

Peningkatan Kualitas Produk Plastik Injeksi Berbasis FMEA-Six Sigma Untuk Meminimalkan Cacat Lolos Ke Customer (Studi Kasus: PT. Citra Plastik Makmur)

Siti Athrotul Muthoharoh¹, Siti Rahayu², Agus Suwarno³

^{1,2}) Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa
Jl. Inspeksi Kalimalang No.9, Cibatu, Cikarang Sel., Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17530
Email: sitiathrotul26692@gmail.com

ABSTRAK

Industri plastik injeksi masih menghadapi persoalan *defect* yang lolos ke *customer*, seperti pada PT. Citra Plastik Makmur yang mencatat 13 klaim dan 150 pcs *defect* selama Oktober–Desember 2025. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *defect* dominan dan penyebabnya, menentukan prioritas risiko, serta menyusun usulan perbaikan melalui integrasi *Six Sigma* dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan tahapan DMAIC, didukung diagram pareto, *fishbone*, dan perhitungan *Risk Priority Number*. Hasil penelitian mengidentifikasi empat *defect* dominan—penyok, salah label, *chipping*, dan salah fisik—dengan total 126 *defect* dari 25.399 produk dan rata-rata *level sigma* 3,82; salah label dan salah fisik menjadi prioritas risiko tertinggi. Penyebab *defect* mencakup proses *injection molding*, *handling*, *packaging*, dan *supply* yang belum terstandarisasi. Integrasi *Six Sigma* dan FMEA terbukti efektif menyusun prioritas perbaikan, dengan implikasi praktis berupa penguatan verifikasi, pedoman pemeriksaan, dan standarisasi kerja untuk pengendalian kualitas berkelanjutan.

Kata kunci: *Six Sigma*; *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA); DMAIC; *Injection Molding*; Pengendalian Kualitas Produk.

ABSTRACT

The plastic injection industry still faces defects reaching customers, as seen at PT. Citra Plastik Makmur, which recorded 13 claims and 150 pcs of defects during October–December 2025. This study aims to identify dominant defects and their causes, determine risk priorities, and formulate improvements through the integration of *Six Sigma* and *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). A descriptive quantitative approach was used, applying DMAIC stages supported by Pareto diagrams, fishbone diagrams, and Risk Priority Number calculations. Results identified four dominant defects—dents, mislabeling, chipping, and physical mismatches—totaling 126 defects out of 25,399 units, with an average sigma level of 3.82; mislabeling and physical mismatches ranked as the highest risk priorities. Defect causes spanned the injection molding process, handling, packaging, and supply activities lacking standardization. The *Six Sigma*–FMEA integration proved effective in prioritizing improvements, with practical implications for strengthened verification, inspection guidelines, and work standardization to support sustainable quality control.

Keywords: *Six Sigma*; *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA); DMAIC; *Injection Molding*; Product Quality Control.

Pendahuluan

Industri plastik injeksi menghasilkan komponen bagi beragam sektor manufaktur, sehingga kualitas produk yang konsisten menjadi syarat mutlak keberhasilan proses produksi dan kepuasan pelanggan. Namun, teknologi *injection molding* belum sepenuhnya mampu menghilangkan potensi produk cacat (*defect*) seperti *short shot*, *flash*, *sink mark*, hingga *warpage* [1]. Di PT. Citra Plastik Makmur, permasalahan ini terlihat nyata dari data *monitoring claim customer* periode Oktober–Desember 2025, yang mencatat 13 kasus klaim dengan total 150 pcs *defect*, didominasi oleh jenis cacat penyok, salah label, *chipping*, dan salah fisik yang berpotensi memicu keluhan pelanggan dan menurunkan tingkat kepuasan pelanggan terhadap kualitas produk [2].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dirumuskan ke dalam tiga pertanyaan utama, yaitu jenis *defect* dominan beserta penyebab utamanya pada proses *injection molding*; prioritas risiko kegagalan *defect* tersebut jika dianalisis menggunakan metode FMEA, serta usulan perbaikan kualitas yang dapat disusun melalui integrasi *Six Sigma* dan FMEA untuk meminimalkan *defect* yang lolos ke *customer*. Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jenis dan penyebab utama *defect*, menentukan prioritas risiko kegagalan, serta mengusulkan langkah perbaikan kualitas berdasarkan integrasi kedua metode tersebut, di mana pendekatan *Six Sigma* melalui tahapan DMAIC dipilih karena mampu mengevaluasi kondisi proses dan menjadi dasar penyusunan perbaikan [3] [4].

Pengendalian kualitas diterapkan sebagai upaya sistematis menjaga hasil produksi tetap sesuai standar mutu melalui inspeksi akhir maupun pengawasan selama proses berlangsung [5]. Pada proses *injection molding*, kualitas produk dipengaruhi oleh berbagai parameter proses seperti suhu leleh, tekanan injeksi, waktu pendinginan, dan kecepatan aliran material [6], ketidaktepatan parameter tersebut meningkatkan risiko *defect* yang tidak terkendali dapat memicu *return* konsumen akibat ketidaksesuaian kualitas produk yang diterima pelanggan [7]. Dalam konteks ini, *Six Sigma* hadir sebagai pendekatan peningkatan kualitas berbasis data yang berorientasi pada pengurangan variasi proses menuju *zero defect* [8], dengan nilai *level sigma* diperoleh melalui konversi DPMO menggunakan pendekatan distribusi normal dan konstanta pergeseran proses sebesar 1,5 [9], yang selanjutnya dibandingkan dengan tabel konversi *sigma* untuk menilai kapabilitas proses [10]. Peningkatan kualitas dalam *Six Sigma* dilaksanakan melalui tahapan DMAIC yang tersusun secara sistematis dengan pendekatan berbasis data [11].

Pola faktor dan penyebab *defect* diidentifikasi melalui pengolahan data produksi menggunakan diagram *fishbone* dan diagram pareto [12], sementara *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan, mengevaluasi tingkat risiko, dan menetapkan prioritas tindakan perbaikan melalui nilai *Risk Priority Number* (RPN), yang integrasinya pada tahap *Improve* dalam DMAIC memungkinkan penyusunan prioritas usulan perbaikan berdasarkan hasil evaluasi potensi kegagalan [13] [9]. Berbagai penelitian terdahulu telah menerapkan *Six Sigma* maupun FMEA pada industri manufaktur, mencakup produk plastik, *sheet film*, *top body cover*, komponen *stamping*, industri otomotif, *handle switch*, sepatu, *grille air inlet*, hingga produk tahu. Penelitian-penelitian tersebut secara konsisten berhasil menurunkan nilai DPMO, meningkatkan *level sigma*, serta mengidentifikasi faktor manusia, mesin, material, dan metode kerja sebagai penyebab dominan *defect*, sehingga terbukti efektif dalam mendukung upaya perbaikan kualitas secara berkelanjutan [9] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22].

Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *Six Sigma* dan FMEA masing-masing efektif menurunkan tingkat *defect* dan memperkuat pengendalian kualitas manufaktur, namun kajian yang secara khusus mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut pada proses plastik injeksi dengan fokus spesifik pada *defect* yang lolos ke *customer* masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu menerapkan *Six Sigma* atau FMEA secara terpisah, berhenti pada tahap identifikasi akar penyebab *defect* di dalam proses produksi, dan belum secara khusus menyoroti *defect* yang lolos hingga ke tangan *customer* pada industri plastik *injection molding*. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi *Six Sigma* (DMAIC) dan FMEA secara terpadu, di mana tahap *Analyze* DMAIC menghasilkan akar penyebab yang langsung dinilai risikonya melalui RPN, sehingga prioritas perbaikan pada tahap *Improve* tidak hanya didasarkan pada frekuensi kemunculan *defect* (diagram pareto) tetapi juga pada tingkat keparahan dan kemampuan deteksinya. Fokus spesifik pada *defect* yang lolos ke *customer*, bukan sekadar *defect* internal, sekaligus memberikan kontribusi praktis berupa rekomendasi perbaikan yang dapat langsung diterapkan oleh perusahaan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif, dengan mendeskripsikan kondisi aktual proses *injection molding* di PT. Citra Plastik Makmur berdasarkan data numerik yang diperoleh langsung dari perusahaan. Objek penelitian difokuskan pada empat jenis *defect* yang lolos ke *customer*, yaitu penyok, salah label, *chipping*, dan salah fisik, yang dipilih berdasarkan rekapitulasi data *problem report claim customer* periode Oktober-Desember 2025. Analisis dilakukan menggunakan metode *Six Sigma* melalui pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) yang dipadukan dengan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui observasi pada proses *final inspection* dan aktivitas pengendalian kualitas, wawancara dengan *Supervisor QA*, *Quality Engineer*, dan *Quality Inspector*, serta studi dokumentasi. Data utama berupa *problem report claim customer* dan *monitoring claim customer*, sedangkan data pendukung meliputi data *final inspection*, *monitoring sortir*, *inject report*, *Standard Operating Procedure* (SOP), dan *Work Instruction* (WI).

Pemilihan ketiga narasumber tersebut didasarkan pada keterlibatan langsung mereka dalam proses pengendalian kualitas. *Supervisor QA* memiliki kewenangan atas keputusan penanganan *defect* dan klaim, *Quality Engineer* memahami parameter proses *injection molding* secara teknis, sedangkan *Quality Inspector* berperan langsung pada aktivitas *final inspection*. Kombinasi ketiga peran ini memastikan data yang diperoleh mencakup sisi manajerial, teknis, dan operasional pengendalian kualitas. Periode pengamatan Oktober-Desember 2025 dipilih karena merupakan periode terbaru yang datanya lengkap tersedia pada saat penelitian dilakukan dan mencakup satu siklus triwulan produksi penuh, sehingga cukup mewakili pola *defect* yang berulang, meskipun keterbatasan rentang waktu ini turut menjadi catatan bagi generalisasi hasil penelitian.

Teknik Analisis Data

Data dianalisis menggunakan metode *Six Sigma* melalui pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) yang dipadukan dengan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Tahap *Define* dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan kualitas berdasarkan data *customer claim* serta menentukan *defect* dominan menggunakan diagram pareto. Tahap *Measure* meliputi perhitungan *defect rate*, DPMO, dan *level sigma* untuk mengukur kinerja kualitas proses. Tahap *Analyze* dilakukan menggunakan diagram *fishbone* untuk mengidentifikasi akar penyebab, kemudian FMEA digunakan untuk mengevaluasi tingkat risiko penyebab terjadinya *defect* yang lolos ke *customer* berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Selanjutnya, tahap *Improve* menghasilkan usulan perbaikan, sedangkan tahap *Control* menyusun rekomendasi pengendalian kualitas untuk meminimalkan *defect* yang lolos ke *customer*.

Hasil Dan Pembahasan

Karakteristik Defect yang Lolos ke Customer

Rekapitulasi *defect* yang lolos ke *customer* selama periode Oktober-Desember 2025 disajikan pada Tabel 1 sebagai dasar analisis dalam penelitian ini.

Tabel 1. Tabel Rekapitulasi Defect Dominan Lolos ke Customer Periode Oktober-Desember 2025

Bulan	Jenis Defect	Jumlah (pcs)
Oktober	Chipping	39
	Penyok	40
	Burrry	1
	Runner NG	2
	Salah Label	40
November	Cutting Burrry	1
	Handle Line Lepas	1
	Deformasi	1
	Crack	6
	Silver	4
Desember	Bercak Putih	3
	Weldline	5
	Salah Fisik	7
Total		150

Sumber: Data Problem Report Claim Customer PT. Citra Plastik Makmur (2025)

Berdasarkan Tabel 1, tercatat sebanyak 150 *defect* yang lolos ke *customer* dengan berbagai jenis cacat selama periode penelitian. Data tersebut menjadi dasar pada tahap *Define* untuk menentukan *defect* prioritas menggunakan diagram pareto.

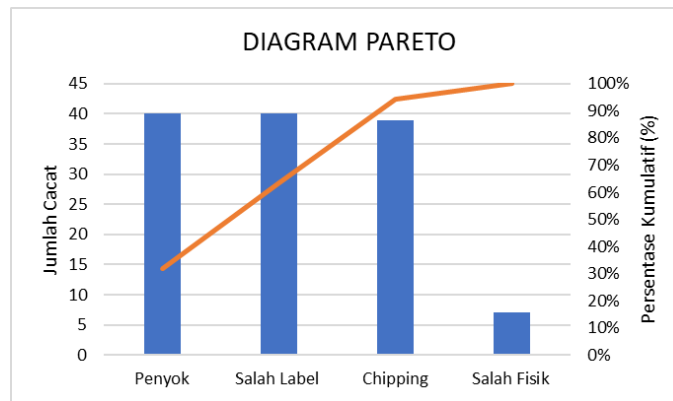
Define

Pada tahap *Define*, dilakukan identifikasi *defect* yang menjadi prioritas perbaikan berdasarkan data *customer claim* menggunakan analisis pareto. Hasil identifikasi disajikan pada Tabel 2, dan Gambar 1.

$$\text{Persentase Defect} = \frac{\text{Jumlah Defect}}{\text{Total Defect}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 2. Analisis Persentase Defect

Jenis Defect	Jumlah (pcs)	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
Penyok	40	31,75	31,75
Salah Label	40	31,75	63,49
Chipping	39	30,95	94,44
Salah Fisik	7	5,56	100,00
Total	126	100,00	



Gambar 1. Diagram Pareto

Hasil rekapitulasi pada Tabel 2 menunjukkan empat jenis *defect* dengan jumlah kejadian tertinggi, yaitu penyok dan salah label yang masing-masing berjumlah 40 pcs (31,75%), *chipping* sebanyak 39 pcs (30,95%), dan salah fisik sebanyak 7 pcs (5,56%), dengan total kontribusi keempatnya mencapai 126 pcs atau sekitar 84% dari keseluruhan kasus *defect*. Diagram pareto pada Gambar 1 menegaskan bahwa keempat jenis *defect* tersebut merupakan penyumbang terbesar terhadap *customer complaint*, sehingga menjadi dasar penetapan fokus analisis pada tahap-tahap berikutnya.



