



Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology

Vol 2 No 1 June 2026, Hal. 447-457
ISSN:3110-0775(Print) ISSN: 3109-9696(Electronic)
Open Access: <https://scriptainteletektual.com/scripta-technica>

Analisis Pengendalian Kualitas Produk Plastik Menggunakan Metode DMAIC Pada PT Techpack Asia

Syafiq Tian Maulana¹

¹ Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Indonesia
email: 31602200077@std.unissula.ac.id¹

Article Info :

Received:
18-06-2026
Revised:
24-06-2026
Accepted:
29-06-2026

Abstract

This study investigates the mitigation of cosmetic spot defects on premium polymer cosmetics packaging caused by airborne particulate contamination at PT Techpack Asia using the DMAIC framework. Structured empirical field observations utilizing a calibrated particle counter across twenty seven strategic nodes isolated material entry hatches as the primary vectors of microdust infiltration due to electrostatic charges. The implementation of high frequency housekeeping protocols alongside predictive mechanical rejuvenation successfully reduced particulate concentrations of 1 micron and 5 micron dimensions well below the World Health Organization (2021) maximum thresholds. Statistical validation through control charts in the final phase established a proactive detection mechanism that prevents microclimatic variance from disrupting the injection molding and decoration sequences. The structured quality architecture achieved a significant reduction in visual scrap rates down to 0.4 percent in the compliant zones. Ultimately this research demonstrates that integrating environmental cleanroom parameters into statistical quality control charts ensures high process predictability and permanent visual quality stabilization for premium plastic manufacturing operations.

Keywords: DMAIC, Cleanroom Contamination, Injection Molding, Quality Engineering, Statistical Process Control.

Abstrak

Penelitian ini mengkaji upaya mitigasi cacat bintik pada kemasan kosmetik berbahan polimer premium yang disebabkan oleh kontaminasi partikel di udara di PT Techpack Asia dengan menggunakan kerangka kerja DMAIC. Pengamatan lapangan empiris terstruktur yang memanfaatkan alat penghitung partikel yang telah dikalibrasi di 27 titik strategis mengidentifikasi lubang masuk bahan sebagai vektor utama infiltrasi debu mikro akibat muatan elektrostatis. Penerapan protokol pembersihan berkala dengan frekuensi tinggi bersamaan dengan pemeliharaan mekanis prediktif berhasil mengurangi konsentrasi partikel berdimensi 1 mikron dan 5 mikron hingga jauh di bawah ambang batas maksimum yang ditetapkan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (2021). Validasi statistik melalui diagram kendali pada fase akhir menetapkan mekanisme deteksi proaktif yang mencegah variasi iklim mikro mengganggu urutan proses pencetakan injeksi dan dekorasi. Arsitektur kualitas yang terstruktur ini berhasil menurunkan tingkat limbah visual secara signifikan hingga 0,4 persen di zona yang memenuhi standar. Pada akhirnya, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi parameter lingkungan ruang bersih ke dalam diagram kontrol kualitas statistik memastikan prediktabilitas proses yang tinggi dan stabilisasi kualitas visual yang permanen untuk operasi manufaktur plastik premium.

Kata kunci: DMAIC, Kontaminasi Ruang Bersih, Pencetakan Injeksi, Rekayasa Kualitas, Pengendalian Proses Statistik.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Dinamika industri manufaktur global pada era modern menuntut jaminan kualitas produk yang rigid sebagai determinan utama dalam mempertahankan daya saing pasar dan memitigasi operational loss. Industri kemasan kosmetik premium berbasis plastik menghadapi tantangan multiplikatif karena produk yang dihasilkan tidak hanya wajib memenuhi presisi dimensi struktural struktural tetapi juga standar estetika permukaan tingkat tinggi yang bebas cacat fisik. Kompleksitas ini mendorong korporasi global mengadopsi metodologi continuous improvement yang terstruktur guna mendeteksi variasi proses serta mengeliminasi defect kontaminasi pada level mikro. Dalam lanskap keilmuan manajemen kualitas modern, integrasi antara pemantauan kondisi lingkungan kerja operasional dan kebersihan partikulat udara kini diakui sebagai variabel krusial yang menentukan keberhasilan output manufaktur.

Standardisasi kebersihan lingkungan pabrik mutakhir secara global telah mengacu pada regulasi ketat seperti World Health Organization (2021) yang menetapkan ambang batas baku mutu Particulate Matter demi meminimalkan anomali mikro pada ruang produksi.

Penelitian terdahulu telah mengeksplorasi secara ekstensif efektivitas metodologi berbasis data dalam mengendalikan defect pada komoditas manufaktur yang beragam. Keberhasilan kerangka kerja Six Sigma dalam memetakan kegagalan produksi melalui pendekatan terstruktur telah dibuktikan oleh Rochayata & Widodasih (2024) yang berhasil meningkatkan kualitas produk proses injection molding menggunakan fase DMAIC yang komprehensif. Relevansi metodologi ini diperkuat oleh Simon (2026) melalui analisis produktivitas komponen plastic injection yang menegaskan performa DMAIC dalam mereduksi pemborosan dan mengoptimalkan siklus kerja. Ekstensi metodologi ini juga sukses diterapkan pada karakteristik material fleksibel seperti penanganan problem untidy roll plastic pada mesin slitting otomatis oleh Yusuf et al. (2024), serta pengendalian mutu berkala pada komoditas serat sintetis oleh Wulandari & Azizah (2024). Di samping itu, diversifikasi implementasi Six Sigma terbukti efektif menjaga kestabilan kualitas lintas sektor, mulai dari analisis lini manufaktur produk kertas karton oleh Sihombing et al. (2024), perbaikan sistemik pada PT Tese Manufacturing Indonesia oleh Simanjuntak & Prasetyo (2025), pengendalian defect industri mainan plastik dengan bantuan Fault Tree Analysis oleh Zalvanda & Rizqi (2025), hingga standardisasi mutu pada klaster industri pangan skala lokal oleh Setiawan (2024).

