E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Peningkatan Kualitas Proses *Packaging Inner* Industri Makanan Melalui Integrasi SPC, RCA, FMEA, Dan *Sensor-Based Poka-Yoke*

Abby Yazid Bustommy[1], Jojor Taruli[2], Abimanyu[3]
[1]Teknik Industri, Universitas Tangerang Raya, abbyyazid@untara.ac.id
[2]Teknik Industri, Universitas Tangerang Raya, lilifritz830@gmail.com
[3]Teknik Industri, Universitas Tangerang Raya, abimanyu@untara.ac.id

Abstrak

Tingginya tingkat *reject* pada proses *packaging inner* menjadi permasalahan penting dalam industri makanan karena menurunkan kualitas produk, meningkatkan biaya produksi, dan mengurangi efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi akar penyebab *reject* serta mengevaluasi efektivitas kerangka peningkatan kualitas terintegrasi yang menggabungkan *Statistical Process Control* (SPC), *Root Cause Analysis* (RCA), *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dan *Poka-Yoke* berbasis sensor pada PT CANDY JTK. Penelitian menggunakan pendekatan studi kasus kuantitatif dengan data Juli–Desember 2025 sebagai *baseline* dan Januari–Juni 2026 sebagai periode evaluasi. SPC digunakan untuk memantau kestabilan proses, RCA mengidentifikasi akar penyebab, FMEA memprioritaskan risiko berdasarkan *Risk Priority Number* (RPN), sedangkan *Poka-Yoke* berbasis sensor diterapkan untuk mencegah kesalahan proses. Hasil menunjukkan penurunan *reject* sebesar 28,36%, dari 53.500 kg menjadi 38.330 kg per bulan, penurunan tingkat *reject* dari 4,31% menjadi 3,05%, peningkatan produksi sebesar 1,41%, serta penghematan biaya sekitar Rp303,4 juta per bulan. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi SPC, RCA, FMEA, dan *Poka-Yoke* berbasis sensor efektif dalam meningkatkan kualitas proses dan efisiensi operasional industri makanan.

Kata Kunci: *Statistical Process Control; Root Cause Analysis; Failure Mode and Effects Analysis; Poka-Yoke; Packaging Inner.*

Abstract

High reject rates in the inner packaging process remain a critical issue in the food manufacturing industry because they reduce product quality, increase production costs, and lower operational efficiency. This study aims to identify the root causes of product rejects and evaluate the effectiveness of an integrated quality improvement framework combining Statistical Process Control (SPC), Root Cause Analysis (RCA), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), and sensor-based Poka-Yoke at PT CANDY JTK. A quantitative case study was conducted using production data from July–December 2025 as the baseline period and January–June 2026 as the post-improvement evaluation period. SPC was applied to monitor process stability, RCA to identify root causes, FMEA to prioritize risks based on the Risk Priority Number (RPN), and sensor-based Poka-Yoke to prevent process errors. The proposed framework reduced monthly rejects by 28.36%, from 53,500 kg to 38,330 kg, lowered the reject rate from 4.31% to 3.05%, increased production by 1.41%, and generated estimated cost savings of approximately IDR 303.4 million per month. These findings demonstrate that the integrated framework effectively improves process quality and operational efficiency in food manufacturing.

Keywords: *Statistical Process Control; Root Cause Analysis; Failure Mode and Effects Analysis; Poka-Yoke; Packaging Inner.*

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Corresponding Author:
Abby Yazid Bustommy

Universitas Tangerang Raya; abbyyazid@untara.ac.id

PENDAHULUAN

Industri manufaktur saat ini menghadapi tuntutan yang semakin tinggi untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten, efisiensi operasional yang optimal, serta kemampuan bersaing di pasar global. Dalam industri makanan, kualitas produk tidak hanya berkaitan dengan kepuasan pelanggan, tetapi juga berhubungan langsung dengan keamanan pangan, kepatuhan terhadap regulasi, dan keberlanjutan operasional perusahaan. Oleh karena itu, pengendalian kualitas telah berkembang dari aktivitas inspeksi produk menjadi pendekatan yang berorientasi pada pengendalian proses dan pencegahan cacat sejak tahap produksi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem manajemen kualitas yang didukung oleh pengendalian statistik, continuous improvement, dan pemanfaatan teknologi digital mampu meningkatkan stabilitas proses, mengurangi variasi produksi, serta meningkatkan kinerja operasional perusahaan (Bertocci & Mannino, 2023; Qian et al., 2022; Zhang et al., 2021).

Seiring dengan perkembangan Industry 4.0, sistem pengendalian kualitas juga mengalami transformasi menuju pendekatan berbasis data (*data-driven quality management*). Pemanfaatan sensor, analisis data, dan sistem monitoring secara real-time memungkinkan perusahaan mendeteksi penyimpangan proses secara lebih cepat dibandingkan metode inspeksi konvensional. Meskipun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa kemampuan mendeteksi penyimpangan proses belum secara otomatis mampu menyelesaikan permasalahan kualitas apabila tidak diikuti dengan identifikasi akar penyebab serta implementasi tindakan pencegahan yang efektif. Dengan demikian, perusahaan membutuhkan pendekatan peningkatan kualitas yang tidak hanya mampu mendeteksi variasi proses, tetapi juga mengidentifikasi penyebab utama terjadinya cacat serta mencegah terulangnya kegagalan proses secara sistematis (Adley, 2014; Destouet et al., 2023; Yousefi et al., 2014; Yu et al., 2018).

Proses *packaging* merupakan salah satu tahapan kritis dalam sistem produksi industri makanan karena berfungsi menjaga kualitas produk, memperpanjang umur simpan, melindungi produk dari kontaminasi, serta memastikan produk memenuhi standar keamanan pangan selama distribusi. Kegagalan pada tahap *packaging* tidak hanya menyebabkan produk *reject*, tetapi juga meningkatkan biaya produksi melalui aktivitas *rework*, *scrap*, penghentian lini produksi, serta pemborosan material dan tenaga kerja. Selain berdampak pada efisiensi operasional, cacat pada proses *packaging* juga berpotensi menurunkan kepuasan pelanggan dan citra perusahaan apabila produk yang tidak memenuhi spesifikasi sampai ke pasar. Oleh karena itu, peningkatan kualitas pada proses *packaging* menjadi salah satu fokus utama dalam sistem manajemen kualitas modern, khususnya pada industri makanan yang memiliki persyaratan mutu dan keamanan produk yang lebih ketat dibandingkan sektor manufaktur lainnya (Bertocci & Mannino, 2023; Liakos et al., 2025; Song et al., 2022; Yousefi et al., 2014).

Salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk mengendalikan kualitas proses adalah *Statistical Process Control* (SPC). SPC memanfaatkan teknik

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

statistik untuk memonitor stabilitas proses, mengidentifikasi variasi yang terjadi, serta mendeteksi penyimpangan sebelum menghasilkan produk cacat dalam jumlah besar. Melalui penggunaan *control chart*, perusahaan dapat membedakan variasi yang berasal dari penyebab umum (*common causes*) dan penyebab khusus (*special causes*), sehingga tindakan korektif dapat dilakukan secara lebih tepat. Berbagai penelitian melaporkan bahwa implementasi SPC mampu meningkatkan kapabilitas proses, mengurangi tingkat cacat, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data pada lingkungan manufaktur modern. Namun demikian, SPC pada dasarnya hanya berfungsi sebagai alat pemantauan dan deteksi variasi proses. Metode ini belum mampu menjelaskan penyebab mendasar dari penyimpangan yang terjadi maupun memberikan rekomendasi tindakan pencegahan agar cacat tidak terulang kembali (Abdul et al., 2015; Destouet et al., 2023; Zhang et al., 2021)

