk menentukan prioritas perbaikan terhadap faktor-faktor yang memiliki tingkat risiko kegagalan tertinggi dalam proses produksi aluminium foil.

2. Usulan perbaikan diagram fishbone

Usulan perbaikan dibuat dengan menggunakan faktor paling dominan yang mempengaruhi kecacatan aluminium foil seperti di bawah ini :

Tabel 4. Usulan perbaikan defect herringbone

Faktor	What	Why	Where	When	Who	How
Suhu	Pemanas tidak merata	Kalibrasi alat pemanas tidak rutin dilakukan dan tidak ada sistem kontrol suhu otomatis	Area produksi	Selama proses produksi berlangsung	Operator Produksi	Lakukan kalibrasi pemanas secara rutin- Pasang sensor suhu otomatis dengan alarm- Buat dan terapkan SOP pengecekan suhu per shift
Kecepatan	Operator mengatur kecepatan berdasarkan feeling	Tidak ada SOP kecepatan standar, kurang pelatihan, dan tidak tersedia indikator kecepatan mesin	Area Produksi	Saat setting awal dan selama produksi	Operator produksi	Buat panduan kecepatan operasi (SOP), Pasang indikator kecepatan digital, Adakan pelatihan teknis rutin bagi operator

Tabel 5. Usulan perbaikan *Defect flatness*

Faktor	What	Why	Where	When	Who	How
Suhu	Tidak ada sensor multipoint suhu	Pemantauan suhu hanya dilakukan di satu titik, menyebabkan distribusi suhu tidak terkontrol merata	Area Produksi	Selama proses pemanasan berlangsung	Operator Produksi	Pasang sensor multipoint suhu di beberapa titik mesin- Gunakan sistem monitoring suhu digital- Evaluasi distribusi suhu tiap batch
Kecepatan	Tidak dilakukan pengujian kekuatan regang material	Tidak ada standar pengujian kekuatan material sebelum digunakan, sehingga material tidak stabil	Area Produksi	Sebelum dan selama produksi	Operator Produksi	Terapkan pengujian tarik/regang material (tensile test) secara rutin- Buat SOP pengujian dan standar minimum kekuatan material

Tabel 6. usulan perbaikan pada *defect bintik-bintik*

Faktor	What	Why	Where	When	Who	How
Suhu	Tidak ada alat pantau suhu real-time	Pemantauan suhu dilakukan manual dan tidak kontinu, menyebabkan suhu tidak stabil	Area produksi	Selama proses pemanasan dan produksi	Operator Produksi	Pasang alat pemantau suhu digital real-time- Integrasikan dengan sistem alarm suhu- Lakukan pencatatan suhu otomatis per batch
Kecepatan	Tidak ada pengukuran kecepatan ideal	Tidak ada acuan kecepatan optimal sehingga operator hanya mengandalkan perkiraan	Area Produksi	Selama pengoperasian mesin produksi	Operator produksi	Tetapkan standar kecepatan ideal berdasarkan uji coba proses- Pasang sistem monitoring kecepatan digital- Buat SOP kecepatan mesin

Tabel 7. usulan perbaikan *defect garis hitam*

Faktor	What	Why	Where	When	Who	How
Suhu	Tidak tersedia sistem cooling untuk roll	Roll terlalu panas akibat gesekan, menyebabkan residu terbakar dan menimbulkan garis hitam	Pada bagian roll mesin produksi	Selama proses berjalan dan setelah idle	Teknisi mesin & operator	- Tambahkan sistem pendingin (cooling system) pada roll- Lakukan maintenance berkala pada sistem pendingin- Monitor suhu roll setiap shift
Kecepatan	Tidak ada SOP	Operator tidak	Area	Saat setting	Operator	- Susun dan

pengaturan kecepatan optimal memiliki panduan kecepatan yang sesuai untuk berbagai kondisi produksi mesin utama produksi awal dan saat proses berjalan produksi & bagian teknik implementasikan SOP kecepatan optimal berdasarkan hasil uji coba- Pasang sistem pengatur kecepatan otomatis- Lakukan pelatihan

3. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Dengan menerapkan FMEA, perusahaan dapat mengantisipasi potensi masalah, mengurangi tingkat cacat produk, serta meningkatkan keandalan dan kualitas proses produksi secara keseluruhan.