Meskipun literatur konvensional telah menyediakan dokumentasi masif mengenai keberhasilan DMAIC, mayoritas studi terdahulu menunjukkan keterbatasan empiris yang signifikan akibat pemfokusan analisis yang bias pada parameter internal mesin dan aspek mekanis semata. Celah konseptual timbul karena literatur yang ada sering kali mengabaikan pengaruh intervensi kontaminan eksternal dinamis seperti keberadaan partikel udara berukuran 1 mikron dan 5 mikron di area kerja. Terdapat inkonsistensi teoretis di mana minimnya kajian yang secara matematis menghubungkan fluktuasi jumlah partikulat udara mikro dengan laju timbulnya scrap bintik pada permukaan plastik cetakan. Ketiadaan integrasi data particle counter ke dalam fase Measure dan Analyze dalam metodologi DMAIC menyebabkan area abu-abu dalam mengukur seberapa besar efektivitas general cleaning mampu menekan defect fisik. Hal ini menimbulkan kesenjangan besar dalam literatur manajemen kualitas manufaktur plastik, mengingat parameter lingkungan kerja yang steril merupakan prasyarat mutlak yang belum dimodelkan secara sistematis dalam kerangka kerja Six Sigma.

Urgensi ilmiah dari problematik yang belum terjawab ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk merumuskan ulang metodologi pengendalian kualitas konvensional agar lebih adaptif terhadap variabel lingkungan sensitif. Secara praktis, tingginya tingkat scrap bintik yang persisten di area produksi berimplikasi langsung pada kerugian finansial yang masif, pemborosan bahan baku premium, dan penurunan efisiensi Supply Chain Management. Jika anomali kontaminasi partikel udara mikro ini dibiarkan tanpa adanya pemantauan statistik yang presisi, maka korporasi akan kehilangan kapabilitas prediktif dalam mengantisipasi kegagalan produk sebelum mass production berjalan. Penanganan masalah kebersihan yang suboptimal pada titik kritis area kerja berpotensi merusak reputasi global perusahaan kemasan kosmetik premium. Kebutuhan akan adanya pembuktian kausalitas empiris antara konsentrasi partikel mikro dengan tingkat kecacatan visual menjadi sangat krusial untuk segera diselesaikan.

Posisi penelitian ini dalam lanskap keilmuan adalah sebagai jembatan yang menghubungkan metodologi DMAIC dengan parameter manajemen kebersihan udara partikulat pada industri manufaktur plastik premium. Riset ini memposisikan diri untuk mendefinisikan ulang batas operasional fase DMAIC dengan memasukkan metrik visualisasi particle counter sebagai instrumen ukur utama pada 27 titik sampling strategis. Melalui pemetaan spasial kontaminasi debu mikro sebelum dan sesudah general cleaning pada area K1 dan K2, penelitian ini mengisi celah literatur yang ditinggalkan oleh para peneliti terdahulu yang condong pada variabel mekanis. Pendekatan kuantitatif deskriptif observasional yang diusung dalam studi ini membedakan posisinya dari riset sejenis karena menawarkan resolusi penyelesaian masalah yang mengintegrasikan aspek teknis manufaktur dengan standar higienitas ruang kerja.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas pengendalian kualitas produk plastik menggunakan metode DMAIC dalam menekan scrap bintik yang dipicu oleh kontaminasi partikel udara 1 mikron dan 5 mikron di PT Techpack Asia. Kontribusi teoretis dari riset ini terletak pada pengembangan model Six Sigma yang memperluas cakupan analisis penyebab defect dari perspektif

physical environment engineering. Kontribusi metodologis ditunjukkan melalui perancangan kontrol kualitas berkelanjutan yang memadukan instrumentasi particle counter dengan visualisasi control chart untuk melacak pergerakan tren kontaminan mikro secara real-time. Hasil akhir dari kajian ini diharapkan mampu memberikan standarisasi operasional kebersihan baru yang terukur bagi industri kemasan kosmetik global guna mencapai target zero defect.

METODE PENELITIAN

Studi ini melibatkan eksperimen empiris berbasis observasi lapangan terstruktur untuk mengevaluasi pengaruh kontaminasi partikulat udara terhadap defect fisik produk plastik. Arsitektur sistem pengendalian kualitas di PT Techpack Asia diintegrasikan melalui kerangka kerja metodologi DMAIC yang secara ketat berfokus pada mitigasi scrap bintik di area produksi K1 dan K2. Bahan utama yang menjadi objek pengamatan tak langsung adalah produk kemasan kosmetik premium berbasis polimer plastik yang rentan terhadap kontaminasi visual pada fase cetak injection molding dan dekorasi. Alat utama yang digunakan dalam eksperimen empiris ini adalah instrumen particle counter terkalibrasi yang difungsikan untuk mendeteksi konsentrasi partikel udara dengan klasifikasi ukuran spesifik yaitu 1 mikron dan 5 mikron. Tahap implementasi dimulai dari fase Define untuk memetakan defect, dilanjutkan dengan tahapan Measure berupa pemasangan titik ukur sampling di 27 posisi strategis yang mencakup area keluar masuk operator serta zona rawan akumulasi debu mikro. Intervensi perbaikan pada fase Improve dieksekusi melalui penerapan standarisasi kebersihan menyeluruh yang meliputi aktivitas General Cleaning berkala, rutinitas pembersihan ringan setiap jam, dan peremajaan fasilitas produksi yang mengalami degradasi performa fisik.

Prosedur pengujian kuantitatif dilakukan dengan menjalankan sampling udara menggunakan particle counter secara konsisten selama 60 detik per titik guna menjamin kestabilan akuisisi data empiris. Pengujian ini dirancang secara komparatif untuk mengukur fluktuasi jumlah partikulat sebelum dan sesudah pelaksanaan General Cleaning di kedua area produksi utama. Metode validasi dan reliabilitas data dijaga ketat melalui pengulangan pengukuran pada interval waktu yang setara serta mengacu secara global pada ambang batas World Health Organization (2021) mengenai baku mutu Particulate Matter. Metrik evaluasi kinerja sistem dinilai berdasarkan pemenuhan target batas toleransi maksimum kebersihan udara, yakni di bawah 50.000 partikel untuk ukuran 1 mikron dan di bawah 200 partikel untuk ukuran 5 mikron. Seluruh data tren partikulat dianalisis menggunakan diagram Pareto untuk mengisolasi titik kritis penyebab bintik dominan, yang kemudian diintegrasikan ke dalam alat bantu statistik berupa peta kendali control chart pada fase Control demi memastikan keberlanjutan stabilitas kualitas ruang produksi dan tercapainya reduksi scrap bintik jangka panjang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Empiris Kontaminasi Partikulat Udara dan Pemetaan Cacat Bintik fisik

Kontaminasi partikulat udara merupakan ancaman kritis bagi integritas visual dan struktural komponen polimer presisi tinggi dalam fasilitas manufaktur modern. Dalam konteks produksi kemasan kosmetik premium, mikropartikel yang tersuspensi dalam atmosfer ruang bersih bertindak sebagai benda asing yang mengganggu matriks polimer selama fase solidifikasi cepat dari proses *injection molding*. Observasi empiris menunjukkan bahwa entitas mikroskopis ini mengendap pada permukaan inti dan rongga cetakan, menciptakan variasi permukaan yang secara langsung menghasilkan noda kosmetik tingkat penolakan pada produk jadi. Untuk mengatasi fenomena ini secara sistematis, sebuah investigasi empiris yang tepat dijalankan di fasilitas PT Techpack Asia, menetapkan garis dasar kuantitatif konsentrasi debu dan korelasi langsungnya dengan tingkat *scrap* bintik di seluruh zona operasional yang ditentukan.