Gambar 2. *Defect* Produk

Sumber: Data *Problem Report Claim Customer* PT. Citra Plastik Makmur (2025)

Karakteristik keempat *defect* tersebut berbeda satu sama lain: *defect* penyok pada produk *Seat Spring B74* berupa perubahan bentuk permukaan akibat tertumpuk dengan produk *Weight B74* yang lebih berat saat *handling* dan penyimpanan. *Defect* salah label pada produk *Grip Comp Throttle* terjadi karena ketidaksesuaian antara label dan aktual *part* akibat kesalahan pengambilan *box* yang berfisik serupa. *Defect chipping* pada produk *Weight B74* dipicu oleh perubahan *parameter setting* V1 dan S1, sedangkan *defect* salah fisik pada produk *Assy Mirror LH* disebabkan tercampurnya dua tipe *part* berbeda pada proses *supply* dan *packaging*. Variasi penyebab tersebut menunjukkan bahwa persoalan kualitas di perusahaan bersifat lintas proses yang mencakup *handling*, verifikasi manual, parameter mesin, dan pengendalian *supply*, bukan sekadar persoalan teknis pada satu tahap produksi saja, sebuah karakteristik yang relevan bagi industri *injection molding* skala menengah dengan variasi produk tinggi seperti yang diteliti dalam penelitian ini.

Measure

Selanjutnya, tahap *measure* dilakukan untuk mengevaluasi kapabilitas proses melalui perhitungan *defect rate*, DPMO, dan *level sigma*. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 3.

$$Defect Rate = \frac{Jumlah Defect}{Total Produksi} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 3. Tabel Hasil Perhitungan *Defect Rate*

Nama Produk	Jenis Defect	Jumlah Defect (pcs)	Total Produksi (pcs)	Defect Rate (%)
Seat Spring B74	Penyok fd	40	5.601	0,71
Grip Comp Throttle (XB-976)	Salah Label	40	891	4,49
Weight B74	Chipping	39	18.292	0,21
Assy Mirror LH (XD-832)	Salah Fisik	7	615	1,14
Total		126	25.399	

Total *defect* yang lolos ke *customer* dari keempat produk yang dianalisis sebanyak 126 pcs dari total produksi 25.399 pcs. Perhitungan *defect rate* menunjukkan bahwa *defect* salah label pada produk *Grip Comp Throttle* memiliki *defect rate* tertinggi sebesar 4,49%, jauh di atas *defect rate* penyok (0,71%), salah fisik (1,14%), maupun *chipping* (0,21%). Tingginya angka ini mengindikasikan perlunya perhatian khusus pada proses verifikasi label sebelum produk dikirimkan ke *customer*.

Selanjutnya, nilai *Defect Per Million Opportunities* (DPMO) dihitung menggunakan persamaan (3) dan dikonversi menjadi *level sigma* menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.

$$DPMO = \frac{Jumlah Defect}{(Jumlah Produksi \times Opportunity)} \times 1.000.000 \quad (3)$$

$$Nilai Sigma = NORMSINV(1 - \frac{DPMO}{1.000.000}) + 1,5 \quad (4)$$

Tabel 4. Tabel Hasil Perhitungan DPMO dan *Level Sigma*

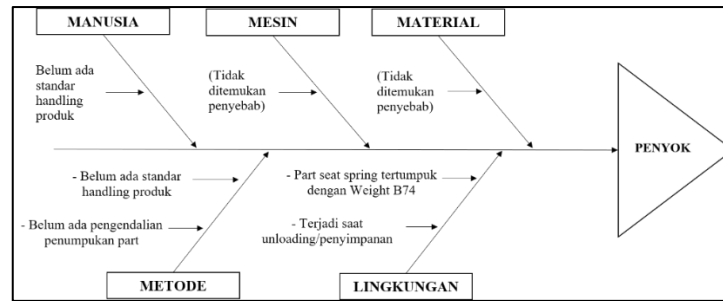
Nama Produk	Jenis Defect	Jumlah Defect (pcs)	Jumlah Produksi (pcs)	DPMO	Level Sigma
Seat Spring B74	Penyok	40	5.601	7.141,58	3,95
Grip Comp Throttle (XB-976)	Salah Label	40	891	44.893,38	3,20
Weight B74	Chipping	39	18.292	2.132,08	4,36
Assy Mirror LH (XD-832)	Salah Fisik	7	615	11.382,11	3,78
Rata-rata				16.387,29	3,82

Berdasarkan hasil perhitungan DPMO dan *level sigma*, *defect* salah label pada produk *Grip Comp Throttle* memiliki nilai DPMO tertinggi sebesar 44.893,38 dengan *level sigma* 3,20, sedangkan *defect chipping* pada produk *Weight B74* memiliki nilai DPMO terendah sebesar 2.132,08 dengan *level sigma* 4,36. Rata-rata nilai DPMO sebesar 16.387,29 dengan rata-rata *level sigma* 3,82 menunjukkan bahwa kapabilitas proses produksi masih belum mencapai tingkat *Six Sigma*, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut terhadap faktor penyebab utama sebagai dasar penyusunan usulan perbaikan. Hasil ini sejalan dengan kajian Soni et al. yang menyatakan bahwa proses dengan *level sigma* pada kisaran tiga hingga empat masih memerlukan penerapan DMAIC secara berkelanjutan untuk meningkatkan kapabilitas proses [23].

Analyze

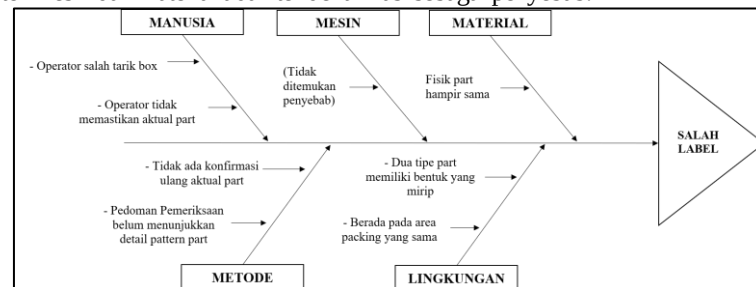
Pada tahap *Analyze*, dilakukan identifikasi akar penyebab setiap *defect* dominan yang lolos ke *customer* menggunakan diagram *fishbone*. Selanjutnya, hasil identifikasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar analisis FMEA untuk menentukan prioritas risiko, sebagai dasar penyusunan usulan perbaikan.