Tabel 8. FMEA dan RPN kecacatan aluminium foil mesin vonroll

No	Jenis Kecacatan	Penyebab potensial	Severity (s)	Occurrence (o)	Detection (D)	RPN	
1	Herringbone	Permukaan foil bergaris pola zig zag yang tidak sesuai standar kualitas	Suhu mesin dan kecepatan mesin	8	7	5	280
2	Flatness	Foil menjadi bergelombang dan tidak rata	Variasi ketebalan. Tegangan tarik tidak stabil.	7	6	6	252
3	Bintik-bintik	Muncul partikel kecil di permukaan foil	Roll kotor. Kontaminasi partikel dan material.	6	5	5	150
4	Garis Hitam	Terdapat garis hitam di permukaan menyebabkan produk tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan	Proses pembersihan tidak optimal. Pelumas terbakar karena suhu tinggi. Permukaan roll kotor. Setting suhu mesin tidak sesuai.	7	5	6	210

Cacat Herringbone merupakan cacat dengan RPN tertinggi sebesar 280, disebabkan oleh keausan roll, sensor tekanan yang tidak akurat, dan setting parameter yang tidak sesuai, sehingga menjadi prioritas utama dalam perbaikan proses. Cacat Flatness memiliki RPN 252, yang terjadi akibat variasi ketebalan dan tegangan tarik yang tidak stabil, menunjukkan bahwa kestabilan proses menjadi faktor penting. Cacat Garis Hitam memiliki nilai RPN sebesar 210, muncul karena suhu terlalu tinggi yang menyebabkan pelumas terbakar serta setting suhu mesin yang tidak sesuai. Sedangkan cacat Bintik-bintik memiliki RPN paling rendah, yaitu 150, dan disebabkan oleh kontaminasi partikel akibat roll yang kotor dan proses pembersihan yang tidak optimal.

Berdasarkan nilai RPN tersebut, dapat disimpulkan bahwa herringbone kecacatan paling tinggi paada mesin vonroll dan fokus perbaikan sebaiknya diarahkan pada suhu dan kecepatan guna mengurangi risiko cacat dan meningkatkan kualitas produk aluminium foil yang dihasilkan oleh mesin Vonroll.

3.1.4. Tahap Improve

Tahap improve merupakan tahap dimana perbaikan berfokus pada pengembangan dan implementasi solusi untuk mengatasi akar penyebab masalah yang telah diidentifikasi pada tahap Analyze. Tujuan utama dari fase ini adalah meningkatkan proses dengan cara menghilangkan variabilitas, mengurangi pemborosan, serta mengoptimalkan efisiensi dan kualitas menggunakan metode Taguchi dan uji analisis ANOVA untuk menemukan parameter terbaik sehingga dapan menekan kecacatan berlebih pada produk aluminium foil di PT.Indoaluminium Intikarsa Industri.

1. Ekperimen Taguchi Untuk Defect Herringbone

Cacat Herringbone merupakan salah satu jenis cacat dominan yang di temukan selama proses produksi aluminium foil di PT. Indoaluminium Intikarsa Industri. Berdasarkan hasil analisis menggunakan diagram Fishbone dan FMEA, diketahui bahwa penyebab utama dari cacat ini berkaitan dengan suhu dan kecepatan yang tidak sesuai. Cacat herringbone dapat menyebabkan terjadinya penolakan produk hingga kerugian produk yang signifikan.

