E-ISSN: 3025-0994
Halaman 5265-5274
Volume 4 Nomor 3 Tahun 2026

Pengendalian Kualitas Produk Karpet Sapi Menggunakan Six Sigma pada PT X

Fredy Arya Eka Nugraha[1], Andarmadi Jati Abdhi Wasesa[2]

[1,2] Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Indonesia
e-mail: toybang53@gmail.com ; andarmadi15@gmail.com

Abstrak

Industri manufaktur karet memerlukan pengendalian variasi proses karena cacat pada tahap vulkanisasi dan pengepresan langsung memengaruhi fungsi, tampilan, biaya pengerjaan ulang, serta keandalan produk. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik cacat produk karpet sapi, menentukan prioritas perbaikan, mengevaluasi kestabilan dan kapabilitas proses, serta merumuskan tindakan pengendalian pada PT X. Penelitian menggunakan studi kasus deskriptif-kuantitatif dengan pendekatan Six Sigma pada tahap Define, Measure, dan Analyze. Data mencakup seluruh produksi selama 28 hari aktif pada Oktober 2025, yang dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dokumentasi, dan laporan quality control. Analisis menggunakan Critical to Quality, diagram Pareto, p-chart, Defects per Million Opportunities, level sigma, dan diagram sebab-akibat. Dari 10.992 unit produksi tercatat 1.027 unit cacat atau 9,34%. Lima kategori cacat teridentifikasi, sedangkan rekap kategori mengklasifikasikan 1.005 kejadian; tiga cacat terbesar, yaitu menggelembung, ketebalan tidak sesuai, dan hasil mentah, menyumbang 73% cacat terklasifikasi. P-chart menunjukkan hari ke-2 dan ke-12 melampaui batas kendali atas serta hari ke-11 berada di bawah batas kendali bawah. Perhitungan agregat menghasilkan 23.357,90 DPMO dan tingkat proses sekitar 3,49 sigma. Akar masalah mencakup ketidakstabilan suhu dan tekanan, disiplin prosedur, kualitas compound, kalibrasi pengukuran, serta lingkungan kerja. Temuan menegaskan bahwa perusahaan perlu melanjutkan tahap Improve dan Control melalui standardisasi parameter press, pemeliharaan preventif, penguatan kompetensi operator, pengendalian material, dan pemantauan statistik berkelanjutan.

Kata Kunci: Kapabilitas Proses; Karpet Sapi; Pengendalian Kualitas; Six Sigma; Variasi Proses

Abstract

Rubber manufacturing requires rigorous process-variation control because defects generated during vulcanization and pressing directly affect product function, appearance, rework cost, and reliability. This study aimed to identify defect characteristics in rubber cow-mat products, establish improvement priorities, evaluate process stability and capability, and formulate quality-control actions at PT X. A descriptive quantitative case study was conducted using the Define, Measure, and Analyze stages of Six Sigma. The dataset covered all production during 28 active days in October 2025 and was collected through observation, interviews, documentation, and quality-control records. Critical-to-Quality analysis, a Pareto chart, a p-control chart, Defects per Million Opportunities, sigma conversion, and cause-and-effect analysis were applied. Of 10,992 produced units, 1,027 defective units were reported, representing 9.34%. Five defect categories were identified, while the category recap classified 1,005 events; the three largest categories—blistering, nonconforming thickness, and undercured products—account for 73% of classified defects. The p-chart indicates that days 2 and 12 exceed their upper control limits, whereas day 11 falls below its lower control limit. Aggregate recalculation produces 23,357.90 DPMO and an approximately 3.49-sigma process

level. Root causes involve unstable temperature and pressure, inconsistent procedural discipline, compound quality, measurement calibration, and workplace conditions. The findings demonstrate that inspection alone is insufficient because special-cause variation remains present. PT X should therefore continue to the Improve and Control phases by standardizing press parameters, implementing preventive maintenance, strengthening operator competence, controlling raw materials, reconciling defect records, and institutionalizing statistical monitoring.

Keywords: Cow Mat; Process Capability; Process Variation; Quality Control; Six Sigma

LATAR BELAKANG

Konsistensi kualitas merupakan prasyarat utama bagi manufaktur produk karet karena sifat akhir produk dibentuk oleh interaksi formulasi compound, distribusi material, suhu, tekanan, waktu vulkanisasi, kondisi cetakan, dan keterampilan operator. Variasi pada salah satu faktor tersebut dapat menghasilkan produk yang secara visual tampak tidak seragam sekaligus mengalami penurunan fungsi mekanis. Dalam perspektif operasional, cacat meningkatkan kebutuhan inspeksi, pemilahan, pengerjaan ulang, pemakaian bahan, serta waktu siklus. Studi mutakhir menunjukkan bahwa pendekatan berbasis data seperti Six Sigma dan Lean Six Sigma efektif untuk memetakan variasi, menemukan penyebab dominan, dan mengarahkan perbaikan pada proses manufaktur (Daniyan et al., 2022; Yu et al., 2022; Pongboonchai-Empl et al., 2024).