Analisis menunjukkan bahwa *defect* penyok disebabkan oleh proses *handling* setelah produksi, yaitu produk *Seat Spring B74* berpotensi tertumpuk dengan produk *Weight B74* yang memiliki bobot lebih besar sehingga menyebabkan deformasi pada permukaan produk. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh belum adanya standar *handling* dan pengendalian penumpukan produk, sedangkan faktor mesin dan material tidak teridentifikasi sebagai penyebab.



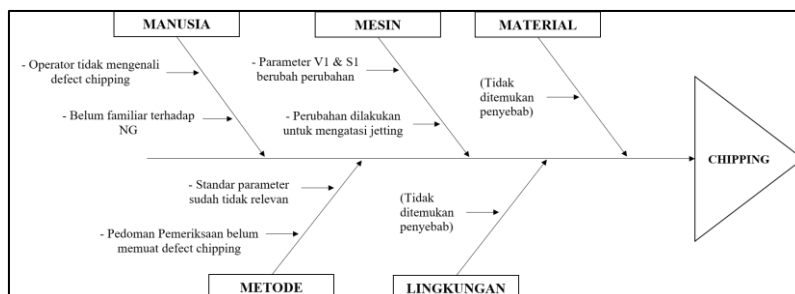
Gambar 3. Fishbone Diagram Defect Penyok

Berdasarkan diagram *fishbone*, defect salah label disebabkan oleh kesalahan operator dalam mengambil box serta tidak melakukan konfirmasi kesesuaian antara label dan produk aktual pada proses *packaging*. Selain itu, prosedur pemeriksaan belum memberikan informasi *visual* yang memadai mengenai perbedaan kedua tipe produk sehingga kesalahan tidak terdeteksi, sedangkan faktor mesin dan material tidak teridentifikasi sebagai penyebab.



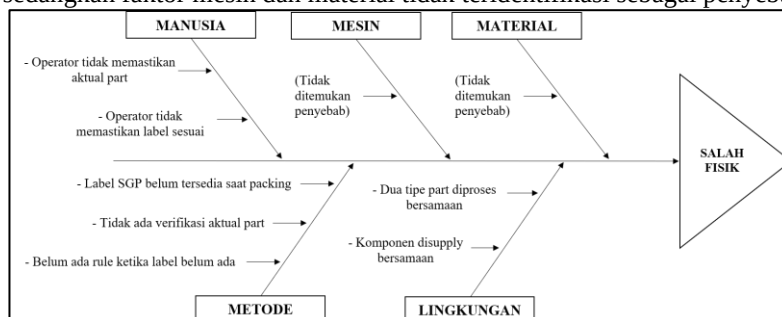
Gambar 4. Fishbone Diagram Defect Salah Label

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa *defect chipping* dipicu oleh perubahan parameter proses V1 dan S1 yang masih berada dalam batas standar, tetapi sudah tidak sesuai dengan kondisi proses aktual. Defect ini lolos ke *customer* karena operator belum mengenali karakteristik *chipping* dan pedoman pemeriksaan belum mencantumkannya sebagai item inspeksi, sedangkan faktor material dan lingkungan tidak teridentifikasi sebagai penyebab.



Gambar 5. Fishbone Diagram Defect Chipping

Analisis terhadap *defect* salah fisik menunjukkan bahwa kesalahan terjadi karena dua tipe produk diproses secara bersamaan, sementara label pelanggan belum tersedia sehingga verifikasi kesesuaian produk sebelum pemasangan label tidak dilakukan secara optimal. Akibatnya, operator tidak memastikan kesesuaian antara label dan produk aktual, sedangkan faktor mesin dan material tidak teridentifikasi sebagai penyebab.



Gambar 6. Fishbone Diagram Defect Salah Fisik

Secara keseluruhan, keempat diagram *fishbone* tersebut menunjukkan pola keterkaitan yang konsisten antara faktor metode dan faktor manusia sebagai penyebab dominan, sementara faktor mesin, material, dan lingkungan secara umum tidak teridentifikasi sebagai penyebab pada keempat jenis *defect*. Pada *defect* penyok, ketiadaan standar *handling* pada faktor metode berinteraksi dengan faktor manusia berupa kelalaian operator dalam menumpuk produk berdasarkan bobot, sehingga kedua faktor tersebut saling memperkuat dan menghasilkan deformasi permukaan produk. Pola serupa terlihat pada *defect* salah label dan salah fisik, yaitu pedoman pemeriksaan yang belum memuat panduan *visual* dan prosedur verifikasi pada faktor metode berpadu dengan rendahnya ketelitian operator pada faktor manusia saat pengambilan *box* maupun pemasangan label, sehingga kesalahan tidak tertangkap oleh inspeksi *sampling*. Sementara itu, pada *defect chipping*, faktor metode berupa *parameter setting* yang belum mengenali karakteristik *chipping* sebagai item yang perlu diperiksa. Keterkaitan antara faktor metode yang belum terstandarisasi dan faktor manusia sebagai pelaksana proses ini menegaskan bahwa akar penyebab keempat *defect* dominan bersifat sistematis dan saling berkaitan, sehingga upaya perbaikan pada tahap *Improve* perlu menasar kedua faktor tersebut secara bersamaan, bukan hanya salah satunya.

Hasil identifikasi akar penyebab melalui diagram *fishbone* selanjutnya dianalisis menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Penilaian dilakukan berdasarkan kriteria *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) untuk memperoleh nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebagai dasar penentuan prioritas perbaikan.

Persamaan (4) RPN:

$$RPN = S \times O \times D \quad (5)$$

Tabel 5. Kriteria Penilaian *Severity*

Skala	Kriteria	Keterangan
1-2	<i>Minor</i>	Tidak beralasan untuk menduga bahwa kesalahan ini dapat menyebabkan efek yang signifikan. <i>Customer</i> mungkin tidak akan menyadari kesalahan tersebut.
3-4	<i>Low</i>	Kerusakan pada tingkat rendah, hanya menyebabkan sangat sedikit gangguan terhadap <i>customer</i> . <i>Customer</i> mungkin akan menyadari sedikit penurunan kualitas.
5-6	<i>Moderate</i>	Kesalahan menyebabkan beberapa ketidakpuasan. <i>Customer</i> merasa tidak nyaman atau terganggu dan dapat menyebabkan dibutuhkannya perbaikan yang tidak dijadwalkan.
7-8	<i>High</i>	Ketidakpuasan <i>customer</i> pada tingkat tinggi karena produk tidak dapat digunakan atau servis tidak memuaskan. Dapat menimbulkan gangguan pada proses yang berkelanjutan.
9-10	<i>Very High</i>	Tingkat kerusakan sangat tinggi saat kesalahan memengaruhi keselamatan dan melibatkan pelanggaran peraturan.