Faktor kotnrol dan faktor tidak terkontrol dalam ekperimen ini, dipilih dau faktor kontrol yang memengaruhi jumlah cacat herringbone berdasarkan hasil analisi fishbone, yaitu :

Tabel 9. Faktor Kontrol Cacat *Herringbone*

No	Faktor Kontrol
1	Suhu (°C)
2	Kecepatan (M/Min)

Sedangkan faktor yaitu tidak dapat dikendalikan secara langsung (*noise*) selama proses produksi, namun dapat memengaruhi munculnya cacat *herringbone*, diantaranya adalah kondisi lingkungan ruang produksi. Kondisi ini dapat memengaruhi kondisi aluminium foil dan secara tidak langsung meningkatkan resiko cacat *herringbone* saat proses berlangsung.

Penentuan jumlah level dan faktor masing-masing faktor kontrol dalam eksperimen untuk cacat *herringbone* dibagi menjadi 3 level pengujian sebagai berikut :

Tabel 10. Faktor Dan Level

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	Suhu (°C)	150	154	158
B	Kecepatan (m/min)	210,625	230,417	250,208

Pemilihan 3 level ini bertujuan untuk memperoleh variasi yang cukup untuk mengamati pengaruh setiap faktor terhadap hasil produksi.

Perhitungan derajat kebebasan, derajat kebebasan di hitung berdasarkan rumus :

$$V = \text{Banyaknya Level} - 1$$

Dalam penelitian ini terdapat 2 faktor dan 3 level, yaitu :

Faktor suhu (A) = 3 level

Faktor kecepatan (B) = 3 level

Maka, diperoleh derajat kebebasan totalnya adalah :

Tabel 11. Derajat Kebebasan

Faktor	Derajat Kebebasan	Total
A	(3-1)	2
B	(3-1)	2
Total Derajat Kebebasan		6

Dalam eksperimen ini digunakan matriks Ortogonal L9 (3²) untuk menyusun rancangan percobaan, yaitu sebagai berikut: Matriks L9 dipilih karena sesuai dengan jumlah faktor dan level yang digunakan dalam penelitian, yakni dua faktor, yaitu suhu dan kecepatan, yang masing-masing terdiri dari tiga level. Matriks L9 memungkinkan kombinasi perlakuan dilakukan secara efisien dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit dibandingkan desain faktorial penuh, namun tetap mampu memberikan informasi yang cukup untuk menganalisis pengaruh masing-masing faktor terhadap karakteristik respon. Penggunaan matriks ortogonal ini juga membantu dalam mengidentifikasi kondisi optimal proses tanpa harus melakukan seluruh kombinasi seperti pada gambar berikut :

Setelah melakukan percobaan menggunakan matriks Ortogonal L9, Urutan percobaan untuk masing masing perlakuan ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 12. Urutan Percobaan

Percobaan Ke	Faktor	
	Suhu	Kecepatan
1	150	210,625
2	150	210,626
3	150	210,625
4	154	230,417
5	154	230,417
6	154	230,417
7	158	250,208
8	158	250,208
9	158	250,208

Eksperimen dilakukan berdasarkan urutan perlakuan yang sudah ditentukan dalam tabel matriks Ortogonal L9. Setiap kombinasi level faktor suhu dan kecepatan dijalankan sesuai dengan desain yang telah dirancang untuk memastikan keakuratan.

Tabel 13. Hasil Eksperimen Cacat *Herringbone*

Percobaan	Faktor		Replikasi 1	Replikasi 2
	Ke	Suhu		
1	150	210,625	12	13
2	150	210,626	10	9
3	150	210,625	9	8
4	154	230,417	15	14
5	154	230,417	11	12

6	154	230,417	10	11
7	158	250,208	17	16
8	158	250,208	13	14
9	158	250,208	11	12

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebanyak 9 kombinasi perlakuan dengan 2 replikasi, maka dilakukan perhitungan nilai *Signal-to-Noise Ratio* (S/N) untuk masing-masing kombinasi. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui kombinasi parameter proses yang paling tahan terhadap gangguan atau variasi, dengan menggunakan kriteria *smaller is better*, karena dalam kasus ini jumlah cacat yang lebih kecil menunjukkan hasil yang lebih baik. Nilai-nilai S/N yang diperoleh mencerminkan kestabilan dan konsistensi masing-masing kombinasi perlakuan dalam mengurangi kecacatan. Semakin tinggi nilai S/N, maka semakin baik kombinasi tersebut dalam menahan pengaruh variasi yang tidak diinginkan. Hasil dari perhitungan ini menjadi dasar dalam menentukan kombinasi parameter proses yang optimal untuk meminimalkan cacat herringbone.