PT X memproduksi karpet sapi berbahan karet melalui rangkaian penerimaan bahan, pencampuran compound, proses line, pengepresan, grinding, printing, pemeriksaan kualitas, dan penyimpanan barang jadi. Tahap press menjadi titik kritis karena kombinasi panas dan tekanan menentukan ketebalan, kematangan, elastisitas, serta keseragaman permukaan. Catatan awal perusahaan menunjukkan proporsi cacat berkisar 5-15%, yang mencakup permukaan menggelembung, ketebalan tidak sesuai, sobek, warna atau hasil cat tidak sesuai prosedur, dan produk belum matang. Permasalahan tersebut tidak cukup diselesaikan dengan pemeriksaan akhir, sebab inspeksi hanya memisahkan produk yang gagal tanpa menghilangkan sumber variasi pada proses.

Six Sigma menyediakan struktur analisis yang menautkan kebutuhan kualitas pelanggan dengan data kecacatan, kestabilan statistik, kapabilitas proses, dan akar penyebab. Penerapannya pada manufaktur komponen karet terbukti dapat menurunkan penolakan dan meningkatkan level sigma ketika tindakan perbaikan diterapkan secara konsisten (Mittal et al., 2023). Hasil serupa dilaporkan pada pemasok komponen otomotif, industri kimia, dan proses perakitan, yang menunjukkan bahwa DMAIC menjadi efektif ketika analisis statistik diikuti standardisasi proses dan validasi perbaikan (Condé et al., 2023; Alarcón et al., 2024). Di Indonesia, Six Sigma juga digunakan untuk mengendalikan cacat pada furnitur, teh, lensa, dan produk manufaktur lain, tetapi karakteristik cacat pada karpet ternak berbahan karet dan ketergantungannya pada proses press masih jarang dibahas secara spesifik (Al-Faritsy & Wahyunoto, 2022; Asih et al., 2021; Rinjani et al., 2021).

Kesenjangan penelitian terletak pada kebutuhan analisis yang secara bersamaan menghubungkan distribusi jenis cacat, sinyal ketidakstabilan proses harian, kapabilitas berbasis DPMO, serta penyebab teknis dan organisasional pada produk karpet sapi. Selain itu, audit awal terhadap rekap penelitian menunjukkan perlunya rekonsiliasi antara total cacat harian dan klasifikasi jenis cacat agar keputusan perbaikan tidak dibangun dari data yang tidak konsisten. Dengan demikian, pertanyaan penelitian ini adalah: jenis cacat apa yang paling dominan, apakah proses telah terkendali secara statistik, bagaimana tingkat kapabilitasnya, faktor apa yang menjadi akar penyebab, dan tindakan apa yang perlu diprioritaskan oleh perusahaan?

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi Critical to Quality produk karpet sapi, menentukan prioritas cacat melalui Pareto, mengevaluasi kestabilan menggunakan p-chart,

menghitung DPMO dan level sigma, serta menyusun rekomendasi berdasarkan analisis 5M+1E. Kontribusi ilmiahnya terletak pada penerapan terintegrasi perangkat Six Sigma pada produk karet untuk peternakan sekaligus penekanan terhadap integritas data sebagai bagian dari pengendalian kualitas. Secara praktis, hasil penelitian menyediakan dasar bagi PT X untuk beralih dari pengendalian reaktif berbasis inspeksi menuju pengendalian preventif berbasis parameter proses, pemeliharaan, kompetensi operator, dan pemantauan statistik.

METODE

Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan desain studi kasus pada lini produksi karpet sapi PT X di Kabupaten Gresik. Populasi penelitian adalah seluruh unit karpet sapi yang diproduksi selama Oktober 2025. Sampel diperlakukan sebagai sensus terhadap 28 hari operasional aktif, yaitu 10.992 unit produksi, karena tiga hari dalam bulan tersebut merupakan hari libur operasional. Unit analisis mencakup jumlah produk yang diperiksa, jumlah unit cacat per hari, kategori cacat, parameter proses yang relevan, serta kondisi manusia, mesin, metode, material, pengukuran, dan lingkungan.

Data primer diperoleh melalui observasi langsung pada alur produksi dan area press, wawancara dengan personel produksi dan quality control, serta pemeriksaan visual terhadap karakteristik cacat. Data sekunder berasal dari laporan produksi dan catatan inspeksi bulan Oktober 2025. Ketebalan produk dinilai terhadap spesifikasi perusahaan menggunakan alat ukur, sedangkan ketidaksesuaian warna dikaji melalui standar visual dan instrumen pengukuran warna yang tersedia. Lima kategori cacat awal ditetapkan sebagai CTQ, kemudian empat kategori dominan yang mencapai 88% kumulatif digunakan sebagai peluang cacat pada perhitungan DPMO sesuai struktur analisis sumber.