Sumber: Stamatis (1995), diadaptasi melalui Rachman et al. (2016) [24]

Tabel 6. Kriteria Penilaian *Occurrence*

Skala	Kriteria	Keterangan
1-2	Sangat Rendah	Kejadian pada tingkat kemungkinan yang sangat rendah / jarang (1 banding 10.000).
3-4	Rendah	Kejadian pada tingkat kemungkinan yang rendah. Proses dalam pengawasan statistik (1 banding 10.000).
5-6	Sedang	Kejadian pada tingkat kemungkinan yang sedang. Proses dalam pengawasan statistik dengan kesalahan yang terjadi sesekali (1 banding 20 sampai 1 banding 200).
7-8	Tinggi	Kejadian pada tingkat kemungkinan yang tinggi. Proses dalam pengawasan statistik dengan kesalahan yang sering terjadi (1 banding 100 sampai 1 banding 20).
9-10	Sangat Tinggi	Kejadian pada tingkat kemungkinan yang sangat tinggi. Kesalahan hampir pasti terjadi (1 banding 10).

Sumber: Stamatis (1995), diadaptasi melalui Rachman et al. (2016) [24]

Tabel 7. Kriteria Penilaian *Detection*

Skala	Kriteria	Keterangan
1-2	<i>Very High</i>	Pengawasan hampir sudah pasti dapat mendeteksi kecacatan. Kemungkinan produk cacat sangat kecil (1 dari 10.000). Kemampuan deteksi minimal 99,99%.
3-4	<i>High</i>	Pengawasan punya kemungkinan besar dalam mendeteksi kecacatan (1 dari 5.000 sampai 1 dari 500). Kemampuan deteksi minimal 99,8%.
5-6	<i>Moderate</i>	Pengawasan mungkin mendeteksi kecacatan (1 dari 200 sampai 1 dari 50). Kemampuan deteksi minimal 98%.
7-8	<i>Low</i>	Pengawasan lebih mungkin tidak mendeteksi kecacatan (1 dari 20). Kemampuan deteksi minimal 90%.
9-10	<i>Very Low</i>	Pengawasan sangat mungkin tidak mendeteksi kecacatan (1 dari 10). Barang tidak di cek atau tidak dapat di cek. Kemampuan deteksi 90% atau lebih rendah.

Sumber: Stamatis (1995), diadaptasi melalui Rachman et al. (2016) [24]

Tabel 8. Hasil Analisis FMEA

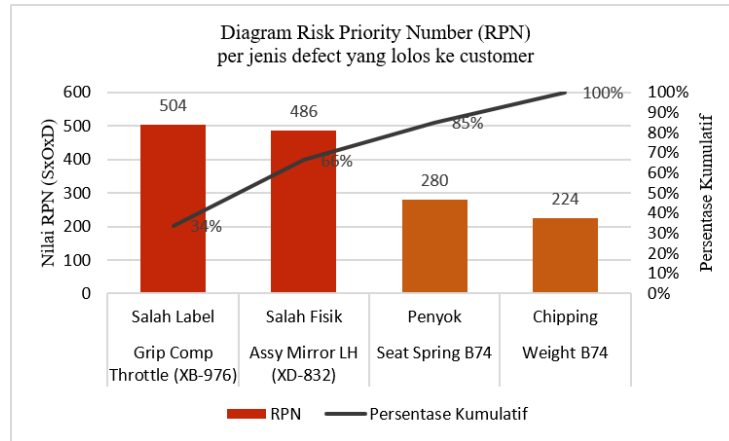
Jenis Defect	Failure Mode	Failure Effect	Potential Cause	Current Control	S	O	D	RPN
Penyok	Defect penyok lolos ke customer.	Customer complaint, stock check, biaya sortir dan rework.	Penumpukan produk tanpa standar handling dan pemisahan area penyimpanan.	Final inspection dilakukan, namun belum mendeteksi defect pasca handling.	7	5	8	280
Salah Label	Ketidaksesuaian label dengan produk tidak terdeteksi saat packaging.	Produk berpotensi salah pasang dan menimbulkan customer complaint.	Kesalahan pengambilan box, tidak ada panduan visual, dan sampling tidak mendeteksi.	Visual inspection dan pengecekan sampling dilakukan, namun belum efektif mendeteksi kesalahan label.	8	7	9	504
Chipping	Defect chipping tidak terdeteksi saat inspeksi.	Customer complaint, stock check, dan penyesuaian parameter proses.	Parameter proses tidak sesuai kondisi aktual, operator belum mengenali chipping, dan pedoman inspeksi belum mencantumkan chipping.	Inproses inspection dan final inspection dilakukan, namun chipping belum menjadi item pemeriksaan	7	4	8	224
Salah Fisik	Ketidaksesuaian tipe part tidak terdeteksi pada proses assembly dan packaging.	Produk tidak dapat digunakan di lini customer, sehingga memerlukan replacement.	Dua tipe part diproses bersamaan, label belum tersedia, verifikasi produk tidak dilakukan.	Visual inspection dilakukan, namun belum mencakup verifikasi kesesuaian produk sebelum packaging.	9	6	9	486

Penilaian severity (S), occurrence (O), dan detection (D) terhadap keempat akar penyebab menghasilkan nilai Risk Priority Number (RPN) yang bervariasi. Hasil FMEA pada Tabel 8 menunjukkan bahwa seluruh defect dominan memiliki nilai Detection pada rentang 8-9, yang menegaskan bahwa kelemahan utama bukan hanya pada munculnya defect itu sendiri, melainkan pada ketidakmampuan sistem inspeksi internal mencegah defect tersebut lolos ke customer. Temuan ini mendukung konsep Quality 4.0 yang menekankan pentingnya penguatan kemampuan deteksi dan pengendalian proses sebagai bagian dari peningkatan kualitas secara berkelanjutan [25].

Tabel 9. Prioritas Perbaikan Berdasarkan Nilai RPN

Prioritas	Nama Produk	Jenis Defect	S	O	D	RPN
1	Grip Comp Throttle (XB-976)	Salah Label	8	7	9	504
2	Assy Mirror LH (XD-832)	Salah Fisik	9	6	9	486
3	Seat Spring B74	Penyok	7	5	8	280
4	Weight B74	Chipping	7	4	8	224

Berdasarkan hasil analisis FMEA, defect salah label pada produk Grip Comp Throttle (XB-967) memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 504, diikuti defect salah fisik pada produk Assy Mirror LH (XD-832) sebesar 486, defect penyok pada produk Seat Spring B74 sebesar 280, dan defect chipping pada produk Weight B74 sebesar 224. Urutan nilai RPN tersebut menunjukkan prioritas risiko yang menjadi dasar penyusunan usulan perbaikan pada tahap Improve.