Tabel rata-rata S/N Per-Level faktor Untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor terhadap nilai *signal-to-noise ratio* (S/N), dilakukan perhitungan rata-rata nilai S/N pada setiap level faktor seperti tabel di bawah ini :

Tabel 14. Faktor dan Level

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
Suhu	-16,81	-15,92	-29,09
Kecepatan	-18,71	-25,14	-17,97

Berdasarkan tabel di atas, dapat dianalisis pengaruh masing-masing level dari setiap faktor terhadap nilai rata-rata S/N. Karena karakteristik kualitas yang digunakan adalah *smaller is better*, maka semakin tinggi nilai S/N yang di peroleh, menunjukkan bahwa kualitas produk semakin baik (cacat semakin sedikit). Suhu, nilai S/n tertinggi terdapat di level 2 (154°C), yaitu sebesar -15,92. Hal ini menunjukkan bahwa suhu di level sedang memberikan hasil produksi dengan kualitas terbaik dan tingkat cacat paling sedikit.

Setelah melakukan perhitungan nilai S/N dan analisis grafik pengaruh utama, langkah selanjutnya adalah menguji signifikansi masing-masing faktor menggunakan metode ANOVA. Uji ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana faktor-faktor tersebut secara statistik memengaruhi kualitas produksi

Tabel 15. Uji ANOVA Cacat *Herringbone*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% Kontribusi
Suhu	2	105,56	52,778	19,00	0,009	59,90%
Kecepatan	2	59,56	29,778	10,72	0,025	33,79%
Error	4	11,11	2,778			1,57%
Total	8	176,22				94%

Berdasarkan tabel ANOVA di atas, dapat disimpulkan bahwa faktor suhu dan kecepatan berpengaruh signifikan terhadap hasil produksi aluminium foil. Hal ini ditunjukkan oleh nilai P-Value suhu sebesar 0,009 dan kecepatan sebesar 0,025, yang keduanya lebih kecil dari 0,05. Faktor suhu memberikan pengaruh paling dominan dengan persentase kontribusi sebesar 59,90%, diikuti oleh kecepatan sebesar 33,79%, sementara kesalahan (error) hanya menyumbang 1,57%, yang berarti variabilitas data dapat dijelaskan dengan baik oleh kedua faktor utama tersebut. Secara keseluruhan, kontribusi total dari model mencapai 94%, Yang dimana faktor suhu dan kecepatan berpengaruh signifikan terhadap kualitas produk aluminium foil. Hasil menunjukkan bahwa parameter optimal adalah suhu 154 °C dan kecepatan mesin 250,208 m/menit. Penerapan parameter-parameter ini mengurangi tingkat cacat, di mana DPMO menurun dari 85.084 menjadi sekitar 55.304 dan tingkat sigma dari 3.116 meningkat menjadi sekitar 3,350.

3.1.5. Tahap Control

Tahap Control dalam metodologi Six Sigma bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh perbaikan yang telah dilakukan pada proses produksi aluminium foil dapat dijaga konsistensinya dan tidak mengalami penyimpangan di masa mendatang. Dalam penelitian ini, tahap control dilakukan dengan membandingkan performa proses produksi sebelum dan sesudah perbaikan berdasarkan penerapan parameter optimal hasil eksperimen metode Taguchi.