Untuk melengkapi keterbatasan SPC, berbagai penelitian merekomendasikan penggunaan *Root Cause Analysis* (RCA) sebagai pendekatan sistematis dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang menjadi penyebab utama terjadinya cacat produk. Melalui penggunaan *Fishbone Diagram* dan teknik *Five Whys*, RCA memungkinkan hubungan sebab-akibat dianalisis secara lebih mendalam sehingga tindakan perbaikan dapat diarahkan pada akar permasalahan, bukan hanya pada gejala yang muncul. Namun demikian, hasil RCA sering kali menghasilkan beberapa penyebab potensial yang memerlukan penentuan prioritas berdasarkan tingkat risiko. Dalam kondisi tersebut, *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) menjadi metode yang relevan karena mampu mengevaluasi setiap mode kegagalan berdasarkan tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*), sehingga menghasilkan prioritas risiko yang dapat digunakan sebagai dasar penyusunan tindakan perbaikan. Integrasi RCA dan FMEA telah banyak direkomendasikan dalam penelitian kualitas karena mampu meningkatkan efektivitas identifikasi akar penyebab sekaligus mendukung pengambilan keputusan yang lebih objektif dalam menentukan prioritas perbaikan proses (Aleksic et al., 2025; Mahto & Kumar, 2008; Pietsch et al., 2024; G. V. S. S. Sharma et al., 2018; Stamatis, 2019).

Setelah akar penyebab dan prioritas risiko berhasil diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah merancang tindakan pencegahan agar kegagalan yang sama tidak kembali terjadi. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam sistem peningkatan kualitas adalah *Poka-Yoke* atau *mistake-proofing*, yaitu metode yang dirancang untuk mencegah terjadinya kesalahan manusia maupun kegagalan proses melalui modifikasi desain, prosedur kerja, atau perangkat operasional. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa implementasi *Poka-Yoke* mampu menurunkan tingkat cacat produk, meningkatkan konsistensi proses, serta mengurangi ketergantungan terhadap inspeksi akhir. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian menerapkan *Poka-Yoke* sebagai solusi perbaikan tanpa didahului oleh analisis statistik maupun evaluasi risiko yang komprehensif. Akibatnya, rancangan perbaikan yang dihasilkan belum sepenuhnya didasarkan pada bukti kuantitatif mengenai penyebab dominan dan tingkat prioritas kegagalan proses. Oleh karena itu, integrasi *Poka-Yoke* dengan metode pengendalian kualitas lainnya diperlukan agar tindakan perbaikan yang dihasilkan lebih sistematis, tepat sasaran, dan berkelanjutan (Rozhdestvensky, 2022; Saurin et al., 2012; Stamatis, 2019).

Kajian terhadap penelitian terdahulu menunjukkan bahwa berbagai metode peningkatan kualitas telah diterapkan untuk mengurangi produk cacat pada sektor manufaktur. Penelitian mengenai *Statistical Process Control* (SPC) umumnya berfokus pada pemantauan stabilitas proses dan deteksi variasi produksi melalui

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

pendekatan statistik (Abdul et al., 2015; Destouet et al., 2023; Zhang et al., 2021). Di sisi lain, penelitian mengenai *Root Cause Analysis* (RCA) menitikberatkan pada identifikasi faktor penyebab utama yang memengaruhi kualitas produk (Mahto & Kumar, 2008; Pietsch et al., 2024), sedangkan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) banyak digunakan untuk mengevaluasi tingkat risiko setiap mode kegagalan sebagai dasar penentuan prioritas tindakan perbaikan (Aleksic et al., 2025; K. D. Sharma & Srivastava, 2018). Selain itu, *Poka-Yoke* telah terbukti efektif sebagai metode *mistake-proofing* untuk mengurangi kesalahan operator dan meningkatkan keandalan proses produksi (Rozhdestvensky, 2022; Saurin et al., 2012). Meskipun masing-masing metode memiliki keunggulan dalam aspek tertentu, sebagian besar penelitian masih mengkaji metode tersebut secara terpisah atau hanya mengombinasikan dua metode, sehingga belum menghasilkan suatu kerangka peningkatan kualitas yang terintegrasi mulai dari tahap deteksi variasi proses, identifikasi akar penyebab, evaluasi risiko, hingga implementasi tindakan pencegahan pada proses *packaging* industri makanan.

Berdasarkan hasil telaah literatur, terdapat beberapa kesenjangan penelitian yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut. Pertama, sebagian besar penelitian memanfaatkan SPC sebagai alat pemantauan proses tanpa menghubungkannya secara sistematis dengan metode identifikasi akar penyebab maupun evaluasi risiko. Kedua, penelitian mengenai RCA umumnya berhenti pada tahap identifikasi penyebab dominan sehingga belum memberikan mekanisme yang jelas untuk menentukan prioritas risiko dan merancang tindakan pencegahan yang efektif. Ketiga, implementasi FMEA lebih banyak digunakan sebagai alat penilaian risiko secara mandiri dan belum banyak diintegrasikan dengan hasil analisis SPC maupun RCA. Keempat, penelitian mengenai *Poka-Yoke* umumnya berfokus pada implementasi solusi teknis tanpa didasarkan pada proses pengambilan keputusan yang diawali oleh analisis statistik, identifikasi akar penyebab, dan evaluasi risiko secara berurutan. Selain itu, penelitian yang secara khusus membahas integrasi SPC, RCA, FMEA, dan *Poka-Yoke* dalam satu kerangka peningkatan kualitas pada proses *packaging* industri makanan masih sangat terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk mengembangkan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mendukung *continuous quality improvement* pada lingkungan manufaktur pangan.

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini mengusulkan suatu pendekatan peningkatan kualitas yang mengintegrasikan *Statistical Process Control* (SPC), *Root Cause Analysis* (RCA), *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dan *Poka-Yoke* dalam satu kerangka perbaikan yang sistematis. Dalam kerangka tersebut, SPC digunakan untuk mengidentifikasi variasi proses dan menentukan titik kritis penyimpangan, RCA digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab terjadinya cacat, FMEA digunakan untuk mengevaluasi dan memprioritaskan risiko kegagalan, sedangkan *Poka-Yoke* digunakan sebagai mekanisme pencegahan untuk mengurangi kemungkinan terulangnya kegagalan proses. Penerapan kerangka terintegrasi tersebut diharapkan mampu menghasilkan proses pengambilan keputusan yang lebih objektif dan efektif dalam upaya menurunkan tingkat *reject* pada proses *packaging* industri makanan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi metodologis berupa integrasi empat metode peningkatan kualitas dalam satu alur pengambilan keputusan, kontribusi praktis berupa rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan pada industri makanan, serta kontribusi akademik dalam memperkaya kajian mengenai pendekatan terintegrasi untuk *continuous quality improvement* pada proses *packaging*

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

METODE

2.1 Research Design

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus (*quantitative case study*) untuk mengevaluasi efektivitas kerangka peningkatan kualitas terintegrasi pada proses *packaging inner* di PT CANDY JTK. Studi kasus dipilih karena penelitian difokuskan pada penyelesaian permasalahan kualitas yang terjadi pada satu lini produksi dengan memanfaatkan data operasional perusahaan. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis tingkat *reject*, mengidentifikasi penyebab dominan, mengevaluasi tingkat risiko, serta mengukur dampak implementasi tindakan perbaikan terhadap kinerja proses.

Penelitian dilaksanakan melalui lima tahapan utama, yaitu identifikasi kondisi awal proses, analisis kestabilan proses menggunakan *Statistical Process Control* (SPC), identifikasi akar penyebab menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA), evaluasi risiko menggunakan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), serta implementasi dan evaluasi *Poka-Yoke* berbasis sensor.