Gambar 7. Diagram Prioritas RPN dan Tingkat Risiko per Jenis Defect

Gambar 7 memvisualisasikan keempat nilai RPN secara berurutan disertai persentase kumulatifnya, sekaligus mengelompokkan setiap *defect* ke dalam tiga tingkat risiko. Kategori risiko tertinggi ($RPN \geq 400$) mencakup salah label dan salah fisik yang bersama-sama menyumbang lebih dari 65% dari total nilai RPN, sedangkan penyok dan *chipping* berada pada kategori risiko sedang. Pengelompokan ini mempertegas bahwa upaya perbaikan pada tahap *Improve* perlu difokuskan terlebih dahulu pada kedua *defect* berisiko tinggi tersebut sebelum menyasar *defect* berisiko sedang, sehingga alokasi sumber daya perbaikan menjadi lebih terarah dan proporsional terhadap tingkat risikonya.

Penetapan prioritas perbaikan pada *defect* salah label dan salah fisik dapat dijustifikasi dari tiga aspek. Pertama, dari aspek dampak terhadap *customer*, kedua *defect* tersebut menyebabkan produk tidak dapat digunakan sesuai fungsinya sehingga berisiko menimbulkan *replacement* dan penurunan kepercayaan pelanggan yang lebih besar dibandingkan *defect* penyok maupun *chipping* yang bersifat estetis. Kedua, dari aspek kemudahan penerapan, rekomendasi perbaikan untuk kedua *defect* ini, yaitu penguatan prosedur verifikasi label serta pemisahan area penyimpanan dan *supply* antar tipe *part*, tidak memerlukan investasi mesin baru sehingga berpotensi diterapkan dalam waktu relatif singkat dengan biaya rendah. Ketiga, dari aspek dampak potensial terhadap pengurangan *defect*, mengingat *defect* salah label pada produk *Grip Comp Throttle* memiliki *defect rate* tertinggi sebesar 4,49% dan seluruh *defect* dominan memiliki nilai *Detection* tinggi pada rentang 8-9, penerapan verifikasi ganda dan pemisahan *supply* pada kedua produk tersebut berpotensi memberikan penurunan DPMO dan peningkatan *level sigma* yang lebih signifikan dibandingkan perbaikan pada *defect* dengan RPN lebih rendah. Dengan demikian, nilai RPN tidak hanya berfungsi sebagai alat pengurutan risiko, tetapi juga menjadi dasar penentuan prioritas alokasi sumber daya perbaikan yang proporsional terhadap potensi dampaknya.

Improve

Tahap *Improve* difokuskan pada penyusunan usulan perbaikan berdasarkan penyebab dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi. Rekomendasi perbaikan disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekomendasi Perbaikan Berdasarkan Hasil Analisis FMEA

Prioritas	Jenis Defect	Akar Penyebab Utama	Rekomendasi Perbaikan
1	Salah Label	Pedoman Pemeriksaan belum ada panduan <i>visual</i> perbedaan antar tipe <i>part</i> ; pengecekan <i>sampling</i> tidak mendeteksi.	Pembaruan Pedoman Pemeriksaan dengan panduan <i>visual</i> ; penyusunan prosedur verifikasi label dan aktual <i>part</i> ; pemisahan area penyimpanan antar tipe <i>part</i> .
2	Salah Fisik	Tidak ada aturan penanganan saat label SGP belum tersedia; dua tipe <i>part</i> diproses bersamaan tanpa pemisahan.	Penyusunan aturan penanganan saat label belum tersedia; pemisahan <i>supply</i> dua tipe <i>part</i> ; penambahan prosedur verifikasi aktual <i>part</i> sebelum <i>packaging</i> .
3	Penyok	Belum ada standar <i>handling</i> ; tidak ada pemisahan area penyimpanan berdasarkan bobot.	Penyusunan standar <i>handling</i> dan penyimpanan; pemisahan area penyimpanan berdasarkan bobot; penambahan pengecekan kondisi produk pada <i>outgoing inspection</i> .
4	Chipping	Pedoman Pemeriksaan belum mencantumkan item pengecekan <i>chipping</i> ; operator tidak familiar dengan <i>defect chipping</i> .	Pembaruan Pedoman pemeriksaan dengan item pengecekan <i>chipping</i> ; evaluasi dan pembaruan standar <i>parameter setting</i> ; sosialisasi dan pelatihan operator.

Mengacu pada urutan prioritas RPN, usulan perbaikan yang disusun diharapkan dapat meminimalkan *defect* yang lolos ke *customer* melalui penguatan sistem inspeksi, standarisasi prosedur *handling* dan *packaging*, serta pembaruan pedoman pemeriksaan. Implementasi usulan tersebut selanjutnya didukung melalui tahap *Control* untuk menjaga keberlanjutan perbaikan.

Control

Pada tahap *Control*, disusun rekomendasi pengendalian kualitas untuk mendukung penerapan usulan perbaikan secara berkelanjutan. Rekomendasi tersebut disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Rekomendasi Pengendalian Kualitas

Prioritas	Jenis Defect	Rekomendasi Improve	Rekomendasi Control
1	Salah label	Pembaruan Pedoman Pemeriksaan; penyusunan prosedur verifikasi label; dan pemisahan area penyimpanan.	Monitoring kepatuhan verifikasi oleh <i>supervisor</i> QC serta evaluasi berkala terhadap pedoman pemeriksaan.
2	Salah Fisik	Penyusunan prosedur penanganan saat label belum tersedia; pemisahan <i>supply</i> produk; verifikasi aktual <i>part</i> sebelum <i>packaging</i> .	Monitoring proses <i>supply</i> dan <i>packaging</i> serta dokumentasi hasil verifikasi sebelum pengiriman.
3	Penyok	Standarisasi <i>handling</i> dan penyimpanan serta penambahan <i>outgoing inspection</i> .	Monitoring kondisi penyimpanan dan pelaksanaan <i>outgoing inspection</i> secara konsisten menggunakan <i>checklist</i> .
4	<i>Chipping</i>	Pembaruan Pedoman Pemeriksaan inspeksi; evaluasi <i>parameter</i> proses, dan pelatihan operator.	<i>Monitoring parameter</i> proses secara berkala; evaluasi jumlah <i>defect</i> , serta sosialisasi pedoman inspeksi yang diperbarui.