Pengolahan dilakukan melalui tahap Define, Measure, dan Analyze. Define menetapkan kebutuhan mutu serta lima kategori cacat. Measure menghitung frekuensi, proporsi cacat, Pareto, garis pusat dan batas kendali p-chart yang disesuaikan dengan ukuran sampel harian, serta DPO, DPMO, dan level sigma. Analyze menggunakan diagram sebab-akibat 5M+1E untuk menelusuri akar masalah dan menyusun prioritas tindakan. Validasi ulang dilakukan terhadap agregasi data. P-chart dan kapabilitas dihitung dari total harian 1.027 cacat, sedangkan Pareto menggunakan 1.005 cacat yang telah terklasifikasi; selisih 22 catatan diperlakukan sebagai ketidaksesuaian administrasi yang harus diverifikasi, bukan dialokasikan secara asumtif ke kategori tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja Kualitas dan Integritas Data

Produksi selama 28 hari aktif mencapai 10.992 unit dengan 1.027 unit cacat, sehingga proporsi cacat agregat sebesar 9,34%. Nilai ini berarti hampir satu dari sepuluh unit memerlukan pemisahan, evaluasi, pengerjaan ulang, atau pemrosesan kembali. Besarnya proporsi tersebut mengonfirmasi bahwa persoalan kualitas bukan kejadian insidental, melainkan isu proses yang memerlukan pengendalian terstruktur. Pada manufaktur karet, tingkat cacat yang tinggi juga berpotensi memperbesar konsumsi compound dan energi karena produk gagal harus dihancurkan atau dimasukkan kembali ke aliran bahan.

Audit rekap menemukan bahwa penjumlahan lima kategori cacat menghasilkan 1.005 kejadian, sedangkan total cacat harian adalah 1.027. Selisih 22 kejadian muncul pada data tanggal 21 Oktober, ketika jumlah cacat harian tercatat 53, tetapi jumlah kategori pada baris yang sama hanya 31. Ketidaksesuaian ini tidak mengubah penilaian p-chart yang menggunakan total harian, tetapi memengaruhi denominator Pareto dan interpretasi komposisi cacat. Temuan tersebut penting karena sistem pengukuran merupakan salah satu elemen 5M+1E: keputusan perbaikan akan kehilangan ketepatan apabila definisi, pencatatan, dan rekonsiliasi cacat tidak dijaga.

Tabel 1. Ringkasan kinerja kualitas dan hasil rekonsiliasi data

Indikator	Nilai	Makna analitis
Hari operasional	28 hari	Mencakup seluruh hari produksi aktif Oktober 2025
Total produksi	10.992 unit	Basis evaluasi proses
Total cacat harian	1.027 unit	Digunakan untuk p-chart dan kapabilitas agregat
Proporsi cacat	9,34%	Menunjukkan kebutuhan perbaikan proses yang substansial
Cacat terklasifikasi	1.005 kejadian	Digunakan untuk Pareto kategori
Selisih data	22 kejadian	Perlu rekonsiliasi sebelum fase Improve dan Control

Sumber: Data diolah (2026).

Prioritas Cacat Berdasarkan Pareto

Analisis Pareto menunjukkan bahwa cacat menggelembung merupakan kategori terbesar dengan 270 kejadian atau 26,87% dari cacat terklasifikasi. Ketebalan tidak sesuai berjumlah 238 kejadian atau 23,68%, sedangkan hasil mentah mencapai 230 kejadian atau 22,89%. Ketiga kategori tersebut membentuk 73% kumulatif, sehingga perbaikan yang diarahkan pada stabilitas vulkanisasi dan distribusi compound berpotensi mengurangi sebagian besar cacat. Setelah sobek ditambahkan, kontribusi kumulatif mencapai sekitar 88%, sedangkan ketidaksesuaian cat menyumbang 12,14%.

Konsentrasi cacat pada menggelembung, ketebalan, dan hasil mentah menunjukkan pola penyebab yang saling berkaitan. Ketiganya dipengaruhi oleh suhu, tekanan, waktu, homogenitas bahan, jumlah material dalam mold, serta ketepatan penutupan cetakan. Dengan demikian, Pareto bukan hanya menghasilkan urutan inspeksi, tetapi mengindikasikan bahwa pengendalian parameter press merupakan titik leverage utama. Temuan ini sejalan dengan penelitian manufaktur yang menggunakan Pareto dan fishbone untuk memusatkan sumber daya pada cacat kritis sebelum merancang eksperimen atau tindakan korektif (Al-Faritsy & Wahyunoto, 2022; Fadila et al., 2025; Putra & Sulistiyowati, 2024).

Tabel 2. Distribusi cacat produk berdasarkan rekap kategori

Kode	Jenis cacat	Jumlah	Persentase	Kumulatif
D1	Menggelembung	270	26,87%	26,87%
D2	Ketebalan tidak sesuai	238	23,68%	50,55%
D5	Hasil mentah	230	22,89%	73,43%
D3	Sobek	145	14,43%	87,86%
D4	Cat tidak sesuai SOP	122	12,14%	100,00%

Sumber: Data diolah (2026)

Kestabilan Statistik Proses

P-chart digunakan karena karakteristik yang diamati berupa proporsi unit cacat dan jumlah produksi harian tidak konstan. Garis pusat proses adalah 0,0934. Karena ukuran sampel berubah dari 303 sampai 492 unit per hari, batas kendali juga berubah: UCL berada pada kisaran sekitar 0,133-0,144 dan LCL pada kisaran 0,044-0,055. Sebanyak 25 dari 28 titik berada di dalam batas, tetapi hari ke-2 dan ke-12 melampaui UCL, sedangkan hari ke-11 berada di bawah LCL hariannya.