1. Tujuan Tahap Control

Tahap ini bertujuan untuk :

1. Menjaga stabilitas proses setelah dilakukan perbaikan
2. Memastikan parameter optimal tetap digunakan secara konsisten di lapangan.
3. Mendeteksi lebih awal apabila terjadi penyimpangan kualitas

2. Implementasi Parameter Optimal

Berdasarkan eksperimen taguchi memakai orthogonal L9 berupa 2 faktor dan 3 level seperti di bawah ini :

Faktor A: Kecepatan Mesin

1. Level 1 = 210,625 m/min
2. Level 2 = 230,417 m/min
3. Level 3 = 250,208 m/min

Faktor B: Suhu Mesin

1. Level 1 = 150°C
2. Level 2 = 154°C
3. Level 3 = 158°C

Setelah melakukan eksperimen taguchi di dapatkan hasil untuk menurunkan kecacatan pada aluminium foil seperti di bawah ini :

1. Kecepatan Mesin : Tinggi (level 3)
2. Suhu Mesin : Sedang (level 2)

3. Evaluasi Stabilitas Proses

Tahap Ekperimen Taguchi :

Setelah dilakukan optimasi proses menggunakan metode Taguchi, diperoleh kombinasi parameter yang menghasilkan cacat paling rendah, yaitu pada suhu mesin 154°C Sedang (level 2) dan kecepatan mesin 250,208 m/min Tinggi (level 3) parameter ini bertujuan untuk menekan kecacatan dan menghasilkan output berkualitas

4. Usulan dan Perbaikan

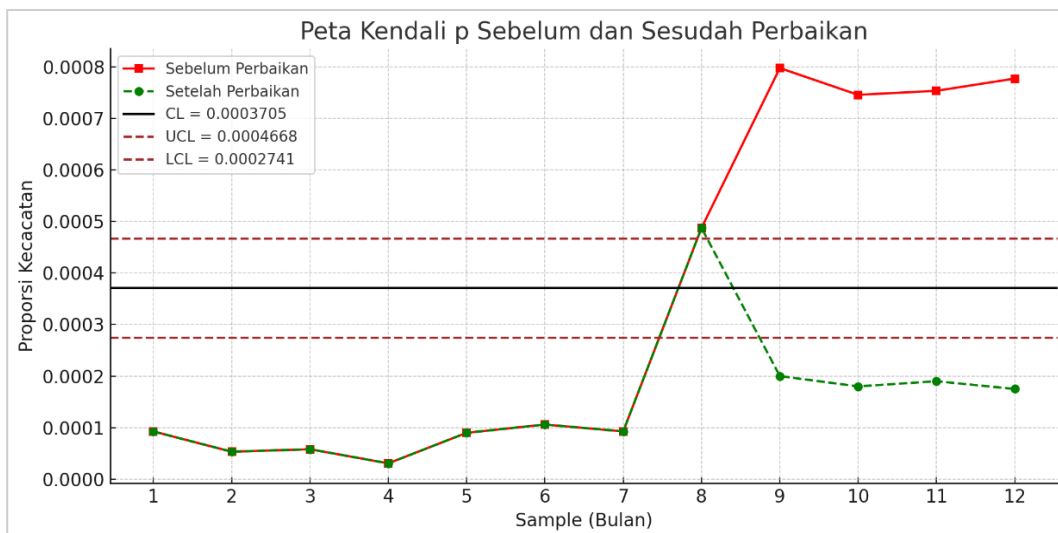
Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Six Sigma dan eksperimen Taguchi pada proses produksi aluminium foil, khususnya pada mesin *Vonroll*, maka diperoleh beberapa temuan penting yang menjadi dasar dalam memberikan usulan perbaikan. Usulan ini diarahkan untuk mengurangi tingkat cacat, menstabilkan proses produksi, serta meningkatkan kapabilitas kualitas produk. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor suhu dan kecepatan memiliki pengaruh signifikan terhadap jenis-jenis cacat yang muncul, terutama cacat *herringbone*, sehingga perlu dilakukan penyesuaian parameter proses berdasarkan kombinasi optimal yang telah ditentukan melalui metode Taguchi.