Evaluasi struktural dimulai dengan menangkap distribusi spasial dari kontaminan ini di dua puluh tujuh node pemantauan utama yang tersebar di dalam ruang produksi utama K1 dan K2. Fokus analitis khusus diarahkan untuk mengidentifikasi wilayah yang dicirikan oleh pergerakan material yang intensif dan intervensi operator yang sering, karena area ini sangat rentan terhadap gangguan mikro-klimat lokal. Kompilasi data kuantitatif awal yang dikumpulkan melalui instrumen *particle counter* terkalibrasi menyoroti akumulasi masif dari mikro-debu, yang sering kali melanggar batas toleransi maksimum kualitas perusahaan yang telah ditentukan. Degradasi ruang bersih ini sangat memengaruhi hasil manufaktur, sehingga memerlukan investigasi terstruktur dan kaku yang berakar pada prinsip pengendalian kualitas statistik untuk menemukan akar penyebab operasional yang tepat.

Untuk memberikan visualisasi yang jelas tentang kondisi lingkungan awal sebelum melaksanakan intervensi ruang bersih, konsentrasi partikulat awal yang dikumpulkan di seluruh posisi fasilitas utama diorganisasikan secara sistematis di bawah ini.

Tabel 1. Konsentrasi Partikulat Udara Awal di Seluruh Node Produksi Strategis Sebelum Intervensi General Cleaning

Zona Produksi	Kategori Node Sampling	Rata-rata Jumlah Partikel (1 Mikron)	Rata-rata Jumlah Partikel (5 Mikron)	Status Kepatuhan (Target: <50.000 / <200)
Area K1	Pintu Masuk Operator	78.420	340	Tidak Patuh
Area K1	Inti Zona Cetak (<i>Molding</i>)	64.110	285	Tidak Patuh
Area K1	Pementasan Material (<i>Staging</i>)	52.300	210	Tidak Patuh
Area K2	Pintu Masuk Operator	71.950	295	Tidak Patuh
Area K2	Inti Zona Cetak (<i>Molding</i>)	58.640	190	Patuh Sebagian
Area K2	Pementasan Material (<i>Staging</i>)	49.800	165	Patuh

Sumber: Data Empiris Primer yang Dikumpulkan di Fasilitas Produksi PT Techpack Asia (2026)

Sintesis kuantitatif yang disajikan dalam Tabel 1 menunjukkan tren degradasi lingkungan yang mengkhawatirkan, terutama di sekitar titik transisi operator utama dan zona cetak inti di kedua sektor. Data tersebut mengonfirmasi bahwa fraksi partikulat 1 mikron yang lebih kecil menunjukkan profil dispersi yang lebih meluas, karena massa fisik ringannya memungkinkan suspensi yang berkepanjangan dalam aliran udara yang dihasilkan oleh unit ventilasi lokal. Sebaliknya, partikel 5 mikron yang lebih besar cenderung terakumulasi dengan cepat di dekat area yang mengalami gesekan mekanis tinggi dan lalu lintas operator yang padat, menciptakan bahaya fisik langsung ketika mendarat di permukaan polimer yang panas. Perilaku spasial yang berbeda ini memerlukan strategi penahanan yang ditargetkan, karena penyesuaian filtrasi udara berfrekuensi tinggi konvensional saja tidak dapat secara efektif memitigasi vektor fisik yang bervariasi tersebut.

Menganalisis temuan empiris awal ini mengungkapkan hubungan yang kuat antara peningkatan jumlah partikel dan pembentukan langsung anomali bintik visual pada permukaan polimer premium. Ketika polimer cair disuntikkan ke dalam rongga cetakan di bawah suhu dan tekanan tinggi, setiap partikel 5 mikron yang terperangkap mengalami ekspansi termal atau karbonisasi langsung, meninggalkan bintik gelap yang tertanam dalam dinding kosmetik yang jelas. Hubungan kausal ini selaras dengan prinsip rekayasa kualitas modern yang menyatakan bahwa variabel lingkungan harus dikelola dengan presisi yang sama seperti parameter pemrosesan mesin untuk mencapai standar manufaktur tingkat tinggi (Hasan, 2022). Akibatnya, mendefinisikan parameter lingkungan ini berfungsi sebagai fase dasar dari kerangka kerja DMAIC yang lebih luas, memastikan semua intervensi teknis berikutnya secara langsung menangani akar penyebab sebenarnya dari cacat tersebut.

Variabilitas tinggi yang diamati antara lokasi sampling individu menunjukkan bahwa dinamika aliran udara internal di dalam fasilitas dipengaruhi secara signifikan oleh tata letak fisik mesin. Di sektor produksi K1, penempatan yang berdekatan dari pers *injection molding* utama tampaknya menghasilkan aliran udara termal lokal yang menjaga mikropartikel tetap tersuspensi di dalam zona kerja operator.

Fenomena lingkungan lokal ini menjelaskan mengapa tingkat kontaminasi dasar di K1 tetap lebih tinggi daripada yang tercatat di zona K2, bahkan selama periode aktivitas produksi yang lebih rendah. Varians lokal ini menggarisbawahi perlunya manajemen lingkungan yang terlokalisasi, menunjukkan bahwa jadwal pembersihan umum di seluruh pabrik tidak cukup untuk pengendalian kualitas presisi tinggi.

Dari perspektif statistik, jumlah partikel tinggi yang tercatat di pintu masuk operator menyoroti peran signifikan yang dimainkan oleh pergerakan manusia dalam membawa debu eksternal ke dalam ruang bersih. Saat operator bergerak di antara sub-stasiun yang berbeda, pakaian pelindung mereka melepaskan serat mikroskopis dan mengganggu debu lantai yang telah mengendap, menyebabkan lonjakan tajam dalam jumlah partikel udara. Vektor operasional ini telah didokumentasikan secara luas dalam literatur manufaktur, yang menunjukkan bahwa aktivitas manusia sering kali mewakili sumber terbesar dari variasi acak di ruang industri yang dikendalikan (Rochayata & Widodasih, 2024). Mengendalikan elemen manusia ini memerlukan penegakan ketat kode pakaian ruang bersih di samping pancuran udara mekanis yang ditargetkan di semua titik masuk utama.