Titik di atas UCL menunjukkan variasi khusus yang meningkatkan kecacatan di luar pola proses normal. Pada hari ke-2, proporsi cacat mencapai 0,145 dan pada hari ke-12 mencapai 0,147. Sebaliknya, hari ke-11 memiliki proporsi 0,051, sedikit di bawah LCL 0,053. Titik yang lebih rendah tetap perlu dianalisis karena dapat merepresentasikan perubahan

material, pengaturan mesin, pola inspeksi, atau pencatatan yang berbeda. Proses belum dapat dinyatakan stabil hanya karena mayoritas titik berada dalam batas; keberadaan variasi khusus berarti estimasi kapabilitas masih dipengaruhi kondisi yang belum konsisten.

Interpretasi ini mendukung prinsip bahwa perbaikan kualitas harus membedakan common cause dan special cause. Jika variasi khusus tidak diidentifikasi, penyesuaian operator secara umum dapat menambah ketidakstabilan. Perusahaan perlu menelusuri lot compound, mesin, mold, operator, parameter suhu-tekanan, waktu siklus, serta metode inspeksi pada tiga hari tersebut. Pendekatan tersebut konsisten dengan penerapan DMAIC pada manufaktur komponen otomotif dan perakitan, yang menempatkan control chart sebagai instrumen diagnosis sebelum perbaikan (Condé et al., 2023; Daniyan et al., 2022; Rinjani et al., 2021).

Tabel 3. Ringkasan hasil p-chart

Komponen	Nilai	Hari/sampel	Interpretasi
Garis pusat	0,0934	1-28	Rata-rata proporsi unit cacat
Rentang UCL	0,133-0,144	Bervariasi	Menyesuaikan jumlah produksi harian
Rentang LCL	0,044-0,055	Bervariasi	Menyesuaikan jumlah produksi harian
Di atas UCL	0,145 dan 0,147	Hari 2 dan 12	Variasi khusus meningkatkan cacat
Di bawah LCL	0,051	Hari 11	Perubahan proses atau pengukuran perlu ditelusuri
Status proses	Belum terkendali	3 dari 28 titik	Fase Improve harus menargetkan penyebab khusus

Sumber: Data diolah (2026).

Kapabilitas Proses dan Level Sigma

Perhitungan ulang agregat menggunakan 1.027 cacat, 10.992 unit, dan empat CTQ prioritas menghasilkan DPO 0,023358 dan DPMO 23.357,90. Konversi normal dengan pergeseran 1,5 sigma memberikan level sekitar 3,49 sigma. Pada perhitungan harian, DPMO terendah adalah 12.749,45 pada hari ke-11 dan tertinggi 36.783,04 pada hari ke-12; sigma harian berkisar 3,59-3,99 dengan rata-rata sekitar 3,78. Perbedaan antara sigma agregat dan rata-rata sigma harian merupakan konsekuensi transformasi nonlinier, sehingga indikator utama yang lebih tepat untuk pelaporan sistem adalah hasil agregat.

Level 3,49 sigma menunjukkan proses telah menghasilkan mayoritas unit sesuai spesifikasi, tetapi masih jauh dari sasaran Six Sigma. Nilai ini juga harus dibaca secara hati-hati karena proses belum stabil dan terdapat perbedaan pencatatan kategori. Kapabilitas tidak dapat ditingkatkan hanya melalui inspeksi tambahan; perusahaan harus mengurangi variasi sumber. Studi pada rubber weather strip melaporkan peningkatan level sigma setelah parameter dan solusi DMAIC diterapkan, sedangkan penelitian pemasok komponen mobil memperlihatkan peningkatan berkelanjutan dari 3,4 menjadi 4 sigma (Mittal et al., 2023; Condé et al., 2023). Dibandingkan studi tersebut, penelitian PT X masih berada pada tahap diagnosis dan belum menguji dampak tindakan Improve.

Hasil ini sekaligus mengoreksi nilai rata-rata DPMO dan sigma yang tidak konsisten pada ringkasan sumber. Koreksi dilakukan dari tabel harian, bukan dengan mengubah data mentah. Pendekatan transparan terhadap perhitungan diperlukan karena kualitas analisis bergantung pada kualitas sistem pengukuran. Pengembangan model Six Sigma modern juga menekankan proses capability dan data yang dapat diverifikasi sebagai dasar pemilihan CTQ serta pengendalian berkelanjutan (Yu et al., 2022; Pongboonchai-Empl et al., 2024).

Tabel 4. Ringkasan kapabilitas proses hasil perhitungan ulang

Ukuran	Hasil	Penjelasan
DPO agregat	0,023358	1.027/(10.992 x 4 CTQ prioritas)
DPMO agregat	23.357,90	Indikator utama kapabilitas keseluruhan
Sigma agregat	sekitar 3,49	Konversi normal dengan shift 1,5 sigma
DPMO harian minimum	12.749,45	Hari ke-11
DPMO harian maksimum	36.783,04	Hari ke-12
Rentang sigma harian	3,59-3,99	Menunjukkan variasi kinerja antarhari

Sumber: Data diolah (2026).