Guna memastikan efektivitas penerapan rekomendasi pada Tabel 11, setiap tahap *Control* perlu dilengkapi indikator keberhasilan yang terukur. Indikator yang dapat digunakan meliputi: penurunan *defect rate* dan nilai DPMO pada masing-masing produk dibandingkan dengan capaian periode Oktober-Desember 2025 sebagai *baseline*, peningkatan *level sigma* menuju target minimal 4,0 pada periode evaluasi berikutnya, tingkat kepatuhan pelaksanaan verifikasi label dan aktual *part* yang dipantau melalui *checklist* harian dengan target kepatuhan minimal 95%, frekuensi temuan *chipping* dan salah label pada proses *inproses inspection* sebagai indikator awal efektivitas pembaruan pedoman pemeriksaan, serta jumlah *customer claim* yang diterima setelah implementasi dibandingkan dengan 13 klaim pada periode penelitian. Penetapan indikator tersebut memungkinkan *supervisor* QC memantau keberhasilan implementasi perbaikan secara kuantitatif, bukan hanya berdasarkan kepatuhan procedural semata.

Sebagai pelengkap visualisasi hasil penelitian, grafik tren *defect rate* dan DPMO sebelum dan sesudah implementasi perbaikan akan memperkuat ilustrasi dampak rekomendasi yang diusulkan, dengan cara membandingkan capaian pada periode Oktober-Desember 2025 sebagai *baseline* terhadap capaian pada periode evaluasi setelah rekomendasi Tabel 10 dan Tabel 11 diterapkan. Mengingat penelitian ini masih terbatas pada tahap penyusunan usulan dan belum sampai pada tahap implementasi, grafik tren tersebut belum dapat disajikan pada penelitian ini, sehingga direkomendasikan menjadi bagian dari luaran penelitian lanjutan sebagaimana dijelaskan pada bagian Simpulan.

Simpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi empat jenis *defect* dominan yang lolos ke *customer*, yaitu penyok, salah label, *chipping*, dan salah fisik dengan total 126 *defect* dari 25.399 produk yang diproduksi. Hasil penerapan *Six Sigma* menunjukkan rata-rata *level sigma* sebesar 3,82, yang mengindikasikan bahwa kapabilitas proses masih perlu ditingkatkan. Analisis *fishbone* menunjukkan bahwa penyebab *defect* tidak hanya berasal dari proses *injection molding*, tetapi juga dari proses *handling*, *packaging*, dan *supply* yang belum didukung standar kerja dan sistem verifikasi yang memadai. Selanjutnya, analisis FMEA menetapkan urutan prioritas risiko berdasarkan nilai RPN, yaitu salah label (504), salah fisik (486), penyok (280), dan *chipping* (224). Berdasarkan hasil tersebut, penerapan *Six Sigma* yang dipadukan dengan FMEA mampu menjawab tujuan penelitian melalui identifikasi *defect* dominan, penentuan akar penyebab, penetapan prioritas risiko, serta penyusunan rekomendasi perbaikan dan pengendalian kualitas untuk meminimalkan *defect* yang lolos ke *customer*.

Secara praktis, hasil penelitian ini menghasilkan rekomendasi perbaikan yang dapat menjadi pertimbangan bagi PT. Citra Plastik Makur dalam meningkatkan sistem pengendalian kualitas. Rekomendasi tersebut meliputi penyempurnaan pedoman pemeriksaan, penguatan proses verifikasi label dan kesesuaian fisik produk, penyusunan prosedur *handling* dan

packaging, serta evaluasi parameter proses dan pelatihan operator. Apabila diterapkan secara konsisten, rekomendasi tersebut berpotensi membantu menurunkan jumlah *defect* yang lolos ke *customer*, menekan nilai DPMO, serta meningkatkan kapabilitas proses. Penelitian ini memiliki keterbatasan karena rekomendasi perbaikan belum diimplementasikan sehingga efektivitasnya belum dapat dievaluasi secara empiris, serta hanya menggunakan data periode Oktober-Desember 2025. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan mengimplementasikan usulan perbaikan dan mengevaluasi dampaknya terhadap nilai DPMO dan *level sigma*, serta menggunakan periode pengamatan yang lebih panjang, minimal satu tahun, agar hasil analisis lebih representatif dan mampu menggambarkan pola *defect* musiman secara menyeluruh. Selain itu, penelitian lanjutan juga disarankan menguji penerapan integrasi *Six Sigma* dan FMEA pada lebih banyak lini produksi dan di luar keempat produk yang diteliti, sehingga generalisasi hasil penelitian ini terhadap konteks proses *injection molding* yang lebih beragam dapat diyakini.