2.2 Research Object and Data Collection

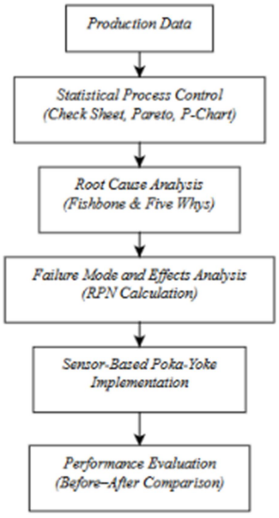
Objek penelitian adalah proses *inner packaging* pada salah satu lini produksi PT CANDY JTK. Penelitian berfokus pada mesin dengan tingkat *reject* tertinggi berdasarkan data historis produksi, yaitu Mesin C. Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder.

Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses produksi, wawancara dengan operator, personel *quality control*, dan bagian *maintenance*, serta dokumentasi implementasi sistem *Poka-Yoke*. Data sekunder diperoleh dari catatan produksi perusahaan yang meliputi jumlah produksi, jumlah *reject*, jenis *reject*, serta estimasi kerugian produksi selama periode penelitian.

Data produksi periode Juli–Desember 2025 digunakan sebagai kondisi *baseline*, sedangkan data Januari–Juni 2026 digunakan untuk mengevaluasi efektivitas implementasi *Poka-Yoke* berbasis sensor.

2.3 Research Framework

Kerangka penelitian terdiri atas empat metode utama yang diterapkan secara berurutan.



Gambar 1. ***Research Framework***

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

SPC digunakan untuk mengevaluasi kestabilan proses produksi melalui *check sheet*, Diagram Pareto, dan P-Chart sehingga dapat diidentifikasi jenis *reject* yang paling dominan. Selanjutnya dilakukan RCA menggunakan Fishbone Diagram dan *Five Whys* untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan proses. Hasil RCA menjadi dasar penyusunan FMEA untuk menentukan prioritas risiko berdasarkan nilai *Severity*, *Occurrence*, *Detection*, dan *Risk Priority Number* (RPN). Berdasarkan hasil FMEA, dirancang dan diimplementasikan sistem *Poka-Yoke* berbasis sensor sebagai tindakan perbaikan, kemudian dievaluasi melalui perbandingan indikator kinerja sebelum dan sesudah implementasi.

2.4 Research Instruments

Instrumen penelitian meliputi lembar observasi proses produksi, formulir *check sheet*, data historis produksi dan *reject*, Fishbone Diagram, lembar analisis *Five Whys*, formulir FMEA, serta dokumentasi implementasi *Poka-Yoke*. Implementasi sistem *Poka-Yoke* dilakukan menggunakan sensor yang dipasang pada titik kritis proses *packaging inner* untuk mendeteksi penyimpangan secara otomatis dan memberikan respons terhadap kondisi yang berpotensi menghasilkan produk cacat.

2.5 Data Analysis

Analisis data dilakukan secara bertahap menggunakan empat metode yang saling terintegrasi. Tahap pertama menggunakan SPC untuk mengevaluasi kestabilan proses melalui Diagram Pareto dan P-Chart. Tahap kedua menggunakan RCA untuk mengidentifikasi akar penyebab *reject* melalui Fishbone Diagram dan *Five Whys*. Tahap ketiga menggunakan FMEA untuk mengevaluasi tingkat risiko setiap mode kegagalan berdasarkan parameter *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Nilai *Risk Priority Number* dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Penilaian nilai Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D) dilakukan menggunakan skala 1–10 berdasarkan pedoman FMEA yang diadaptasi dari Stamatis (2003) dan AIAG–VDA FMEA, kemudian disesuaikan dengan karakteristik proses inner packaging. Untuk meningkatkan objektivitas penilaian, nilai setiap parameter ditentukan melalui expert judgment yang melibatkan Supervisor Produksi, personel Quality Control (QC), dan teknisi Maintenance. Nilai akhir diperoleh melalui diskusi hingga mencapai konsensus mengenai tingkat risiko masing-masing *failure mode*.

Tabel 1. Skala Severity (S)

Nilai	Kriteria	Dampak
1	Tidak signifikan	Tidak mempengaruhi kualitas produk
2–3	Sangat rendah	Pengaruh sangat kecil terhadap proses
4–5	Rendah	Menimbulkan cacat ringan yang masih dapat diperbaiki
6–7	Sedang	Mengurangi kualitas produk dan memerlukan tindakan korektif
8	Tinggi	Menghasilkan produk reject dalam jumlah besar
9	Sangat tinggi	Mengganggu proses produksi secara signifikan
10	Sangat kritis	Menghentikan proses produksi atau menyebabkan kegagalan total

Tabel 2. Skala Occurrence (O)

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Nilai	Frekuensi Kejadian
1	Sangat jarang
2–3	Jarang
4–5	Kadang-kadang
6–7	Sering
8	Sangat sering
9	Hampir selalu terjadi
10	Terjadi secara terus-menerus

Tabel 3. Skala Detection (D)

Nilai	Kemampuan Deteksi
1	Hampir pasti terdeteksi
2–3	Sangat mudah dideteksi
4–5	Mudah dideteksi
6–7	Cukup sulit dideteksi
8	Sulit dideteksi
9	Sangat sulit dideteksi
10	Tidak dapat dideteksi sebelum terjadi kegagalan

Tahap terakhir adalah evaluasi efektivitas implementasi *Poka-Yoke* berbasis sensor dengan membandingkan indikator kinerja sebelum dan sesudah perbaikan, meliputi jumlah produksi, jumlah *reject*, persentase *reject*, dan estimasi kerugian produksi.

2.6 Performance Evaluation

Efektivitas tindakan perbaikan dievaluasi melalui analisis komparatif terhadap data *baseline* dan data setelah implementasi. Indikator yang digunakan meliputi tingkat *reject*, persentase *reject*, peningkatan produksi, serta estimasi penghematan biaya akibat berkurangnya produk cacat. Persentase peningkatan atau penurunan dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$Improvement\ (\%) = \frac{Baseline - After\ Improvement}{Baseline} \times 100\% \quad (2)$$

Hasil evaluasi digunakan untuk menilai efektivitas kerangka peningkatan kualitas terintegrasi dalam meningkatkan kualitas proses *packaging inner*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Baseline Quality Performance

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengevaluasi kondisi *baseline* proses *inner packaging* di PT CANDY JTK sebelum implementasi tindakan perbaikan. Evaluasi ini bertujuan untuk memperoleh gambaran kinerja awal proses produksi, tingkat *reject*, serta estimasi kerugian yang ditimbulkan akibat produk yang tidak memenuhi spesifikasi. Pada industri makanan, proses *packaging* merupakan salah satu tahapan yang berperan penting dalam menjaga mutu dan keamanan produk sehingga setiap penyimpangan pada proses ini berpotensi

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

meningkatkan jumlah produk cacat dan kerugian produksi (Bertocci & Mannino, 2023; Song et al., 2022).

Data *baseline* dikumpulkan dari catatan produksi perusahaan selama periode Juli–Desember 2025 yang mencakup empat mesin *inner packaging*, yaitu Mesin A, Mesin B, Mesin C, dan Mesin D. Selama periode tersebut, total rata-rata produksi mencapai 4.991.014 kg per bulan, sedangkan total rata-rata *reject* sebesar 194.633 kg per bulan, sehingga diperoleh rata-rata tingkat *reject* sebesar 3,90%. Ringkasan kinerja masing-masing mesin disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Baseline Production Performance of Inner Packaging Process (July–December 2025)

Mesin	Rata-rata Produksi (kg/bulan)	Rata-rata Reject (kg/bulan)	Reject (%)
A	1.255.000	47.950	3,83
B	1.241.677	45.850	3,69
C	1.241.667	50.500	**4,05**
D	1.252.670	50.333	4,02
Total	**4.991.014**	**194.633**	**3,90**