Akar Penyebab dan Agenda Perbaikan

Analisis sebab-akibat memperlihatkan bahwa cacat bukan hasil satu kesalahan tunggal. Faktor manusia mencakup ketelitian, pemahaman parameter, disiplin SOP, dan respons terhadap penyimpangan. Faktor mesin meliputi tekanan extruder atau press yang tidak stabil, roller terlalu panas, sensor yang tidak optimal, filter tersumbat, serta pemeliharaan yang tidak terjadwal. Faktor metode berkaitan dengan setting awal, pengaturan suhu-kecepatan, urutan kerja, dan pemeriksaan yang belum distandardisasi. Faktor material mencakup kadar air, homogenitas, kontaminasi, dan penyimpanan compound. Faktor pengukuran muncul dari kalibrasi alat, pemeriksaan visual yang subjektif, dan ketidakselarasan pencatatan. Faktor lingkungan meliputi panas, debu, sirkulasi udara, dan kebersihan area.

Pola penyebab menguatkan hubungan antara tiga cacat utama. Gelembung berkaitan dengan udara atau uap yang terperangkap, kadar air, dan ketidakstabilan pemanasan. Ketebalan yang tidak sesuai berkaitan dengan massa bahan, distribusi compound, kesejajaran mold, tekanan, dan kalibrasi. Hasil mentah menunjukkan energi vulkanisasi tidak cukup atau tidak merata. Ketiganya dapat dikendalikan melalui parameter proses yang sama, sehingga proyek perbaikan sebaiknya tidak dipisahkan berdasarkan bentuk cacat saja. Pendekatan terintegrasi ini sejalan dengan kerangka LSS yang menggabungkan CTQ, Ishikawa, statistical process control, dan standardisasi untuk mengurangi variasi (Rodriguez Delgadillo et al., 2022; Utama & Abirfatin, 2023; Alarcón et al., 2024).

Prioritas pertama adalah membangun parameter window untuk suhu, tekanan, waktu, massa compound, dan kondisi mold pada tiap tipe produk. Parameter perlu dicatat per batch dan dilengkapi reaction plan apabila nilai keluar dari rentang. Prioritas kedua adalah pemeliharaan preventif dan kalibrasi sensor, dial gauge, alat warna, serta tekanan mesin. Prioritas ketiga adalah standard work berbasis visual, pelatihan operator, dan verifikasi kompetensi. Prioritas keempat adalah incoming control dan penyimpanan material untuk menjaga kadar air serta homogenitas. Prioritas kelima adalah penguatan data quality melalui kode cacat tunggal, rekonsiliasi harian produksi-QC, dan audit catatan.

Penelitian lokal pada produk teh, lensa, ban vulkanisir, furnitur, dan flexible packaging juga menunjukkan bahwa kombinasi Pareto, fishbone, standardisasi, serta pengendalian statistik dapat mengarahkan tindakan yang lebih spesifik dibanding pemeriksaan akhir semata (Asih et al., 2021; Cahyono & Utomo, 2024; Staenari et al., 2024; Al-Faritsy & Wahyunoto, 2022). Namun, penerapan pada PT X baru mencakup DMA. Oleh karena itu, kontribusi praktis utama penelitian adalah rancangan agenda Improve dan Control yang dapat diuji melalui pilot pada satu mesin atau satu mold, kemudian dievaluasi menggunakan proporsi cacat, DPMO, sigma, first-pass yield, serta kepatuhan parameter.

Tabel 5. Sintesis akar penyebab dan prioritas pengendalian

Faktor	Akar penyebab utama	Tindakan prioritas
Man	Ketelitian, disiplin SOP, pemahaman parameter	Pelatihan, sertifikasi kompetensi, checklist dan supervisi berlapis

Faktor	Akar penyebab utama	Tindakan prioritas
Machine	Tekanan/suhu tidak stabil, sensor dan filter, maintenance	Preventive maintenance, kalibrasi, alarm dan reaction plan
Method	Setting awal dan urutan kerja belum seragam	Standard work, parameter window, first-piece approval
Material	Kadar air, kontaminasi, homogenitas compound	Incoming inspection, FIFO, kontrol penyimpanan dan conditioning
Measurement	Alat tidak rutin dikalibrasi, inspeksi subjektif, data tidak konsisten	MSA sederhana, master sample, kalibrasi dan rekonsiliasi harian
Environment	Panas, debu, kebersihan dan sirkulasi udara	5S, ventilasi, pengendalian debu dan audit lingkungan

Sumber: Data diolah (2026).

Peta Jalan Implementasi Improve dan Control

Agenda perbaikan perlu diterjemahkan menjadi tahapan implementasi yang dapat diuji dan dikendalikan. Pada fase Improve, perusahaan sebaiknya memulai pilot pada satu mesin press dan satu tipe mold dengan volume produksi yang cukup representatif. Baseline menggunakan proporsi cacat, DPMO, level sigma, first-pass yield, dan kepatuhan parameter. Alternatif perbaikan kemudian diuji secara terbatas melalui standardisasi setting, pemeriksaan awal produk, pemeliharaan terencana, conditioning material, dan pelatihan operator. Keputusan perlu didasarkan pada perubahan indikator sebelum-sesudah serta tidak munculnya efek samping pada waktu siklus atau karakteristik mutu lain.