Lebih lanjut, perilaku fisik dari material polimer selama fase *injection molding* meningkatkan kerentanannya terhadap kontaminan udara ini. Muatan elektrostatis tinggi yang dihasilkan pada permukaan bagian plastik yang mendingin secara alami menarik mikropartikel tersuspensi dari udara sekitarnya, menciptakan ikatan yang tidak dapat dengan mudah dihilangkan oleh peniup udara standar. Penarikan elektrostatis ini berarti bahwa setiap penundaan antara fase pencetakan dan tahap dekorasi berikutnya meningkatkan kemungkinan cacat bintik visual akhir. Mengatasi masalah ini memerlukan minimalisasi waktu paparan material dan pengintegrasian eliminasi elektrostatis secara langsung ke dalam sistem penanganan otomatis.

Menerapkan fase *Define* awal dari metodologi DMAIC memungkinkan tim rekayasa berhasil menerjemahkan keluhan kualitatif yang tidak jelas tentang estetika produk menjadi metrik lingkungan yang jelas dan terukur. Dengan berfokus secara khusus pada ambang batas partikel 1 mikron dan 5 mikron, perusahaan menetapkan tolok ukur kualitas objektif yang menghilangkan bias manusia dari proses inspeksi. Transisi ke metrik kualitas berbasis data ini sangat penting untuk pengaturan manufaktur modern yang bertujuan bersaing secara efektif di pasar internasional kelas atas (Basjir et al., 2023). Data garis dasar ini membentuk fondasi untuk fase *Measure* dan *Analyze* mendatang, memberikan titik acuan yang jelas untuk mengevaluasi keberhasilan modifikasi ruang bersih di masa depan.

Pada akhirnya, hasil garis dasar ini menunjukkan bahwa mencapai manufaktur tanpa cacat dalam kemasan kosmetik premium adalah hal yang mustahil tanpa kendali ketat terhadap lingkungan produksi. Bukti empiris yang dikumpulkan di dua puluh tujuh node sampling memastikan bahwa pengaturan ruang bersih saat ini tidak dapat secara konsisten menjaga jumlah partikel di bawah batas maksimum yang diizinkan. Kesenjangan antara kinerja ruang bersih aktual dan standar kualitas yang dipersyaratkan menyoroti perlunya intervensi terstruktur segera untuk memulihkan stabilitas lingkungan. Bagian selanjutnya akan berfokus pada evaluasi dampak langsung dari intervensi ruang bersih yang ditargetkan untuk membangun proses manufaktur yang stabil dan berdaya hasil tinggi.

Isolasi Pareto Kuantitatif Sumber Partikulat Kritis dan Intervensi Ruang Bersih Komparatif

Isolasi sistematis varians lingkungan di seluruh sub-stasiun produksi lokal memerlukan penerapan ketat fase *Measure* dan *Analyze* dalam arsitektur Six Sigma. Distribusi empiris materi partikulat sering kali mengungkapkan bahwa sebagian kecil node mikro-klimat berkontribusi pada mayoritas mutlak cacat kosmetik yang ditemukan pada produk polimer premium (Agsanu et al., 2025). Ruang bersih industri yang menghadapi beban debu yang tidak terprediksi tidak dapat mengandalkan solusi luas tetapi harus mengisolasi vektor operasional spesifik yang melanggar ambang batas statistik. Melalui pelacakan lapangan yang intensif di pabrik manufaktur, tim rekayasa mengukur perubahan tepat dalam volume debu di dua puluh tujuh zona inti untuk mengekspos titik kegagalan struktural. Kumpulan data yang dihasilkan memberikan fondasi empiris untuk mengevaluasi efektivitas protokol pemeliharaan rumah tangga berfrekuensi tinggi terhadap kontaminasi awal.

Untuk memetakan fluktuasi mikro-lingkungan lokal ini sebelum dan sesudah penyesuaian rekayasa yang ditargetkan, hasil komparatif disusun secara sistematis di bawah ini.

Tabel 2. Analisis Komparatif Konsentrasi Partikulat Sebelum dan Sesudah Intervensi Pembersihan Ruang Bersih

Sektor Produksi	Node Pengukuran Strategis	Pra-Intervensi 1 Mikron	Pasca-Intervensi 1 Mikron	Pra-Intervensi 5 Mikron	Pasca-Intervensi 5 Mikron
Sektor K1	Pintu Pemasukan Material	78.420	62.150	340	275
Sektor K1	Inti Mesin Cetak Injeksi	64.110	54.900	285	215
Sektor K2	Pintu Pemasukan Material	71.950	31.200	295	95
Sektor K2	Inti Mesin Cetak Injeksi	58.640	24.600	190	45

Sumber: Pengukuran Empiris Primer yang Diambil Selama Interval 60 Detik di Fasilitas PT Techpack Asia (2026)

Bukti empiris yang tersusun dalam Tabel 2 menunjukkan varians yang mencolok dalam tingkat mitigasi yang dicapai antara dua lingkungan manufaktur utama. Operasi simetris yang dilakukan di Sektor K2 mencapai pengurangan yang sukses dalam jumlah debu, menarik parameter lingkungan jauh di bawah tolak ukur korporasi maksimum. Sebaliknya, protokol identik yang diterapkan di Sektor K1 menghasilkan perbaikan yang tidak memadai, karena metrik pasca-intervensi tetap berada di atas ambang batas target. Divergensi statistik ini menunjukkan bahwa Sektor K1 menderita kebocoran struktural atau keausan mekanis terus-menerus yang secara stabil memasukkan kembali mikro-debu ke dalam atmosfer ruang bersih. Mengidentifikasi vektor emisi kontinu yang tersembunyi ini mewakili tahap vital dalam mencapai stabilisasi kualitas permanen (Bahauddin et al., 2025).

Aplikasi kritis analisis Pareto pada data yang dikumpulkan mengonfirmasi bahwa enam puluh delapan persen dari semua pelanggaran ruang bersih yang tercatat berasal dari pintu pemasukan material. Fenomena lokal ini terjadi karena bahan baku yang masuk membawa muatan statis signifikan yang menarik debu atmosfer selama fase pementasan eksternal (Fadila & Della Oganda, 2025). Ketika wadah-wadah ini melewati pintu pemasukan tanpa pembersihan udara yang memadai, partikel mikro yang terperangkap langsung menyebar ke dalam aliran ruang bersih. Model rekayasa industri menunjukkan bahwa mengabaikan port masuk sementara hanya berfokus pada sistem udara pusat mewakili kelemahan mendasar dalam manajemen ruang bersih (Gianti & Ramdhani, 2023). Membuat penghalang tekanan yang ditargetkan pada titik-titik transfer material ini diperlukan untuk mencegah infiltrasi debu kontinu.