Daftar Pustaka

- [1] S. Wibawansyah dan A. Akbar, "Identify Product Defects In The Injection Molding Process," *J. Ris. Manaj. dan Bisnis Fak. Ekon. UNIAT*, vol. 4, no. 1, hal. 175–182, 2024.
- [2] A. D. Manullang, A. N. Haryudiniarti, S. Restuasih, dan I. B. I. Widi, "Analisis pengendalian kualitas air minum dalam kemasan (AMDK) CV . XYZ untuk meningkatkan kepuasan pelanggan dengan metode quality function deployment Analysis of bottled water quality control at CV . XYZ to improve customer satisfaction using the quali," vol. 7, hal. 190–202, 2026, doi: 10.37373/jenius.v7i1.2025.
- [3] Gifa Nadya Puteri Gunawan, M. Dzikron A. M, dan Dewi Shofi Mulyati, "Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Six Sigma untuk Meminimalisir Cacat Produk di CV. XYZ," *J. Ris. Tek. Ind.*, hal. 33–42, 2025, doi: 10.29313/jrti.v5i1.6422.
- [4] W. M. Riyan Mirdan Faris*, Rassya Chaerunnisa, Kalfajrin Kurniaji, Yoedani, "Analisis Pengendalian Kualitas pada Proses Produksi dengan Metode Six Sigma (Studi Kasus PT. Busana Indah Global)," *J. Permadi Perancangan, Manufaktur, Mater. dan Energi*, vol. 6, no. 01 SE-Articles, hal. 25–40, 2024, doi: 10.52005/permadi.v5i03.129.
- [5] A. A. Anjani, L. Tripermata, dan R. A. Pebriani, "Pengendalian Kualitas Produk dan Pengurangan Produk Gagal Dalam Meningkatkan Pendapatan Marginal Pada Vulkanisir Sumber Rejeki," *EKOMA: Jurnal Ekonomi, Manajemen, Akuntansi*, vol. 3, no. 4, hal. 1418–1437, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.ulilalbabinstitute.id/index.php/EKOMA/article/view/3426>
- [6] Agus Kholistiyanto dan Sulistyono Sulistyono, "Analisa Dampak Variasi Parameter Temperatur Injeksi dan Waktu Pendinginan Terhadap Cacat Produk Cap Tube Oval Pada Proses Injection Moulding," *Mars J. Tek. Mesin, Ind. Elektro Dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 1, hal. 172–183, 2025, doi: 10.61132/mars.v3i1.672.
- [7] I. Nursyamsi dan A. Momon, "Analisa Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Seven Tools untuk Meminimalkan Return Konsumen di PT. XYZ," *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 1, hal. 2701–2708, 2022, doi: 10.32672/jse.v7i1.3878.
- [8] N. Dwiyantri dan A. Dwi Valentin, "Analisis Pengendalian Kualitas Dengan Penerapan Metode Six Sigma Pada Produk Rak Gudang Di Pt.Barmag Racking Indonesia," *J. Tek. Ind. Manaj. dan Manufaktur*, vol. 2, no. 1 SE-Tim Redaksi Jurnal JTIM, hal. 132–143, Nov 2025, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.up45.ac.id/index.php/jtim/article/view/2279>
- [9] H. W. Siska Apri Andita1, Siti Rahayu1, "Penerapan Metode Six Sigma dan FMEA untuk Meningkatkan Kualitas," *Karya Lintas Ilmu Bid. Rekayasa Arsitektur, Sipil, Ind.*, vol. 8, no. 2, hal. 58–69, 2025.
- [10] A. Z. Saputri dan F. N. Azizah, "Quality Control Analysis of Back Lock Product Using Six Sigma Method at PT Artria Widya," *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 5, no. 1, hal. 113–126, 2023, doi: 10.46574/motivection.v5i1.197.
- [11] R. Fajri Anasrul, "Penerapan Metode Six Sigma dan 5S Untuk Meningkatkan Produktivitas dan Efektivitas Pada Produksi Batako (Studi Kasus UMKM XYZ)," *J. Appropriate Technol. Community Serv.*, vol. 3, no. 1, hal. 14–23, 2022, doi: 10.20885/jattec.vol3.iss1.art2.
- [12] A. Ahmad *et al.*, "Analisis Defect Produk Handle No . 1 pada Proses Injection Molding Menggunakan Diagram Pareto dan Fishbone data , dengan tambahan grafik garis yang menunjukkan frekuensi kumulatif dari setiap," *J. Ilm. Penelit. Mhs.*, vol. 4, no. 1, 2026.
- [13] C. S. Boangmanalu, W. N. AK, dan S. R. Sibuea, "Penerapan FMEA untuk Mengoptimalkan Kualitas Produk Jerrycan Plastik di Departemen Moulding PT. PHPO Belawan," *Ind. J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 9, no. 2, hal. 357–370, 2025.

- [14] M. Basjir, S. Suhartini, dan N. Robbi, “Pengendalian Kualitas Produk Plastik Menggunakan Six Sigma Guna Meningkatkan Daya Saing,” *J. Res. Technol.*, vol. 9, no. 1, hal. 33–46, 2023, doi: 10.55732/jrt.v9i1.888.
- [15] D. Susilo, S. Ramadhania, dan S. Hanan, “Implementation of Statistical Process Control (SPC) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) on Sheet Film Production Process in PET Film Company,” *J. Taguchi J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 4, no. 2, hal. 397–414, 2024.
- [16] N. T. Al Fasya, N. Muflihah, Sumarsono, dan A. Mayasari, “Pendekatan Lean Six Sigma Untuk Meningkatkan Kualitas Produk (Studi Kasus Pt.Karya Jati Global),” *Bid. Inov. Pengelolaan Ind.*, vol. 5, no. 1, 2025, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unhasy.ac.id/index.php/invantri/article/view/10425/5215>
- [17] A. Merjani dan N. I. B. Siahaan, “Pengendalian Kualitas Dengan Metode Six Sigma Dmaic Pada Produk Top Body Cover Fast 5280 Untuk Mengurangi Customer Complain (Studi Kasus : Pt. Batam Xingrui Teknologi),” *PROFISIENSI J. Progr. Stud. Tek. Ind.*, vol. 10, no. 1, 2022.
- [18] M. Y. Faruq, S. Suhendra, dan G. Simon, “Implementasi Failure Mode and Effect Analysis (Fmea) Berbasis Pdca Cycle untuk Meningkatkan Kualitas Komponen Stamping di PT Xyz,” *J. Sos. dan Teknol.*, vol. 6, no. 3, hal. 1088–1110, 2026.
- [19] M. F. N. Mohammad Faisal Nurfaizi dan Widya Setiafindari, “Upaya Perbaikan Kualitas Produk Dengan Metode Six Sigma dan FMEA di PT Yogya Presisi Tehnikatama Industri,” *J. Ilm. Tek. Ind. Dan Inov.*, vol. 2, no. 4, hal. 1–16, 2024, doi: 10.59024/jisi.v2i4.803.
- [20] A. F. Burhanuddin dan W. Sulistiyowati, “Quality Control Design to Reduce Shoes Production Defects Using Root Cause Analysis and Lean Six Sigma Methods Perancangan Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi Cacat Produksi Sepatu Menggunakan Metode Root Cause Analysis Dan Lean Six Sigma,” *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 2, no. 2, 2022.
- [21] L. Milana, W. Whydiantoro, dan Fikri Nur Hamzah, “Analisis Quality Control Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (Fmea) Pada Produk Grille Air Inlet,” *J. Ilm. Teknol. Infomasi Terap.*, vol. 10, no. 2, 2024, doi: 10.33197/jitter.vol10.iss2.2024.1933.
- [22] R. Azura, Nazaruddin, Suherman, M. I. H. Umam, dan M. Nur, “Analisis Kualitas Produk Tahu Dalam Upaya Meminimalkan Produk Cacat Menggunakan Metode Sixsigmadan Fuzzy Fmeapadapabrik Tahu Pak Budi,” *J. Perangkat lunak*, vol. 6, no. 1, hal. 66–80, 2024.
- [23] T. Pongboonchai-Empl, J. Antony, J. A. Garza-Reyes, T. Komkowski, dan G. L. Tortorella, “Integration of Industry 4.0 technologies into Lean Six Sigma DMAIC: a systematic review,” *Prod. Plan. Control*, vol. 35, no. 12, hal. 1403–1428, 2024, doi: 10.1080/09537287.2023.2188496.
- [24] A. Rachman, H. Adianto, dan G. P. Liansari, “Perbaikan Kualitas Produk Ubin Semen Failure Mode and Effect Analysis Dan Failure Tree Analysis,” vol. 4, no. 02, hal. 24–35, 2016.
- [25] H. C. Liu, R. Liu, X. Gu, dan M. Yang, “From total quality management to Quality 4.0,” *Front. Eng. Manag.*, vol. 10, no. 2, hal. 191–205, 2023.