Pada fase Control, parameter yang terbukti efektif dituangkan ke dalam control plan, lembar pengecekan per batch, p-chart berkala, jadwal kalibrasi, serta mekanisme eskalasi saat proses keluar dari batas. Rekonsiliasi catatan produksi dan quality control harus menjadi aktivitas harian agar denominator Pareto dan DPMO tetap konsisten. Rancangan ini menjaga agar perbaikan tidak berhenti sebagai rekomendasi, melainkan berubah menjadi sistem pembelajaran proses yang dapat direplikasi pada mesin, mold, dan tipe produk lain. Pola pilot, verifikasi hasil, dan institusionalisasi control plan konsisten dengan studi perbaikan pada pengecatan otomotif, filter, motor, bilah turbin, serta sistem sealing yang menempatkan implementasi dan validasi sebagai syarat keberlanjutan hasil (Pranavi & Umasankar, 2021; Guleria et al., 2021; Jou et al., 2022; Oliveira et al., 2024; Enache et al., 2024; Wang et al., 2025).

Tabel 6. Peta jalan implementasi perbaikan dan pengendalian

Tahap	Aktivitas inti	Indikator verifikasi	Keluaran
Persiapan	Validasi data, tetapkan baseline dan pilot	Kelengkapan data; baseline proporsi cacat, DPMO dan sigma	Project charter dan definisi operasional cacat
Improve	Uji parameter window, first-piece approval, maintenance dan pelatihan	Penurunan cacat; first-pass yield; kepatuhan parameter	Setting proses terverifikasi dan tindakan korektif
Control	P-chart berkala, audit SOP, kalibrasi dan reaction plan	Titik dalam batas kendali; stabilitas DPMO/sigma	Control plan dan dashboard kualitas
Replikasi	Perluas ke mesin, mold, dan tipe produk lain	Konsistensi manfaat tanpa penurunan produktivitas	Standar lintas proses dan pembelajaran organisasi

Sumber: Data diolah (2026).

Kontribusi Akademik dan Keterbatasan

Penelitian memberikan dua kontribusi. Pertama, studi memperluas penerapan Six Sigma pada produk karet untuk fasilitas peternakan, yang memiliki kombinasi tuntutan visual, dimensi, elastisitas, dan kematangan material. Kedua, studi menunjukkan bahwa integritas data defect harus diperlakukan sebagai bagian dari sistem pengukuran, bukan masalah administrasi sekunder. Rekonsiliasi total harian dan kategori menghindarkan perusahaan dari prioritas Pareto yang bias dan memberikan baseline yang lebih dapat diaudit.

Keterbatasan penelitian adalah periode pengamatan satu bulan, ruang lingkup satu perusahaan dan satu kelompok produk, belum tersedianya pengukuran parameter mesin per batch, serta belum dilaksanakannya tahap Improve dan Control. Analisis fishbone masih mengandalkan observasi dan wawancara, sehingga hubungan sebab-akibat belum diverifikasi melalui design of experiments atau uji sebelum-sesudah. Literatur mutakhir menunjukkan bahwa integrasi sensor, analitik, ergonomi, dan indikator keberlanjutan dapat memperkuat DMAIC, tetapi penerapannya perlu disesuaikan dengan kesiapan teknologi perusahaan. Perkembangan Quality 4.0 dan zero-defect manufacturing juga menegaskan bahwa data real-time harus memperkuat, bukan menggantikan, disiplin DMAIC dan sistem pengukuran yang tervalidasi (Bittencourt et al., 2021; Escobar et al., 2022; Hines et al., 2023; Psarommatis & Azamfirei, 2024; Vicente et al., 2024; Ibrahim & Kumar, 2024).

SIMPULAN

Produksi 10.992 unit menghasilkan 1.027 unit cacat (9,34%). Cacat menggelembung, ketebalan tidak sesuai, dan hasil mentah membentuk 73% cacat terklasifikasi. P-chart menunjukkan variasi khusus pada hari ke-2, ke-11, dan ke-12; DPMO agregat 23.357,90 setara sekitar 3,49 sigma. Temuan menjawab bahwa masalah utama berpusat pada stabilitas parameter press, material, operator, pengukuran, dan lingkungan. Secara praktis, PT X perlu menjalankan Improve-Control melalui standardisasi parameter, maintenance, kalibrasi, pelatihan, dan rekonsiliasi data. Keterbatasan periode dan belum adanya implementasi perbaikan menuntut penelitian lanjutan berbasis eksperimen serta evaluasi sebelum-sesudah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas PGRI Adi Buana Surabaya dan PT X yang telah mendukung akses data, observasi proses, serta penyusunan penelitian. Artikel ini dikembangkan dari tugas akhir Program Studi Teknik Industri.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Faritsy, A.Z. & Wahyunoto, A.S. 2022. Analisis Pengendalian Kualitas Produk Meja Menggunakan Metode Six Sigma Pada PT XYZ. Jurnal Rekayasa Industri, 4(2):52-62. Yogyakarta: Universitas Widya Mataram. Https://Doi.Org/10.37631/Jri.V4i2.707.