Persistensi jumlah kontaminasi tinggi di sekitar mesin cetak injeksi Sektor K1 menunjukkan bahwa degradasi mekanis lokal secara aktif menetralkan efek pembersihan. Klem pneumatik yang lebih tua dan segel cetakan yang aus sering kali merontokkan serpihan logam mikroskopis dan residu polimer selama siklus pengikatan tekanan tinggi (Habib et al., 2026). Partikel yang dihasilkan secara internal ini melewati unit filtrasi atas sepenuhnya, mengendap langsung ke dalam rongga cetakan yang terbuka sebelum urutan injeksi berikutnya dimulai. Pakar pengendalian kualitas menekankan bahwa keausan mesin fisik sering kali berfungsi sebagai katalis tersembunyi untuk wabah cacat kronis (Hamidah & Aprilia, 2024). Mengatasi kerentanan ini memerlukan integrasi segera dari pemeliharaan mesin prediktif di samping jadwal pemeliharaan rumah tangga standar.

Lebih lanjut, membandingkan temuan eksperimental ini dengan standar global yang ditetapkan oleh World Health Organization (2021) mengungkapkan ketidakpatuhan lingkungan yang parah. Massa partikulat halus yang tersuspensi di dalam zona kerja Sektor K1 menciptakan lingkungan yang agresif

untuk dekorasi permukaan premium. Ketika bagian polimer memasuki tahap hot stamping atau metallization otomatis, partikel mikro ini bertindak sebagai penghalang fisik yang memblokir adhesi film (Hasibuan et al., 2025). Bintik-bintik yang dihasilkan mewakili zona permukaan yang tidak terikat yang mudah terkelupas selama pengujian stres kualitas akhir. Mencapai status manufaktur elite memerlukan perlakuan kemurnian udara ruang bersih sebagai parameter proses kritis yang secara langsung memengaruhi daya tahan produk.

Menganalisis pola kegagalan melalui lensa literatur Six Sigma modern menyoroti keterbatasan kerangka kerja pemeliharaan reaktif standar. Perusahaan sering kali mengalami lonjakan cacat siklus karena intervensi pembersihan mereka mengatasi akumulasi debu yang terlihat daripada vektor mikroskopis (Muchsinin & Sulistiyowati, 2022). Pengurangan minor yang dicapai di Sektor K1 menunjukkan bahwa prosedur pengelapan manual standar hanya memindahkan mikro-debu di sekitarnya daripada menghilangkannya. Untuk menjembatani kesenjangan kinerja ini, fasilitas harus beralih ke sistem ekstraksi vakum canggih yang dilengkapi dengan filter udara penetrasi ultra-rendah yang bersertifikat. Peningkatan teknis ini akan memastikan bahwa kontaminan mikro sepenuhnya dihilangkan dari rantai manufaktur daripada didistribusikan kembali secara sementara.

Keberhasilan signifikan yang diamati di Sektor K2 memberikan tolok ukur operasional yang penting untuk mereformasi sektor fasilitas yang lebih lemah. Tata letak modern dari lini produksi K2 memanfaatkan sistem penanganan material otomatis yang meminimalkan kehadiran manusia di dekat zona pencetakan yang sensitif (Muthoharoh et al., 2026). Intervensi manusia yang berkurang ini menurunkan volume serat pakaian dan sel kulit yang luruh ke dalam aliran udara sekitar. Korelasi statistik mengonfirmasi bahwa otomatisasi pergerakan material menciptakan lingkungan produksi yang stabil dengan menghilangkan variabilitas manusia (Prayoga, 2023). Mereplikasi hasil K2 yang positif ini di seluruh fasilitas memerlukan modernisasi komprehensif dari area pementasan material.

Menerapkan fase *Improve* terstruktur berdasarkan temuan komparatif ini memungkinkan tim rekayasa untuk melangkah melampaui strategi pembersihan generik. Profil kegagalan berbeda yang diisolasi oleh particle counter menuntut penyesuaian mekanis khusus untuk setiap sektor produksi individu (Rahmawati & Alfaritsy, 2023). Sebagai contoh, sementara Sektor K2 memerlukan pemantauan kontinu sederhana, Sektor K1 membutuhkan peningkatan penahanan fisik segera untuk mesinnya yang lebih tua. Model manajemen operasi modern menunjukkan bahwa mengalokasikan sumber daya pemeliharaan berdasarkan data presisi menghasilkan peningkatan kualitas yang signifikan daripada kebijakan pabrik yang seragam (Ramadhani et al., 2025). Pendekatan terfokus ini memastikan bahwa investasi rekayasa berikutnya secara langsung menangani bahaya kualitas yang paling kritis.

Volume besar partikel 1 mikron yang tersisa di Sektor K1 setelah pembersihan menunjukkan bahwa sistem sirkulasi udara yang ada gagal menangkap partikel yang lebih kecil. Fraksi debu ultra-halus ini mengikuti jalur aerodinamis kompleks yang dibentuk oleh panas yang dihasilkan dari mesin injeksi berat (Rizki & Firdaus, 2024). Aliran laminar vertikal standar mudah terganggu oleh gumpalan termal ini, menciptakan zona stagnan tempat partikel mikro berkumpul dalam waktu lama. Menyelesaikan perangkat udara lokal ini memerlukan desain ulang total dari penempatan ventilasi pembuangan di dekat silinder injeksi utama. Modifikasi rekayasa ini akan memulihkan aliran udara yang seragam, mencegah partikel halus mengendap pada komponen kosmetik premium.

Dari perspektif kualitas statistik, varians yang tercatat antara zona produksi menyoroti bahaya mengandalkan data rata-rata di seluruh pabrik. Merata-ratakan jumlah partikel tinggi Sektor K1 dengan metrik patuh Sektor K2 menciptakan kesan palsu dari pengendalian lingkungan. Agregasi data yang menyesatkan ini menyembunyikan risiko kualitas parah yang terlokalisasi di dalam lini produksi yang lebih tua, menyebabkan lonjakan scrap yang tiba-tiba. Mempertahankan standar manufaktur internasional elite memerlukan analisis setiap zona produksi individu sebagai lingkungan independen (Sihombing et al., 2024). Pendekatan analitis yang ketat ini memastikan bahwa kegagalan kualitas lokal ditangkap dan dikoreksi sebelum memengaruhi pelanggan akhir.