Selain itu, temuan dari diagram sebab-akibat (*fishbone diagram*) dan peta kendali (p-chart) memperkuat identifikasi sumber masalah utama yang menyebabkan ketidaksesuaian produk. Diagram sebab-akibat menunjukkan bahwa selain faktor suhu dan kecepatan, faktor manusia (*human error*), mesin (*setting* dan perawatan), serta metode kerja yang tidak seragam turut berkontribusi terhadap munculnya cacat. Peta kendali mengindikasikan bahwa sebelum dilakukan perbaikan, proses produksi berada di luar kendali statistik, yang ditandai dengan beberapa titik data melebihi batas kendali atas (UCL)

3.2. Usulan dan Perbaikan

Temuan dari diagram sebab-akibat (*fishbone diagram*) dan peta kendali (p-chart) memperkuat identifikasi sumber masalah utama yang menyebabkan ketidaksesuaian produk. Diagram sebab-akibat menunjukkan bahwa selain faktor suhu dan kecepatan, faktor manusia (*human error*), mesin (*setting* dan perawatan), serta metode kerja yang tidak seragam turut berkontribusi terhadap munculnya cacat. Peta kendali mengindikasikan bahwa sebelum dilakukan perbaikan, proses produksi berada di luar kendali statistik, yang ditandai dengan beberapa titik data melebihi batas kendali atas (UCL).

3.2.1. Perbaikan peta kendali P



Gambar 10. Perbaikan Peta kendali P

Gambar di atas menunjukkan peta kendali proporsi cacat (*p-chart*) sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan proses produksi aluminium foil. Garis merah menunjukkan kondisi sebelum perbaikan, di mana mulai dari bulan ke-8 hingga ke-12, proporsi kecacatan melebihi batas kendali atas (UCL = 0,0004668), yang mengindikasikan bahwa proses berada di luar kendali statistik dan mengalami ketidakwajaran. Hal ini menunjukkan adanya gangguan atau variasi yang bersifat *special cause* yang perlu segera diatasi. Sebaliknya, setelah dilakukan perbaikan, yang ditunjukkan oleh garis hijau, terlihat penurunan signifikan pada proporsi cacat, penurunan tingkat kecacatan yang ditunjukkan melalui penurunan nilai DPMO dari 85.084 menjadi sekitar 55.304, atau terjadi penurunan sebesar ±35%, serta peningkatan level sigma dari

3.116 menjadi sekitar 3.35, terutama pada bulan ke-9 hingga ke-12, di mana seluruh titik pengamatan kembali berada dalam rentang batas kendali (antara LCL = 0,0002741 dan UCL). Ini menandakan bahwa proses produksi telah kembali stabil dan berada dalam kendali statistik setelah perbaikan dilakukan. Perbaikan yang diterapkan meliputi penyesuaian parameter proses berdasarkan hasil eksperimen Taguchi, peningkatan pengawasan terhadap kualitas bahan baku dan pelumas, serta penerapan prosedur pemeliharaan mesin secara lebih konsisten. Stabilitas ini mencerminkan keberhasilan penerapan pendekatan Six Sigma dan efektivitas tindakan korektif dalam mengendalikan variasi proses. Dengan demikian, hasil ini memperkuat pentingnya analisis data statistik dalam pengendalian kualitas dan sebagai dasar pengambilan keputusan perbaikan di lingkungan manufaktur.

3.2.2. Usulan 5w+1H

Untuk memahami secara mendalam akar penyebab tingginya tingkat kecacatan produk aluminium foil pada mesin Vonroll, dilakukan analisis berdasarkan metode 5W+1H. Data dan informasi diperoleh melalui diskusi langsung dengan karyawan dan tim terkait di PT Indoaluminium Intikarsa Industri. Berikut adalah rangkuman hasil analisis yang memuat pertanyaan kunci dan solusi yang diusulkan untuk perbaikan proses produksi seperti di bawah ini :