Alarcón, F.J., Calero, M., Martín-Lara, M.Á. & Pérez-Huertas, S. 2024. An Integrated Lean And Six Sigma Framework For Improving Productivity Performance: A Case Study In A Spanish Chemicals Manufacturer. Applied Sciences, 14(23):10894. Basel: MDPI. Https://Doi.Org/10.3390/App142310894.

Alarcón, F.J., Calero, M., Pérez-Huertas, S. & Martín-Lara, M.Á. 2023. State Of The Art Of Lean Six Sigma And Its Implementation In Chemical Manufacturing Industry Using A Bibliometric Perspective. Applied Sciences, 13:7022. Basel: MDPI. Https://Doi.Org/10.3390/App13127022.

Asih, E.W., Rain, L.O.R. & Pohandry, A. 2021. Analisis Pengendalian Kualitas Produk Teh Hitam Dengan Pendekatan Lean-Six Sigma Method Di PT Teh XY. Journal Of Industrial And Engineering System, 2(2):136-145. Bekasi: Universitas Bhayangkara Jakarta Raya. Https://Doi.Org/10.31599/8xzrgn79.

Bittencourt, V.L., Alves, A.C. & Leão, C.P. 2021. Industry 4.0 Triggered By Lean Thinking: Insights From A Systematic Literature Review. International Journal Of Production Research, 59(5):1496-1510. Abingdon: Taylor & Francis. Https://Doi.Org/10.1080/00207543.2020.1832274.

Cahyono, S.B. & Utomo, Y. 2024. Analisa Pengendalian Kualitas Dalam Upaya Meminimalisasi Defect Produk Flexible Packaging Pada Mesin Printing Dengan Menggunakan Metode DMAIC. Profisiensi, 12(1):25-37. Batam: Universitas Riau Kepulauan.

Condé, G.C.P., Oprime, P.C., Pimenta, M.L., Sordan, J.E. & Bueno, C.R. 2023. Defect Reduction Using DMAIC And Lean Six Sigma: A Case Study In A Manufacturing Car Parts Supplier. International Journal Of Quality & Reliability Management, 40(9):2184-2204. Bingley: Emerald Publishing. Https://Doi.Org/10.1108/IJQRM-05-2022-0157.

Daniyan, I., Adeodu, A., Mpofu, K., Maladzhi, R. & Kana-Kana Katumba, M.G. 2022. Application Of Lean Six Sigma Methodology Using DMAIC Approach For The Improvement Of Bogie Assembly Process In The Railcar Industry. Heliyon, 8(3):E09043. Amsterdam: Elsevier. Https://Doi.Org/10.1016/J.Heliyon.2022.E09043.

Enache, I.C., Chivu, O.R. & Raduica, F.F. 2024. Eliminating Scraps In Refrigerator Door Sealing: A Six Sigma Case Study. Processes, 12(11):2460. Basel: MDPI. Https://Doi.Org/10.3390/Pr12112460.

Escobar, C.A., Macias, D., Mcgovern, M., Hernandez-De-Menendez, M. & Morales-Menendez, R. 2022. Quality 4.0: An Evolution Of Six Sigma DMAIC. International Journal Of Lean Six Sigma, 13(6):1200-1238. Bingley: Emerald Publishing. Https://Doi.Org/10.1108/IJLSS-05-2021-0091.

Fadila, Y.A., Widi R, A.A. & Oganda, D.D. 2025. Optimasi Kualitas Produk Stamping Dengan Metode Six Sigma DMAIC. Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan, 4(4):1170-1179. Pekanbaru: Yayasan Riset Dan Teknologi Terapan. Https://Doi.Org/10.55826/Jtmit.V4i4.1111.

Fatah, A. & Al-Faritsy, A.Z. 2021. Peningkatan Dan Pengendalian Kualitas Produk Dengan Menggunakan Metode PDCA: Studi Kasus Pada PT X. Jurnal Rekayasa Industri, 3(1):21-30. Yogyakarta: Universitas Widya Mataram.

Guleria, P., Pathania, A., Bhatti, H., Rojhe, K. & Mahto, D. 2021. Leveraging Lean Six Sigma: Reducing Defects And Rejections In Filter Manufacturing Industry. Materials Today: Proceedings, 46:8532-8539. Amsterdam: Elsevier. Https://Doi.Org/10.1016/J.Matpr.2021.03.535.

Hines, P., Tortorella, G.L., Antony, J. & Romero, D. 2023. Lean Industry 4.0: Past, Present, And Future. Quality Management Journal, 30(1):64-88. Abingdon: Taylor & Francis. Https://Doi.Org/10.1080/10686967.2022.2144786.

Ibrahim, A. & Kumar, G. 2024. Selection Of Industry 4.0 Technologies For Lean Six Sigma Integration Using Fuzzy DEMATEL Approach. International Journal Of Lean Six Sigma, 15(5):1025-1042. Bingley: Emerald Publishing. Https://Doi.Org/10.1108/IJLSS-05-2023-0090.