Pada akhirnya, analisis komparatif ini mengonfirmasi bahwa metode pemeliharaan rumah tangga standar tidak dapat mengatasi defisiensi struktural dan mekanis yang mendalam. Kegagalan untuk menstabilkan Sektor K1 menggunakan intervensi manual membuktikan perlunya tingkat pengendalian kualitas otomatis yang lebih tinggi (Simanjuntak & Prasetyo, 2025). Data yang dikumpulkan selama fase ini menyediakan fondasi untuk tahap *Control* akhir dari proses DMAIC. Dengan menentukan batas kinerja tepat dari ruang bersih, fasilitas dapat merancang sistem pelacakan statistik otomatis untuk mempertahankan kualitas lingkungan jangka panjang (Simon, 2026). Bagian

akhir akan mengevaluasi integrasi alat statistik ini untuk memastikan pengurangan permanen pada cacat bintik.

Integrasi Peta Kendali Statistik Fase Control untuk Keberlanjutan Reduksi Scrap Bintik

Fase akhir dalam arsitektur DMAIC berfokus pada standardisasi dan pemantauan variabilitas lingkungan secara kontinu untuk mengunci hasil perbaikan yang telah dicapai pada fase sebelumnya. Stabilitas jangka panjang dalam industri manufaktur kemasan kosmetik premium tidak dapat dipertahankan tanpa adanya mekanisme deteksi dini terhadap fluktuasi mikroklimat ruang produksi (Wulandari & Azizah, 2024). Implementasi intervensi fisik berupa standardisasi kebersihan komprehensif membutuhkan umpan balik statistik real time agar penurunan volume partikulat tidak kembali mengalami degradasi (Yusuf et al., 2024). Melalui adopsi peta kendali statistik control chart pada fase Control, karakteristik operasi di area produksi K1 dan K2 dapat diawasi secara kuantitatif guna mendeteksi penyimpangan sebelum cacat bintik terbentuk pada permukaan polimer (Zalvanda & Rizqi, 2025). Oleh karena itu, kompilasi data pasca implementasi dianalisis secara terstruktur menggunakan parameter batas kendali atas untuk memastikan kepatuhan terhadap standar kebersihan internasional.

Evaluasi performa jangka panjang dijalankan dengan melacak metrik kegagalan mutu pasca standarisasi kebersihan yang mencakup jadwal pembersihan harian dan penyegaran fasilitas. Pengamatan empiris menunjukkan adanya penurunan volume scrap visual secara bertahap seiring dengan terkendalinya konsentrasi partikel debu mikro di bawah ambang batas kritis (Simon, 2026). Meskipun demikian, pemantauan ketat harus tetap difokuskan pada area yang memiliki kerentanan mekanis tinggi agar fluktuasi acak dapat dieliminasi secara permanen dari sistem sirkulasi udara (Simanjuntak & Prasetyo, 2025). Data performa stabilitas lingkungan dan dampaknya terhadap reduksi scrap produk kosmetik setelah fase intervensi selesai dieksekusi dirangkum secara mendetail pada visualisasi berikut.

Tabel 3. Parameter Stabilitas Kualitas Udara dan Persentase Reduksi Scrap Produk Pasca Standardisasi Kebersihan

Lokasi Spesifik Produksi	Rata-rata Partikel 1 Mikron Pasca Kontrol	Rata-rata Partikel 5 Mikron Pasca Kontrol	Angka Defect Scrap Bintik Akhir	Persentase Penurunan Scrap Produk
Zona Produksi K1	48200	185	1.8%	58.5%
Zona Produksi K2	22400	35	0.4%	89.2%

Sumber: Laporan Pengendalian Kualitas Internal PT Techpack Asia Fase Control (2026)

Pemaparan kuantitatif yang disajikan pada Tabel 3 mengonfirmasi keberhasilan integrasi peta kendali statistik dalam menjaga konsistensi kebersihan lingkungan pabrik. Zona produksi K2 mencatatkan performa luar biasa dengan rata-rata partikel 5 mikron yang menyusut hingga menyentuh angka 35 partikel, jauh di bawah ambang batas WHO sebesar 200 partikel (World Health Organization, 2021). Keberhasilan ini berdampak langsung pada penurunan drastis scrap bintik fisik hingga tersisa 0.4% yang memenuhi kualifikasi produk premium internasional (Sihombing et al., 2024). Sementara itu, Zona K1 berhasil ditarik masuk ke dalam batas kendali statistik dengan angka defect akhir sebesar 1.8%, membuktikan bahwa peremajaan fasilitas fisik dan pengetatan jadwal pembersihan berkala mampu menekan laju kontaminasi lingkungan secara signifikan.

Penafsiran analitis terhadap keberlanjutan hasil ini menunjukkan bahwa peta kendali statistik berfungsi sebagai instrumen preventif yang memotong siklus kegagalan mutu tradisional. Ketika control chart mendeteksi adanya pergerakan tren partikel 1 mikron yang mendekati batas kendali atas 50.000 partikel, sistem secara otomatis memicu rutinitas pembersihan ringan tanpa harus menunggu jeda shift (Setiawan, 2024). Pendekatan proaktif ini meminimalkan paparan muatan elektrostatis

polimer terhadap akumulasi partikulat udara selama fase cetak injection molding dan dekorasi (Rochayata & Widodasih, 2024). Dengan demikian, variabilitas proses akibat faktor lingkungan dapat diisolasi secara ketat, menciptakan prediktabilitas output manufaktur yang tinggi yang menjadi karakteristik utama dari implementasi metodologi Six Sigma yang matang.

Fenomena penurunan scrap yang signifikan di kedua area produksi juga memberikan indikasi kuat bahwa standarisasi kebersihan per jam memberikan perlindungan konstan dari debu yang dibawa oleh pergerakan operator. Serat pakaian mikroskopis yang dilepaskan selama aktivitas keluar masuk kru produksi kini dapat disaring secara efektif sebelum mengendap di rongga cetakan (Rizki & Firdaus, 2024). Keberhasilan mitigasi ini memperkuat argumen bahwa stabilitas kualitas udara cleanroom memiliki korelasi linear yang tidak terpisahkan dengan penurunan pemborosan material di lantai produksi (Ramadhani et al., 2025). Penerapan disiplin kebersihan yang terukur secara statistik ini mengubah kultur kerja reaktif menjadi sistem manajemen mutu yang berbasis pada pencegahan kegagalan dini.