Tabel 16. Usulan 5W+1H

Unsur	Inti Permasalahan	Tindakan Utama
What (Apa)	Tingginya kecacatan aluminium foil (1.412 unit), dominan pada mesin Vonroll	Fokus pengendalian pada cacat dominan (herringbone)
Where (Di mana)	Mesin Vonroll ($\pm 50,6\%$ total cacat)	Kalibrasi mesin dan perawatan berkala
When (Kapan)	Lonjakan cacat pada Sep-Des	Evaluasi kondisi operasi & beban kerja
Who (Siapa)	Operator & QC belum optimal dalam kontrol proses	Pelatihan operator dan penguatan SOP
Why (Mengapa)	Parameter suhu & kecepatan tidak optimal	Optimasi parameter proses (Taguchi)
How (Bagaimana)	Analisis Six Sigma & Taguchi	Implementasi: kalibrasi, pemasangan sensor, standarisasi SOP, dan pelatihan rutin

Hasil diskusi dengan operator, teknisi, dan QC di PT Indoaluminium Intikarsa Industri menunjukkan bahwa 50,6% cacat produk terjadi pada mesin Vonroll, didominasi oleh cacat Herringbone, terutama pada kuartal akhir tahun. Analisis menunjukkan bahwa penyebab utama adalah suhu dan kecepatan mesin yang tidak optimal, serta kurangnya pemahaman operator terhadap standar operasional prosedur (SOP) yang berlaku. Kondisi ini menyebabkan ketidakkonsistenan dalam proses pemanasan dan pendinginan, yang berkontribusi pada munculnya pola cacat Herringbone. Dengan menerapkan pendekatan Six Sigma dan metode Taguchi, dilakukan eksperimen untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu 154°C dan kecepatan 250,208 m/min merupakan kombinasi yang paling efektif untuk menurunkan kecacatan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengendalian kualitas aluminium foil menggunakan metode Six Sigma dan Taguchi di PT Indoaluminium Intikarsa Industri, dapat disimpulkan bahwa tingkat kecacatan produk aluminium foil masih tergolong tinggi dengan total 1.412 unit cacat selama periode Januari hingga Desember 2025. Jenis kecacatan yang paling dominan adalah herringbone yang sebagian besar terjadi pada mesin Vonroll, sehingga menunjukkan bahwa proses produksi belum berjalan secara optimal terutama pada pengaturan parameter suhu dan kecepatan mesin. Hasil analisis menggunakan diagram fishbone dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) menunjukkan bahwa faktor suhu dan kecepatan mesin merupakan penyebab utama terjadinya kecacatan produk. Perhitungan kapabilitas proses menunjukkan nilai sigma sebesar 3,116 dengan DPMO sebesar 85.084, yang masih berada pada tingkat kapabilitas proses sedang. Upaya perbaikan dilakukan menggunakan metode Taguchi dengan desain eksperimen Orthogonal Array L9, yang menghasilkan kombinasi parameter optimal yaitu suhu 154°C dan kecepatan 250,208 m/min. Hasil implementasi menunjukkan adanya peningkatan kapabilitas proses, di mana nilai DPMO menurun menjadi sekitar 55.304 dan level sigma meningkat menjadi sekitar 3,35, serta proses produksi telah kembali berada dalam batas kendali statistik berdasarkan peta kendali P. Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi industri, khususnya dalam penerapan pengendalian kualitas berbasis data melalui kalibrasi parameter mesin, penggunaan sensor monitoring, standarisasi prosedur operasi (SOP), serta peningkatan kompetensi operator guna menjaga stabilitas proses secara berkelanjutan. Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada penggunaan data setelah perbaikan yang masih bersifat terbatas serta hanya mempertimbangkan dua faktor utama, yaitu suhu dan kecepatan mesin. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan faktor lain seperti kondisi material, lingkungan kerja, dan sistem pemeliharaan mesin, serta menggunakan data jangka panjang untuk mengevaluasi keberlanjutan peningkatan kualitas proses secara lebih komprehensif.