Berdasarkan Tabel 4, Mesin C menunjukkan jumlah *reject* tertinggi, yaitu 50.500 kg per bulan dengan tingkat *reject* sebesar 4,05%, diikuti oleh Mesin D sebesar 4,02%, Mesin A sebesar 3,83%, dan Mesin B sebesar 3,69%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Mesin C merupakan lini produksi dengan tingkat cacat tertinggi sehingga dipilih sebagai objek utama penelitian untuk tahap analisis berikutnya.
Selain berdampak terhadap kualitas produk, tingginya jumlah *reject* juga menyebabkan kerugian ekonomi yang cukup besar. Estimasi kerugian dihitung berdasarkan nilai kerugian rata-rata yang ditimbulkan oleh produk *reject* pada masing-masing mesin sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Estimated Financial Losses Due to Product Reject

Mesin	Reject (kg/bulan)	Estimasi Kerugian (Rp/bulan)
A	47.950	3.733.160.000
B	45.850	3.582.000.000
C	50.500	**3.945.000.000**
D	50.333	3.867.000.000
Total	**194.633**	**15.127.160.000**

Tabel 5 menunjukkan bahwa total estimasi kerugian akibat produk *reject* mencapai sekitar Rp15,13 miliar per bulan. Kerugian terbesar berasal dari Mesin C, yaitu sekitar Rp3,95 miliar per bulan, diikuti oleh Mesin D sebesar Rp3,87 miliar per bulan, Mesin A sebesar Rp3,73 miliar per bulan, dan Mesin B sebesar Rp3,58 miliar per bulan. Besarnya kerugian tersebut menunjukkan bahwa pengendalian *reject* pada proses *inner packaging* menjadi prioritas bagi perusahaan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan menekan biaya produksi.

Berdasarkan hasil evaluasi *baseline*, penelitian ini memfokuskan analisis pada Mesin C karena memiliki tingkat *reject* dan kerugian ekonomi tertinggi dibandingkan mesin lainnya. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *Statistical Process Control* (SPC), *Root Cause Analysis* (RCA), *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dan implementasi *Poka-Yoke* berbasis sensor untuk

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

mengidentifikasi penyebab utama *reject* serta mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan.

3.2 Statistical Process Control Analysis

Tahap selanjutnya dilakukan menggunakan *Statistical Process Control* (SPC) untuk mengidentifikasi karakteristik *reject* pada proses *inner packaging* serta menentukan prioritas perbaikan berdasarkan frekuensi kejadian. SPC merupakan metode pengendalian kualitas yang digunakan untuk memantau variasi proses secara sistematis sehingga sumber permasalahan dapat diidentifikasi secara objektif sebelum dilakukan tindakan perbaikan (Zhang et al., 2021).

Analisis diawali dengan penyusunan *check sheet* berdasarkan data produksi dan *reject* selama periode Juli–Desember 2025. Rekapitulasi data menunjukkan bahwa Mesin C memiliki tingkat *reject* tertinggi dibandingkan mesin lainnya dengan rata-rata *reject* sebesar 50.500 kg per bulan atau 4,05% dari total produksi. Oleh karena itu, Mesin C ditetapkan sebagai objek utama pada tahap analisis berikutnya.

Untuk mengidentifikasi penyebab dominan *reject*, dilakukan analisis menggunakan Diagram Pareto berdasarkan frekuensi kejadian pada proses *inner packaging*. Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa penumpukan permen pada jalur *conveyor* merupakan penyebab yang paling sering terjadi selama periode pengamatan. Data frekuensi penumpukan pada Mesin C disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Frequency of Candy Accumulation on Machine C During the Baseline Periode

Bulan	Jumlah Penumpukan	Reject (kg)
Juli 2025	52	8
Agustus 2025	49	8
September 2025	48	9
Oktober 2025	55	11
November 2025	52	11
Desember 2025	51	10
Total	307	57
Rata-rata	51,17	9,50

Berdasarkan Tabel 6, jumlah kejadian penumpukan selama periode *baseline* mencapai 307 kejadian, dengan rata-rata 51,17 kejadian per bulan. Frekuensi tersebut menunjukkan bahwa penumpukan produk pada jalur *conveyor* merupakan permasalahan yang terjadi secara berulang selama proses *inner packaging*.

3.2 Statistical Process Control Analysis

Statistical Process Control (SPC) diterapkan untuk mengevaluasi kondisi proses *inner packaging* selama periode *baseline* serta mengidentifikasi pola terjadinya *reject* sebelum tindakan perbaikan dilaksanakan. Mengingat data yang tersedia berasal dari pencatatan operasional perusahaan, analisis SPC pada penelitian ini difokuskan pada penggunaan **check sheet** sebagai alat untuk merekam frekuensi kejadian *reject* dan penumpukan produk pada Mesin C. Penggunaan *check sheet* memungkinkan proses pengumpulan data dilakukan secara sistematis sehingga memudahkan identifikasi pola permasalahan yang terjadi selama proses produksi (Zhang et al., 2021).

Berdasarkan hasil evaluasi pada tahap *baseline*, Mesin C dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki tingkat *reject* tertinggi dibandingkan mesin

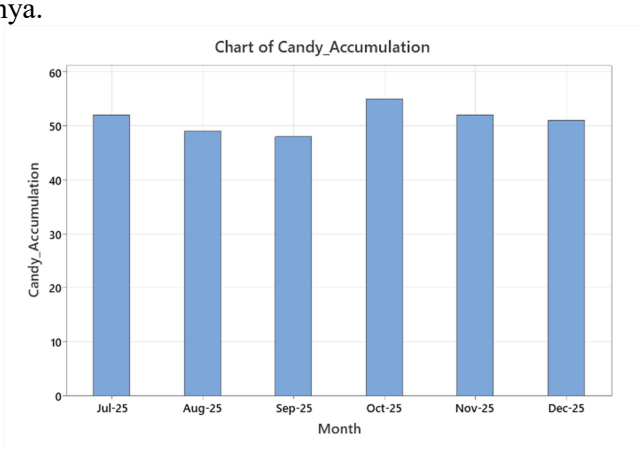
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

lainnya. Selanjutnya dilakukan pencatatan jumlah kejadian penumpukan permen (*candy accumulation*) selama periode Juli–Desember 2025 sebagai indikator utama yang diamati dalam proses *inner packaging*.

Tabel 7. Check Sheet of Candy Accumulation on Machine C During the Baseline Period

Bulan	Produksi (kg)	Reject (kg)	Jumlah Penumpukan
Juli 2025	1.270.000	51.000	52
Agustus 2025	1.190.000	42.000	49
September 2025	1.210.000	52.000	48
Oktober 2025	1.250.000	50.000	55
November 2025	1.260.000	49.000	52
Desember 2025	1.300.000	59.000	51
Total	7.480.000	303.000	307
Rata-rata	1.246.667	50.500	51,17

Berdasarkan Tabel 7, selama periode Juli–Desember 2025 tercatat 307 kejadian penumpukan pada Mesin C dengan rata-rata 51,17 kejadian per bulan. Selama periode yang sama, rata-rata *reject* mencapai 50.500 kg per bulan atau 4,05% dari total produksi. Data tersebut menunjukkan bahwa kejadian penumpukan terjadi secara konsisten pada setiap bulan pengamatan dan menjadi fokus utama pada tahap analisis berikutnya.