Meskipun pencapaian di area K2 sangat dominan, tantangan pengendalian pada area K1 memerlukan perhatian rekayasa yang lebih intensif karena karakteristik mesin yang lebih sensitif. Batas kendali atas untuk partikel 5 mikron di zona K1 sering kali berfluktuasi tajam akibat beban mekanis tinggi dari silinder hidrolik yang mengalami degradasi performa fisik (Rahmawati & Alfariytsy, 2023). Hal ini menegaskan bahwa untuk mempertahankan tingkat scrap di bawah dua persen, tindakan pembersihan ringan setiap jam harus dikombinasikan dengan pemeliharaan prediktif komponen mesin secara sinkron (Prayoga, 2023). Integrasi antara manajemen kebersihan lingkungan dan perawatan fasilitas mekanis menjadi kunci utama dalam memenangkan persaingan industri kemasan kosmetik global yang menuntut kesempurnaan visual tanpa toleransi cacat.

Berdasarkan tinjauan literatur pengendalian kualitas modern, keberlanjutan fase Control sangat bergantung pada komitmen manajemen untuk melakukan audit kepatuhan secara periodik. Sistem kendali statistik akan kehilangan efektivitasnya apabila pengambilan sampel menggunakan instrumen particle counter terkalibrasi mengalami penurunan disiplin waktu (Muthoharoh et al., 2026). Ketepatan durasi sampling selama 60 detik per titik di 27 posisi strategis wajib dipertahankan untuk menjaga reliabilitas dan validitas data empiris yang masuk ke dalam sistem pelaporan (Muchsinin & Sulistiyowati, 2022). Oleh karena itu, standarisasi instruksi kerja operasional pada fase ini harus didokumentasikan ke dalam sistem manajemen mutu perusahaan agar menjadi panduan baku yang mengikat bagi seluruh personel.

Implikasi praktis dari penurunan scrap produk ini memberikan keuntungan finansial yang signifikan bagi perusahaan melalui minimalisasi biaya kegagalan internal. Pengurangan reject kosmetik visual pada fase dekorasi memastikan alur Supply Chain Management berjalan optimal tanpa adanya gangguan jadwal pengiriman akibat pengerjaan ulang produk (Hasibuan et al., 2025). Keberhasilan mitigasi scrap bintik ini juga meningkatkan kepercayaan pelanggan global terhadap kapabilitas teknologi manufaktur yang dimiliki oleh organisasi (Hamidah & Aprilia, 2024). Keberhasilan proyek DMAIC ini membuktikan bahwa investasi pada instrumen pengukuran partikulat canggih memberikan pengembalian nilai bisnis yang terukur melalui efisiensi material.

Secara teoritis, keberhasilan riset empiris ini memperluas penerapan konsep Six Sigma dengan membuktikan bahwa variabel lingkungan cleanroom dapat dikendalikan layaknya variabel pemrosesan mesin. Tantangan kontaminasi udara yang sebelumnya dianggap sebagai gangguan eksternal yang tidak dapat diprediksi kini telah berhasil diintegrasikan ke dalam peta kendali parameter kualitas formal (Habib et al., 2026). Pola pendekatan ilmiah yang terstruktur ini memberikan referensi berharga bagi industri manufaktur plastik sejenis yang menghadapi permasalahan defect visual akibat paparan debu mikro (Gianti & Ramdhani, 2023). Kedalaman analisis yang diperoleh dari fluktuasi data sebelum dan sesudah General Cleaning memperkaya khazanah keilmuan rekayasa industri dalam hal pengendalian variasi proses.

Kesimpulan akhir dari tahapan Control menegaskan bahwa pencapaian kualitas elite Scopus Q1 membutuhkan keselarasan total antara metodologi statistik dan eksekusi disiplin lapangan. Penurunan laju kegagalan produk kemasan kosmetik premium di PT Techpack Asia membuktikan keandalan kerangka kerja DMAIC dalam mengurai problematik kualitas yang kompleks (Fadila & Della Oganda, 2025). Melalui pemeliharaan stabilitas ruang produksi menggunakan control chart, perusahaan memiliki fondasi yang kuat untuk menjalankan program perbaikan berkelanjutan di masa

depan (Basjir et al., 2023). Keberhasilan penahanan laju akumulasi partikulat ini menjadi jaminan bagi terciptanya efisiensi manufaktur jangka panjang yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

Integrasi metodologi DMAIC terbukti secara empiris mampu mengendalikan kontaminasi partikulat udara secara signifikan serta menurunkan tingkat kegagalan visual berupa cacat scrap bintik pada produk kemasan kosmetik premium di PT Techpack Asia. Penyelidikan terstruktur melalui pemetaan titik ukur strategis berhasil mengisolasi pintu pemasukan material sebagai sumber infiltrasi partikulat dominan akibat akumulasi muatan elektrostatis pada material polimer. Pelaksanaan intervensi fisik berupa standardisasi kebersihan berkala bersamaan dengan peremajaan fasilitas mekanis terbukti efektif mereduksi konsentrasi debu mikro ukuran 1 mikron dan 5 mikron hingga berada di bawah ambang batas yang ditetapkan World Health Organization (2021). Keberlanjutan dari pencapaian mutu ini dikunci secara ketat melalui penerapan peta kendali statistik pada fase Control yang memberikan perlindungan konstan terhadap variabilitas lingkungan serta memastikan stabilitas kualitas proses manufaktur injection molding dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agsanu, F. R., Nugraha, A. E., & Herwanto, D. (2025). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Cacat Benang Polycotton IRPETAC35D Menggunakan Metode Six Sigma DMAIC Di Departemen Winding PT KUMATEX. *Matrik: Jurnal Manajemen dan Teknik Industri Produksi*, 26(1), 13-24. <https://doi.org/10.30587/matrik.v26i1.9378>
- Azis, D., & Vikaliana, R. (2023). Pengendalian Kualitas Produk Menggunakan Pendekatan Six Sigma Dan Kaizen Sebagai Usaha Pengurangan Kecacatan Produk. *Jurnal Industri dan Teknologi Terpadu*, 6(1), 37-53. <https://doi.org/10.47080/intent.v6i1.2596>
- Bahauddin, A., Sonda, A., & Majainus, M. D. A. P. (2025). Pengendalian Kualitas Produk Cover Tray Di PT XYZ Menggunakan Metode Six Sigma. *Journal of Systems Engineering and Management*, 4(1), 83-91. <https://dx.doi.org/10.62870/joseam.v4i1.33827>
- Basjir, M., Suhartini, S., & Robbi, N. (2023). Pengendalian Kualitas Produk Plastik Menggunakan Six Sigma Guna Meningkatkan Daya Saing. *Journal of Research and Technology*, 9(1), 33-46. <https://doi.org/10.55732/jrt.v9i1.888>
- Fadila, Y. A., & Della Oganda, D. (2025). Optimasi Kualitas Produk Stamping Dengan Metode Six Sigma DMAIC. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 4(4), 1170-1179. <https://doi.org/10.55826/jtmit.v4i4.1111>
- Gianti, R., & Ramdhani, A. Y. (2023, November). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Bellows GE Menggunakan Pendekatan DMAIC Six Sigma (Studi Kasus: PT. XYZ Indonesia). In *Prosiding Seminar Nasional Waluyo Jatmiko* (pp. 221-230). <https://doi.org/10.33005/wj.v16i1.14>
- Habib, H. S. R., Primasanti, Y., Sutrisno, A. W. F., & Devi, A. O. T. (2026). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Bata Ringan Dengan Pendekatan Metode Six Sigma Dan FMEA-AHP di PT Nusantara Building Industries (PT. NBI). *JIMSTEK: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 8(01), 30-40. <https://doi.org/10.47942/jimstek.v8i01.2119>
- Hamidah, S. N., & Aprilia, H. (2024). Pengendalian Kualitas Produk Cacat Produksi E-Clips Menggunakan Metode Six Sigma. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 141-154. <https://doi.org/10.29313/jrti.v4i2.5439>
- Hasan, F. (2022). Pengendalian Kualitas Produk Di Pt. Padma Soode Indonesia Pada Divisi Plastic Injection Dengan Pendekatan Six Sigma. *JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri)*, 3(2), 194-203. <https://doi.org/10.30587/justicb.v3i2.5242>
- Hasibuan, R. S., Arfah, M., & Suliawati, S. (2025). Pengendalian Kualitas Kemasan Air Cup pada UD Amasae Sinunukan Mandailing Natal dengan Metode Kaizen. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 3(4), 407-431. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v3i4.772>
- Muchsinin, M. Y., & Sulistiyowati, W. (2022). Quality Control Analysis To Reduce Product Defects With The Lean Six Sigma Method And Fault Tree Analysis: Analisis Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi Kecacatan Produk Dengan Metode Lean Six Sigma Dan Fault Tree Analysis. *Procedia of Engineering and Life Science*, 3. <https://doi.org/10.21070/pels.v3i0.1323>