REFERENCES

[1]. Antony, J. "Lean Six Sigma for manufacturing process improvement". International Journal of Production Research. ISSN: 0020-7543. DOI: 10.1080/00207543.1712493. 2020.
 [2] Kumar, S., & Singh, R. "Quality improvement using Six Sigma in manufacturing industries". Journal of Manufacturing

- Processes, Elsevier. ISSN: 1526-6125 DOI: 10.1016/j.jmapro.02.011. 2022.
- [3] Banerjee, A., Forkan, A., Georgakopoulos, D., & Jayaraman, P. "An IIoT machine model for achieving consistency in product quality in manufacturing plants". *Journal of Manufacturing Systems*, Elsevier, 59, 1–12. ISSN: 0278-6125. DOI: 10.1016/j.jmsy.09.004. 2021.
- [4] Omprakash, S., et al. "Six Sigma DMAIC approach for defect reduction in sand casting process". *Materials Today: Proceedings*, Elsevier, 46, 10780–10785. ISSN: 2214-7853. DOI: 10.1016/j.matpr.01.390. 2021.
- [5] Keanoubie, M. "A Six Sigma approach to defect reduction and cost savings in flexible packaging industry". *Journal of Applied Engineering*, 5(1), 1–12. ISSN: 2828-5432. DOI: 10.5565/jane.1726. 2025
- [6] Gerger, A., & Firuzan, A. "Taguchi–Six Sigma methodology for process optimization in manufacturing". *Quality Engineering*, Taylor & Francis. ISSN: 0898-2112. DOI: 10.1080/08982112.1892375. 2021.
- [7] Ketabforoush, M., & Abdul Aziz, F. "Taguchi based six sigma approach for sustainable manufacturing". *Journal of Cleaner Production*, Elsevier. ISSN: 0959-6526 . DOI: 10.1016/j.jclepro.126375. 2021.
- [8] El-Zathry, N. et al. "Taguchi-based optimization of friction stir welding parameters for aluminum alloy". *Heliyon*, Elsevier. ISSN: 2405-8440. DOI: 10.1016/j.heliyon.e27568. 2024.
- [9] Rinjani, S., et al. "Analisis Six Sigma untuk mengurangi cacat produk". *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, Universitas Pahlawan*, 8(3), 3387-3396. ISSN: 2620-8962 DOI: 10.31004/jutin.v8i3.47838. 2025.
- [10] Erlangga, R.B., & Wahyuni, H.C. "Application of Quality Control using Six Sigma and Taguchi Method". *Procedia of Engineering and Life Science, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo*. ISSN: 2776-4279. DOI: 10.21070/pels.v3i0.1331. 2022.
- [11] Fatoni, F.A. "Quality control analysis using Six Sigma and FMEA". *Journal Industrial Research System*, 3(1), 10-18. ISSN: 2776-3256. 2026.
- [12] Ramadhan, A.N.N. "Reducing manufacturing defects using Six Sigma DMAIC". *Jurnal Teknik Industri, Universitas Brawijaya*, 8(1), 22-30. ISSN: 2541-1234 DOI: 10.21776/jki. 2025.479. 2025.
- [13] Khofiyah, N.A., et al. Pengendalian kualitas menggunakan Six Sigma DMAIC. *Jurnal Matriks Teknik Industri*, 9(2), 45-53. ISSN: 2528-0953. 2025.
- [14] Abima, C., Akinlabi, S., & Akinlabi, E. "Comparative analysis of welding processes using Taguchi method". *Scientific African*, Elsevier, 17. ISSN: 2468-2276. DOI: 10.1016/j.sciaf. 2022.e01253. 2022.
- [15] Kakaei-Lafdani, M.H. et al. "Spiral welded pipe improvement by implementation of Six Sigma methodology". *Journal of Manufacturing Technology Management, Emerald*. ISSN: 1741-038., DOI: 10.1108/JMTM-2020-0383. 2021.
- [16] Kodathala, S. "Six Sigma for neural networks: Taguchi-based optimization". *IEEE Access, IEEE*. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.
- [17] Smith, J. (2023). "Statistical quality improvement using Six Sigma and Taguchi method". *Quality and Reliability Engineering International*, Wiley. ISSN: 0748-8017. DOI: 10.1002/qre.3210. 2023.