Gambar 2. Check Sheet Summary of Candy Accumulation on Machine C

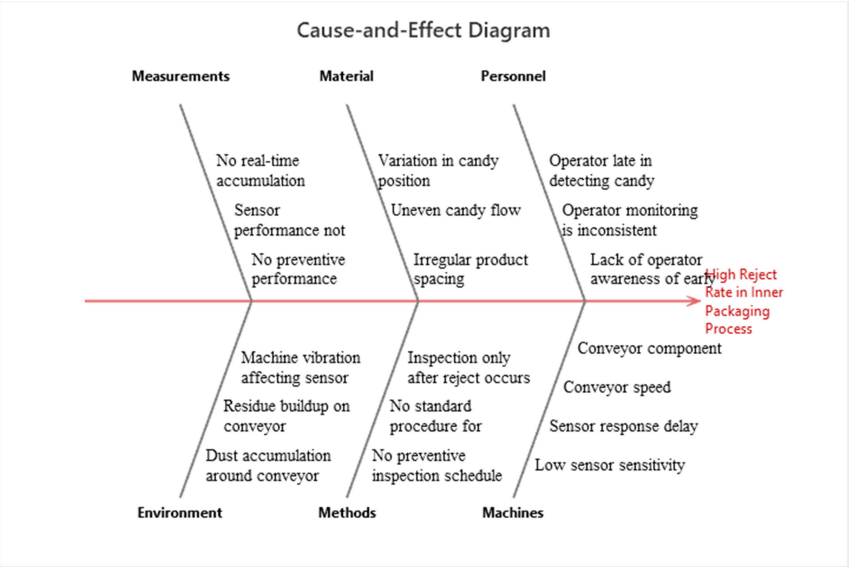
Hasil analisis *check sheet* menunjukkan bahwa kejadian penumpukan terjadi secara berulang sepanjang periode *baseline*, dengan frekuensi tertinggi tercatat pada Oktober 2025 sebanyak 55 kejadian, sedangkan frekuensi terendah terjadi pada September 2025 sebanyak 48 kejadian. Berdasarkan temuan tersebut, analisis dilanjutkan menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA) untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penumpukan pada proses *inner packaging*

3.3 Root Cause Analysis

Setelah dilakukan identifikasi kondisi proses menggunakan *Statistical Process Control* (SPC), tahap berikutnya adalah *Root Cause Analysis* (RCA) untuk menentukan penyebab utama tingginya *reject* pada proses *inner packaging*. RCA digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab permasalahan secara sistematis sehingga tindakan perbaikan yang dirancang dapat mengatasi sumber masalah, bukan hanya gejala yang muncul (Mahto & Kumar, 2008; Pietsch et al., 2024).

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Berdasarkan hasil *check sheet*, permasalahan yang paling sering terjadi pada Mesin C adalah penumpukan permen (*candy accumulation*) pada jalur conveyor, yang menyebabkan gangguan kontinuitas proses *packaging* dan meningkatkan jumlah produk *reject*. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap permasalahan tersebut, dilakukan analisis menggunakan Fishbone Diagram dengan pendekatan 5M+1E, yang meliputi *Man*, *Machine*, *Method*, *Material*, *Measurement*, dan *Environment*.



Gambar 3. ***Fishbone Diagram of Candy Accumulation in the Inner Packaging Process***

Hasil analisis Fishbone menunjukkan bahwa penyebab potensial berasal dari berbagai aspek proses produksi. Pada aspek man, operator belum melakukan pemantauan aliran produk secara konsisten dan respons terhadap penumpukan masih terlambat. Pada aspek machine, sensitivitas sensor *feeding* mengalami penurunan sehingga tidak mampu mendeteksi akumulasi produk secara cepat. Selain itu, keausan komponen *conveyor* menyebabkan aliran produk menjadi kurang stabil. Pada aspek method, belum tersedia prosedur inspeksi berkala terhadap sistem sensor dan *conveyor*, sehingga potensi gangguan tidak teridentifikasi sejak dini. Pada aspek material, variasi ukuran dan posisi permen menyebabkan distribusi produk pada *conveyor* menjadi tidak seragam. Sementara itu, pada aspek environment, akumulasi debu dan residu produk di sekitar jalur *conveyor* meningkatkan kemungkinan terjadinya hambatan aliran produk.

Untuk memastikan akar penyebab utama, analisis dilanjutkan menggunakan metode Five Whys. Hasil analisis menunjukkan bahwa penumpukan permen terjadi karena produk tidak bergerak secara lancar pada jalur *conveyor*. Kondisi tersebut disebabkan oleh keterlambatan sistem dalam mendeteksi akumulasi produk sehingga proses *feeding* tetap berlangsung meskipun telah terjadi penumpukan. Investigasi lebih lanjut menunjukkan bahwa penyebab utama berasal dari penurunan sensitivitas sensor deteksi, sehingga sensor tidak mampu memberikan sinyal penghentian proses secara tepat waktu. Oleh karena itu, akar penyebab (*root cause*) yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah ketidakmampuan sensor mendeteksi penumpukan permen secara dini, yang menyebabkan akumulasi produk pada jalur *conveyor* dan meningkatkan jumlah *reject*.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Tabel 8. Five Whys Analysis of Candy Accumulation

Pertanyaan	Jawaban
Mengapa terjadi *reject* pada proses *inner packaging*?	Karena terjadi penumpukan permen pada jalur *conveyor*.
Mengapa terjadi penumpukan permen?	Karena aliran produk pada *conveyor* tidak terdeteksi secara tepat waktu.
Mengapa penumpukan tidak terdeteksi?	Karena sensor *feeding* tidak mampu mendeteksi akumulasi produk secara akurat.
Mengapa sensor tidak bekerja secara optimal?	Karena sensitivitas sensor menurun dan belum dilakukan kalibrasi maupun inspeksi berkala.
Mengapa inspeksi sensor tidak dilakukan secara rutin?	Karena belum terdapat prosedur pemeliharaan preventif dan sistem pemantauan sensor yang terstandarisasi.

Berdasarkan hasil Fishbone Diagram dan Five Whys, penelitian menetapkan bahwa penurunan sensitivitas sensor pada sistem *feeding* merupakan akar penyebab utama tingginya *reject* pada proses *inner packaging*. Temuan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan prioritas risiko menggunakan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) serta perancangan tindakan perbaikan melalui implementasi *Poka-Yoke* berbasis sensor.

3.4 Failure Mode and Effects Analysis

Setelah akar penyebab *reject* diidentifikasi menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA), tahap selanjutnya adalah melakukan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk menentukan prioritas risiko berdasarkan tingkat keparahan (*Severity*), frekuensi kejadian (*Occurrence*), serta kemampuan deteksi (*Detection*). FMEA merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan proses secara sistematis dan menetapkan prioritas tindakan perbaikan melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN), sehingga sumber daya perbaikan dapat difokuskan pada risiko yang paling kritis (Aleksic et al., 2025; K. D. Sharma & Srivastava, 2018).

Analisis FMEA dilakukan pada proses *inner packaging* Mesin C dengan mengacu pada hasil Fishbone Diagram dan Five Whys. Setiap potensi kegagalan dievaluasi berdasarkan dampaknya terhadap kualitas produk, penyebab utama, pengendalian yang telah diterapkan, serta nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Nilai RPN dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\text{RPN} = S \times O \times D \quad (1)$$

Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa penurunan sensitivitas sensor pada sistem *feeding* merupakan mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi sehingga menjadi prioritas utama untuk dilakukan tindakan perbaikan. Ringkasan hasil analisis disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) of the Inner Packaging Process

No	Failure Mode	Effect	Root Cause	Existing Control	S	O	D	RPN	Priority
1	Sensor gagal mendeteksi penumpukan	Produk *reject* meningkat	Sensitivitas sensor menurun	Inspeksi visual operator	9	8	7	504	1
2	Penumpukan permen pada *conveyor*	Aliran produk terhenti	Jalur *conveyor* tidak stabil	Pembersihan berkala	8	7	6	336	2

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

No	Failure Mode	Effect	Root Cause	Existing Control	S	O	D	RPN	Priority
3	Posisi *inner* tidak presisi	Kemasan tidak sesuai standar	*Guide* bergeser	Penyetelan manual	7	6	5	210	3
4	Keterlambatan respons operator	*Reject* bertambah	Monitoring belum kontinu	Pemeriksaan berkala	7	5	5	175	4
5	Sensor tidak dikalibrasi	Akurasi deteksi menurun	Tidak ada jadwal kalibrasi	Perawatan korektif	6	5	5	150	5

Berdasarkan Tabel 9, mode kegagalan sensor gagal mendeteksi penumpukan memperoleh nilai RPN tertinggi sebesar 504, menunjukkan bahwa risiko tersebut memiliki kombinasi tingkat keparahan, frekuensi kejadian, dan kesulitan deteksi paling tinggi dibandingkan mode kegagalan lainnya. Prioritas berikutnya adalah penumpukan permen pada jalur *conveyor* dengan nilai RPN sebesar 336, diikuti oleh posisi *inner* yang tidak presisi (210), keterlambatan respons operator (175), dan tidak adanya kalibrasi sensor secara berkala (150).

Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa sebagian besar mode kegagalan memiliki keterkaitan dengan sistem deteksi pada proses *feeding*. Oleh karena itu, tindakan perbaikan difokuskan pada peningkatan kemampuan deteksi melalui implementasi sensor-based Poka-Yoke, yang dirancang untuk mendeteksi penumpukan produk secara otomatis dan memberikan respons sebelum terjadi peningkatan jumlah *reject*. Implementasi tindakan perbaikan tersebut dijelaskan pada bagian berikutnya.

3.5 Implementation of Sensor-Based Poka-Yoke

Berdasarkan hasil *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), tindakan perbaikan difokuskan pada peningkatan kemampuan deteksi penumpukan produk pada proses *inner packaging*. Mode kegagalan dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi menunjukkan bahwa penurunan sensitivitas sensor merupakan penyebab utama terjadinya penumpukan permen pada jalur *conveyor*. Oleh karena itu, perusahaan mengimplementasikan sensor-based Poka-Yoke sebagai mekanisme pencegahan kesalahan (*error-proofing*) untuk mendeteksi penumpukan produk secara otomatis sebelum menyebabkan peningkatan *reject*.

Implementasi *Poka-Yoke* dilakukan dengan memasang sensor deteksi pada jalur *feeding conveyor* yang terintegrasi dengan sistem kendali mesin. Sensor dirancang untuk memantau kontinuitas aliran produk secara *real-time*. Ketika sensor mendeteksi adanya akumulasi produk melebihi batas yang telah ditentukan, sistem secara otomatis memberikan sinyal peringatan kepada operator dan menghentikan sementara proses *feeding* hingga kondisi aliran kembali normal. Mekanisme ini bertujuan mencegah penumpukan produk berkembang menjadi *reject* dalam jumlah besar.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X



Gambar 4. Sensor-Based Poka-Yoke System for the Inner Packaging Process

Selain pemasangan sensor, perusahaan juga menerapkan beberapa tindakan pendukung untuk meningkatkan efektivitas sistem *Poka-Yoke*, meliputi penyusunan prosedur inspeksi sensor, penjadwalan kalibrasi berkala, pemeriksaan kebersihan jalur *conveyor*, serta pelatihan operator mengenai respons terhadap alarm sistem. Kombinasi tindakan tersebut diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem deteksi sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap inspeksi visual operator.

Efektivitas implementasi *sensor-based Poka-Yoke* dievaluasi menggunakan data produksi Mesin C selama periode Januari–Juni 2026. Ringkasan hasil implementasi disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Performance of Machine C After Sensor-Based Poka-Yoke Implementation

Bulan	Produksi (kg)	Reject (kg)	Reject (%)	Kerugian (Rp)
Januari 2026	1.250.000	41.500	3,32	3.237.000.000
Februari 2026	1.240.000	39.800	3,21	3.104.400.000
Maret 2026	1.260.000	38.500	3,06	3.003.000.000
April 2026	1.255.000	37.900	3,02	2.956.200.000
Mei 2026	1.270.000	36.800	2,90	2.870.400.000

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Juni 2026	1.280.000	35.500	2,77	2.769.000.000
Rata-rata	**1.259.167**	**38.333**	**3,05**	**2.990.000.000**

Berdasarkan Tabel 10, setelah implementasi *sensor-based Poka-Yoke* terjadi penurunan jumlah *reject* secara konsisten pada setiap bulan pengamatan. Rata-rata *reject* turun menjadi 38.333 kg per bulan dengan tingkat *reject* sebesar 3,05%, lebih rendah dibandingkan kondisi *baseline*. Selain itu, rata-rata kerugian produksi juga menurun menjadi sekitar Rp2,99 miliar per bulan, menunjukkan bahwa sistem deteksi otomatis mampu meningkatkan stabilitas proses *inner packaging*.

Hasil implementasi tersebut menjadi dasar untuk mengevaluasi peningkatan kinerja proses melalui perbandingan kondisi sebelum dan sesudah penerapan *sensor-based Poka-Yoke*, sebagaimana disajikan pada bagian berikutnya.

3.6 Improvement Performance Evaluation

Evaluasi kinerja dilakukan untuk mengukur efektivitas implementasi *sensor-based Poka-Yoke* terhadap penurunan *reject* pada proses *inner packaging*. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kondisi *baseline* (Juli–Desember 2025) dan kondisi setelah implementasi perbaikan (Januari–Juni 2026) pada Mesin C berdasarkan indikator produksi, jumlah *reject*, persentase *reject*, dan estimasi kerugian produksi. Ringkasan perbandingan kinerja sebelum dan sesudah implementasi *Poka-Yoke* disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Comparison of Process Performance Before and After Sensor-Based Poka-Yoke Implementation

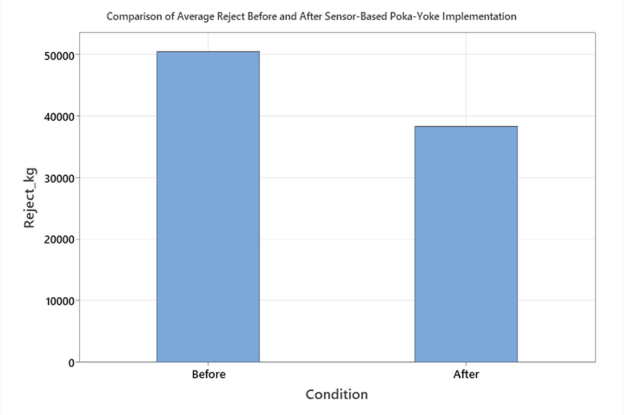
Indikator	Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan	Perubahan
Rata-rata Produksi (kg/bulan)	1.241.667	1.259.167	+17.500 (1,41%)
Rata-rata Reject (kg/bulan)	50.500	38.333	−12.167 (24,09%)
Persentase Reject	4,05%	3,05%	−1,00 poin persentase (24,69%)
Kerugian Produksi (Rp/bulan)	3.945.000.000	2.990.000.000	−955.000.000 (24,21%)

Hasil pada Tabel 11 menunjukkan bahwa setelah implementasi *sensor-based Poka-Yoke*, rata-rata produksi meningkat dari 1.241.667 kg menjadi 1.259.167 kg per bulan atau meningkat sebesar 1,41%. Pada saat yang sama, rata-rata *reject* menurun dari 50.500 kg menjadi 38.333 kg per bulan, dengan penurunan sebesar 12.167 kg atau 24,09% dibandingkan kondisi *baseline*.

Persentase *reject* juga mengalami penurunan dari 4,05% menjadi 3,05%, atau turun sebesar 1,00 poin persentase. Selain itu, rata-rata kerugian produksi berkurang dari sekitar Rp3,945 miliar menjadi Rp2,990 miliar per bulan, sehingga diperoleh penghematan sebesar Rp955 juta per bulan.