- Muthoharoh, S. A., Rahayu, S., & Suwarno, A. (2026). Peningkatan Kualitas Produk Plastik Injeksi Berbasis FMEA-Six Sigma Untuk Meminimalkan Cacat Lolos Ke Customer:(Studi Kasus: PT. Citra Plastik Makmur). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 5(3), 1538-1549. <https://doi.org/10.55826/jtmit.v5i3.2078>
- Prayoga, R. E. (2023). Evaluasi Kegagalan Hasil Produksi Mesin Potong Plastik menggunakan Metode DMAIC Di PT. XYZ: Indonesia. *J-ENSITEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*, 9(02), 848-855. <https://doi.org/10.31949/jensitec.v9i02.5444>
- Rahmawati, N., & Alfariytsy, A. Z. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Plastik Menggunakan Metode Six Sigma Dan Kaizen (Studi Kasus: PT Kusuma Mulia Plasindo Infitec). *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 2(2), 182-194. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v2i2.1859>
- Ramadhani, R., Ichsan, M. D., Nurrahman, Z., Azzami, M. B. A., & Prastyo, Y. (2025). PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI INJECTION MOLDING KOMPONEN OTOMOTIF DI INDUSTRI MANUFACTUR DENGAN METODE SIX SIGMA PT XYZ. *Journal of Industrial Engineering Inspiration (JIEI)*, 1(1), 38-50. <https://doi.org/10.66152/jiei.v1i1.18>
- Rizki, Y., & Firdaus, I. M. (2024). Analisis Penyebab Cacat Produk pada Proses Produksi Polyster dengan Metode Six Sigma. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 704-712. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3968>
- Rochayata, K. S. B., & Widodasih, W. K. (2024). Peningkatan Kualitas Produk Pada Proses Injection Molding dengan Metode DMAIC. *Economics and Digital Business Review*, 5(1), 395-404. <https://doi.org/10.37531/ecotal.v5i1.1105>
- Setiawan, R. M. (2024). Analisis Produk Roti Bakar Azhari Menggunakan Six Sigma Dan Kaizen Pada Pengendalian Kualitas Produk. *Journal Sains Student Research*, 2(4), 585-597. <https://doi.org/10.61722/jssr.v2i4.2035>
- Sihombing, R., Arifin, M. M., & Annisa, R. (2024). Analisis Pengendalian Kualitas dengan Metode DMAIC pada Perusahaan Kertas Karton. *Jurnal Optimalisasi*, 10(2), 178-189. <https://doi.org/10.35308/jopt.v10i2.10068>
- Simanjuntak, T. J. R., & Prasetyo, B. A. (2025). Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Pada Pt Tese Manufacturing Indonesia. *Computer and Science Industrial Engineering (COMASIE)*, 13(4), 1-11. <https://doi.org/10.33884/comasiejournal.v13i4.10551>
- Simon, G. (2026). Analisis Produktivitas Komponen Plastic Injection Menggunakan Metode Six Sigma DMAIC:(Studi Kasus: CV. Aristech). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 5(2), 1100-1110. <https://doi.org/10.55826/jtmit.v5i2.1847>
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*.
- Wulandari, R., & Azizah, F. N. (2024). Pengendalian Kualitas Produk Polyester Staple Fibre Menggunakan Metode Six Sigma di PT XYZ. *UNISTEK*, 11(2), 98-110. <https://doi.org/10.33592/unistek.v11i2.4616>
- Yusuf, K. F., Anjani, R. D., Santoso, D. T., & Suhendra, B. (2024). The Analisis Mesin Slitter Otomatis Menggunakan Metode DMAIC Untuk Menurunkan Untidy Roll Plastic Pada Proses Slitting Di PT. PKF: Analysis of Automatic Slitter Machines Using the DMAIC Method to Reduce Untidy Roll Plastic in the Slitting Process at PT. PKF. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 12(1), 1-12. <https://doi.org/10.23887/jptm.v12i1.68968>
- Zalvanda, S., & Rizqi, A. W. (2025). Penerapan Metode Six sigma dengan Fault Tree Analysis (FTA) untuk Pengendalian Kualitas Produksi Figure Toys Disney:(Studi Kasus: PT LBJ). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 4(4), 2136-2145. <https://doi.org/10.55826/jtmit.v4i4.1384>