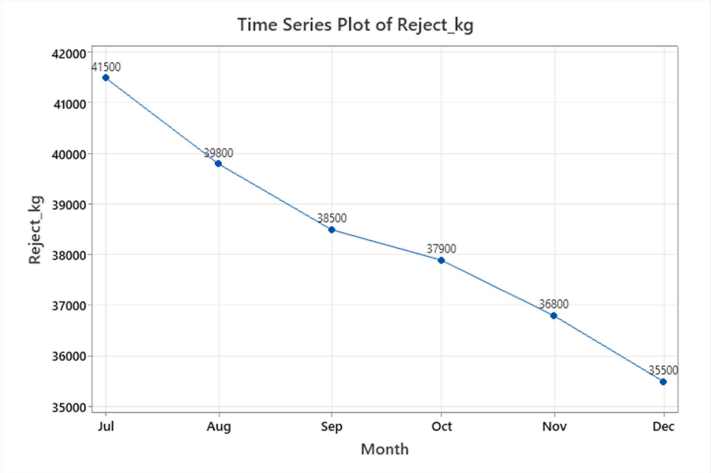
Untuk memberikan gambaran perubahan tingkat *reject* selama periode pengamatan, dilakukan perbandingan rata-rata *reject* sebelum dan sesudah implementasi *Poka-Yoke* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X



Gambar 5. ***Comparison of Average Reject Before and After Improvement***

Selain itu, tren penurunan *reject* selama periode Januari–Juni 2026 menunjukkan kecenderungan yang konsisten. Rata-rata *reject* menurun secara bertahap dari 41.500 kg pada Januari 2026 menjadi 35.500 kg pada Juni 2026, sebagaimana disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. ***Monthly Reject Trend After Sensor-Based Poka-Yoke Implementation***

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan kinerja proses *inner packaging* setelah implementasi *sensor-based Poka-Yoke*, yang ditandai dengan meningkatnya output produksi, menurunnya jumlah *reject*, berkurangnya persentase *reject*, serta menurunnya kerugian produksi selama periode evaluasi.

3.7 Discussion

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan kerangka peningkatan kualitas yang mengintegrasikan *Statistical Process Control* (SPC), *Root Cause Analysis* (RCA), *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dan *sensor-based Poka-Yoke* mampu meningkatkan kinerja proses *inner packaging* pada PT CANDY JTK. Perbaikan tersebut ditunjukkan oleh penurunan rata-rata *reject* dari 50.500 kg menjadi 38.333 kg per bulan, penurunan tingkat *reject* dari 4,05% menjadi 3,05%, serta penurunan kerugian produksi sekitar Rp955 juta per bulan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan yang digunakan tidak hanya mampu mengidentifikasi sumber permasalahan, tetapi juga menghasilkan tindakan perbaikan yang efektif dalam meningkatkan stabilitas proses produksi.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Penggunaan *Statistical Process Control* pada penelitian ini berfungsi sebagai tahap awal untuk mengidentifikasi kondisi proses dan menentukan prioritas permasalahan melalui *check sheet*. Meskipun SPC secara umum sering dikombinasikan dengan *control chart* untuk memantau stabilitas proses, penelitian ini memanfaatkan *check sheet* sebagai alat identifikasi awal karena lebih sesuai dengan karakteristik data operasional perusahaan. Pendekatan tersebut tetap sejalan dengan prinsip SPC yang menekankan pengumpulan data secara sistematis sebagai dasar pengambilan keputusan kualitas (Zhang et al., 2021). Hasil *check sheet* menunjukkan bahwa penumpukan permen pada Mesin C merupakan permasalahan yang paling sering terjadi sehingga menjadi fokus utama analisis lanjutan.

Tahap *Root Cause Analysis* berhasil menunjukkan bahwa penyebab utama tingginya *reject* bukan hanya disebabkan oleh faktor operator, tetapi juga berasal dari penurunan sensitivitas sensor pada sistem *feeding*. Temuan ini menunjukkan bahwa permasalahan kualitas pada proses *packaging* merupakan hasil interaksi antara faktor manusia, mesin, metode, material, pengukuran, dan lingkungan. Pendekatan ini konsisten dengan penelitian (Pietsch et al., 2024), yang menyatakan bahwa identifikasi akar penyebab secara sistematis merupakan prasyarat penting sebelum menetapkan tindakan perbaikan pada sistem manufaktur. Dengan mengombinasikan Fishbone Diagram dan Five Whys, penelitian ini mampu mempersempit berbagai penyebab potensial menjadi satu akar penyebab yang dapat ditindaklanjuti melalui implementasi teknologi.

Analisis FMEA menunjukkan bahwa penurunan sensitivitas sensor memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi dibandingkan mode kegagalan lainnya. Hasil ini mengindikasikan bahwa risiko terbesar berasal dari rendahnya kemampuan sistem dalam mendeteksi penumpukan produk secara dini. Oleh karena itu, prioritas tindakan perbaikan difokuskan pada peningkatan kemampuan deteksi melalui pemasangan sensor otomatis. Temuan ini sejalan dengan (Aleksic et al., 2025; K. D. Sharma & Srivastava, 2018; Waseem et al., 2025), yang menegaskan bahwa FMEA merupakan metode yang efektif untuk memprioritaskan risiko berdasarkan kombinasi tingkat keparahan, frekuensi kejadian, dan kemampuan deteksi sehingga tindakan perbaikan dapat diarahkan pada penyebab yang paling kritis.

Implementasi *sensor-based Poka-Yoke* terbukti mampu mengurangi jumlah *reject* secara konsisten selama periode evaluasi Januari–Juni 2026. Sensor yang dipasang pada jalur *feeding* memungkinkan sistem mendeteksi penumpukan produk secara *real-time*, memberikan sinyal peringatan, dan menghentikan proses sementara sebelum terjadi akumulasi *reject*. Mekanisme ini mengurangi ketergantungan terhadap inspeksi visual operator serta meningkatkan kemampuan sistem dalam mencegah kesalahan sebelum menghasilkan produk cacat. Hasil tersebut sejalan dengan konsep *error-proofing* yang menyatakan bahwa kualitas yang lebih baik dicapai melalui pencegahan kesalahan sejak awal proses, bukan hanya melalui inspeksi pada produk akhir (Saurin et al., 2012).

Dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini memiliki beberapa keunggulan. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya mengimplementasikan satu atau dua metode, seperti SPC, FMEA, atau Poka-Yoke secara terpisah. Penelitian Zhang et al. (2021) lebih berfokus pada penerapan SPC untuk pengendalian variasi proses, sedangkan Sharma & Srivastava, (2018) meninjau implementasi FMEA sebagai alat analisis risiko. Penelitian Bertocci et al. (2023) dan Song et al. (2022) lebih banyak membahas sistem manajemen mutu dan keamanan pangan pada industri makanan. Sebaliknya, penelitian ini mengintegrasikan SPC sebagai alat identifikasi awal, RCA untuk menentukan akar

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

penyebab, FMEA untuk menetapkan prioritas risiko, dan *sensor-based Poka-Yoke* sebagai solusi perbaikan dalam satu kerangka peningkatan kualitas yang saling terhubung. Integrasi tersebut menghasilkan pendekatan yang lebih sistematis dari tahap identifikasi masalah hingga evaluasi efektivitas perbaikan.

Analisis FMEA menunjukkan bahwa penurunan sensitivitas sensor pada sistem *feeding* memperoleh nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sehingga menjadi prioritas utama dalam penyusunan tindakan perbaikan. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi RCA dan FMEA mampu mengarahkan proses pengambilan keputusan pada *failure mode* yang paling kritis sebelum implementasi solusi. Hasil tersebut sejalan dengan kajian sistematis Aleksić et al. (2023), yang menyatakan bahwa FMEA efektif dalam memprioritaskan risiko melalui kombinasi parameter *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*, sehingga sumber daya perbaikan dapat difokuskan pada kegagalan dengan dampak terbesar. Selain itu, Sharma & Srivastava (2018) juga menegaskan bahwa keberhasilan implementasi FMEA tidak hanya bergantung pada identifikasi mode kegagalan, tetapi juga pada pemanfaatan hasil RPN sebagai dasar pemilihan tindakan *error-proofing*. Dalam penelitian ini, hasil FMEA secara langsung digunakan sebagai dasar implementasi *sensor-based Poka-Yoke*, sehingga tindakan perbaikan tidak didasarkan pada asumsi, melainkan pada prioritas risiko yang telah dianalisis secara sistematis.

Dari sisi teoretis, penelitian ini memperkuat konsep bahwa peningkatan kualitas proses manufaktur akan lebih efektif apabila metode pengendalian kualitas digunakan secara terintegrasi daripada diterapkan secara parsial. Integrasi SPC, RCA, FMEA, dan Poka-Yoke membentuk suatu alur pengambilan keputusan yang dimulai dari identifikasi variasi proses, penentuan akar penyebab, prioritas risiko, hingga implementasi tindakan pencegahan. Temuan ini mendukung pengembangan pendekatan *integrated quality improvement* pada sistem manufaktur modern yang menekankan pencegahan kegagalan secara proaktif.

Dari sisi praktis, hasil penelitian memberikan rekomendasi bagi industri makanan untuk meningkatkan keandalan proses *packaging* melalui pemanfaatan sistem deteksi otomatis yang didukung oleh prosedur inspeksi dan pemeliharaan sensor secara berkala. Implementasi pendekatan tersebut tidak hanya mampu menurunkan *reject* dan kerugian produksi, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional serta konsistensi mutu produk. Kerangka yang diusulkan juga dapat diadaptasi pada proses *packaging* di industri makanan lainnya yang menghadapi permasalahan serupa terkait penumpukan produk dan tingginya tingkat *reject*.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Analisis dilakukan pada satu lini produksi dan satu jenis produk sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasikan untuk seluruh proses manufaktur. Selain itu, evaluasi pascaimplementasi dilakukan selama enam bulan sehingga belum sepenuhnya menggambarkan kinerja sistem dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji penerapan kerangka ini pada berbagai jenis proses *packaging*, memperpanjang periode evaluasi, serta mengintegrasikan teknologi *Industrial Internet of Things* (IIoT), *machine vision*, atau *predictive maintenance* untuk meningkatkan kemampuan deteksi dan pengendalian kualitas secara real-time.

SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi akar penyebab tingginya *reject* pada proses *inner packaging* serta mengevaluasi efektivitas kerangka peningkatan kualitas yang mengintegrasikan *Statistical Process Control* (SPC), *Root Cause Analysis*

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

(RCA), *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dan *sensor-based Poka-Yoke*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penumpukan permen pada Mesin C disebabkan terutama oleh menurunnya sensitivitas sensor pada sistem *feeding*, yang menyebabkan keterlambatan deteksi akumulasi produk dan meningkatkan jumlah *reject*. Analisis FMEA menetapkan kegagalan sensor sebagai prioritas risiko tertinggi sehingga menjadi dasar dalam implementasi *sensor-based Poka-Yoke*.

Implementasi sistem tersebut terbukti meningkatkan kinerja proses *inner packaging*, ditunjukkan oleh peningkatan rata-rata produksi sebesar 1,41%, penurunan rata-rata *reject* dari 50.500 kg menjadi 38.333 kg per bulan (24,09%), penurunan tingkat *reject* dari 4,05% menjadi 3,05%, serta pengurangan estimasi kerugian produksi sebesar sekitar Rp955 juta per bulan. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi SPC, RCA, FMEA, dan *Poka-Yoke* merupakan pendekatan yang efektif untuk meningkatkan stabilitas proses, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan kinerja operasional pada industri makanan. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas penerapan kerangka ini pada lini produksi lain serta mengintegrasikan teknologi pemantauan berbasis *Industrial Internet of Things* (IIoT) dan *machine vision* guna mendukung pengendalian kualitas secara *real-time*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada PT CANDY JTK atas izin, dukungan, serta penyediaan data yang diperlukan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak, khususnya tim Produksi, *Quality Control*, dan *Maintenance*, yang telah memberikan masukan teknis serta mendukung proses pengumpulan dan validasi data sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul, S., Lim, H., Antony, J., & Arshed, N. (2015). *Total Quality Management & Business Excellence A systematic review of statistical process control implementation in the food manufacturing industry*. *June*, 37–41. https://doi.org/10.1080/14783363.2015.1050181

Adley, C. C. (2014). *Past, Present and Future of Sensors in Food Production*. 491–510. https://doi.org/10.3390/foods3030491

Aleksic, A., Tadic, D., Komantina, N., & Snezana nestic. (2025). *Failure Mode and Effects Analysis Integrated with Multi-Attribute Decision-Making Methods Under Uncertainty : A Systematic Literature Review*. 1–38.

Bertocci, F., & Mannino, G. (2023). *Pearls before Swine : Plant-Derived Wastes to Produce Low-Cholesterol Meat from Farmed Pigs — A Bibliometric Analysis Combined to Meta-Analytic Studies*.

Destouet, C., Tlahig, H., Bettayeb, B., & Mazari, B. (2023). *Flexible job shop scheduling problem under Industry 5 . 0 : A survey on human reintegration , environmental consideration and resilience improvement*. *67*(July 2022), 155–173.

Liakos, K. G., Athanasiadis, V., Bozinou, E., & Lalas, S. I. (2025). *Machine Learning for Quality Control in the Food Industry : A Review*. 1–35.

Mahto, D., & Kumar, A. (2008). Application of root cause analysis in improvement of product quality and productivity. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *1*(2), 16–53. https://doi.org/10.3926/jiem.2008.v1n2.p16-53

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Pietsch, D., Matthes, M., Wieland, U., Ihlenfeldt, S., & Munkelt, T. (2024). Root Cause Analysis in Industrial Manufacturing: A Scoping Review of Current Research, Challenges and the Promises of AI-Driven Approaches. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, *8*(6). https://doi.org/10.3390/jmmp8060277

Qian, M., Li, Y., Zhao, Y., & Yu, X. (2022). *Prior Knowledge-Based Deep Convolutional Neural Networks for Fine Classification of Land Covers in Surface Mining Landscapes*.

Rozhdestvensky, K. (2022). *applied sciences Study of Underwater and Wave Gliders on the Basis of Simplified Mathematical Models*.

Saurin, T. A., Ribeiro, J. L. D., & Vidor, G. (2012). A framework for assessing poka-yoke devices. *Journal of Manufacturing Systems*, *31*(3), 358–366. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.04.001

Sharma, G. V. S. S., Rao, P. S., & Babu, B. S. (2018). Process capability improvement through DMAIC for aluminum alloy wheel machining. *Journal of Industrial Engineering International*, *14*(2), 213–226. https://doi.org/10.1007/s40092-017-0220-z

Sharma, K. D., & Srivastava, S. (2018). *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation : A Literature Review*. *5*(1), 1–17.

Song, Y.-R., Lim, B.-U., & Baik, S.-H. (2022). *Microbial Diversity and Volatile Flavor Changes during Gayangju Fermentation, a Traditional Korean House Rice Wine*.

Stamatis, D. H. (2019). *Risk Management Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* (2st Editio). ASQ Quality Press.

Waseem, H. M., Islam, S. U., Harrison, S., Epiphaniou, G., Matragkas, N., Arvanitis, T. N., & Maple, C. (2025). *Data-driven FMEA approach for hazard identification and risk evaluation in digital health*. 1–13.

Yousefi, S., Emam-djomeh, Z., Mousavi, M., Kobarfard, F., & Zbicinski, I. (2014). Developing spray-dried powders containing anthocyanins of black raspberry juice encapsulated based on fenugreek gum. *ADVANCED POWDER TECHNOLOGY*. https://doi.org/10.1016/j.apt.2014.11.019

Yu, S., Su, E. C., & Chen, Y. (2018). *Data-Driven Approach to Improving the Risk Assessment Process of Medical Failures*. https://doi.org/10.3390/ijerph15102069

Zhang, Y., Zhang, Z., Guan, C., & Xu, P. (2021). Improved whale optimisation algorithm for two-sided disassembly line balancing problems considering part characteristic indexes. *International Journal of Production Research*, *0*(0), 1–19. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1897178