Jou, Y.T., Silitonga, R.M., Lin, M.C., Sukwadi, R. & Rivaldo, J. 2022. Application Of Six Sigma Methodology In An Automotive Manufacturing Company: A Case Study. Sustainability, 14(21):14497. Basel: MDPI. Https://Doi.Org/10.3390/Su142114497.

Komkowski, T., Antony, J., Garza-Reyes, J.A., Tortorella, G.L. & Pongboonchai-Empl, T. 2023. The Integration Of Industry 4.0 And Lean Management: A Systematic Review And Constituting Elements Perspective. Total Quality Management & Business Excellence, 34(7-8):1052-1069. Abingdon: Taylor & Francis. Https://Doi.Org/10.1080/14783363.2022.2141107.

Mittal, A., Gupta, P., Kumar, V., Al Owad, A., Mahlawat, S. & Singh, S. 2023. The Performance Improvement Analysis Using Six Sigma DMAIC Methodology: A Case Study On Indian Manufacturing Company. Heliyon, 9(3):E14625. Amsterdam: Elsevier. Https://Doi.Org/10.1016/J.Heliyon.2023.E14625.

Oliveira, D., Teixeira, L. & Alvelos, H. 2024. Integration Of Process Modeling And Six Sigma For Defect Reduction: A Case Study In A Wind Blade Factory. Procedia Computer Science, 232:3151-3160. Amsterdam: Elsevier. Https://Doi.Org/10.1016/J.Procs.2024.02.131.

Piay, P.I., Kristina, H.J. & Doaly, C.O. 2021. Pengurangan Jumlah Produk Cacat Pada Produksi Glasses Box Dengan Metode Lean Six Sigma. Jurnal Ilmiah Teknik Industri, 9(2):81-92. Jakarta: Universitas Tarumanagara.

Pongboonchai-Empl, T., Antony, J., Garza-Reyes, J.A., Komkowski, T. & Tortorella, G.L. 2024. Integration Of Industry 4.0 Technologies Into Lean Six Sigma DMAIC: A Systematic Review. Production Planning & Control, 35(12):1403-1428. Abingdon: Taylor & Francis. Https://Doi.Org/10.1080/09537287.2023.2188496.

Pranavi, V. & Umasankar, V. 2021. Application Of Six Sigma Approach On Hood Outer Panel To Reduce The Defect In Painting Peel Off. Materials Today: Proceedings, 46:1269-1276. Amsterdam: Elsevier. Https://Doi.Org/10.1016/J.Matpr.2021.02.125.

Prastya, F. 2024. Penerapan Metode Six Sigma Dalam Menganalisis Pengendalian Kualitas Produk Beng-Beng Pada Divisi Wafer PT Mayora Indah Tbk. Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik, 3(2). Surabaya: Pusat Publikasi Ilmiah.

Psarommatis, F. & Azamfirei, V. 2024. Zero Defect Manufacturing: A Complete Guide For Advanced And Sustainable Quality Management. Journal Of Manufacturing Systems, 77:764-779. Amsterdam: Elsevier. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jmsy.2024.10.022.

Putra, Z.Z.P. & Sulistiyowati, W. 2024. Quality Improvement Using Lean Six Sigma And Failure Modes And Effect Analysis At PT Cipta Warna Pelangi. Journal For Technology And Science, 1(2):38-61. Sidoarjo: Anti Publisher. Https://Doi.Org/10.61796/Ipteks.V1i2.153.

Rahmadina, A. & Herwanto, D. 2025. Penerapan Metode Seven Tools Pada Pengendalian Kualitas Proses Isolasi Di PT X. Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri, 15(1). Malang: Institut Teknologi Nasional Malang.

Rinjani, I., Wahyudin, W. & Nugraha, B. 2021. Analisis Pengendalian Kualitas Produk Cacat Pada Lensa Tipe X Menggunakan Lean Six Sigma Dengan Konsep DMAIC. UNISTEK, 8(1):18-29. Tangerang: Universitas Islam Syekh Yusuf. Https://Doi.Org/10.33592/Unistek.V8i1.878.

Rodriguez Delgadillo, R., Medini, K. & Wuest, T. 2022. A DMAIC Framework To Improve Quality And Sustainability In Additive Manufacturing: A Case Study. Sustainability, 14(1):581. Basel: MDPI. Https://Doi.Org/10.3390/Su14010581.

Saladin, M. & Suef, M. 2025. Peningkatan Produktivitas Dengan Pendekatan Lean Six Sigma Dan FMEA Pada Industri Sabun Cair. Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan, 4. Pekanbaru: Yayasan Riset Dan Teknologi Terapan.

Staenari, H.R., Hidayat, H. & Negoro, Y.P. 2024. Analisis Pemborosan Sistem Produksi Ban Vulkanisir Menggunakan Metode Lean Six Sigma. G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan, 8(4). Malang: Universitas Islam Raden Rahmat.

Utama, D.M. & Abirfatin, M. 2023. Sustainable Lean Six-Sigma: A New Framework For Improve Sustainable Manufacturing Performance. Cleaner Engineering And Technology, 17:100700. Amsterdam: Elsevier. Https://Doi.Org/10.1016/J.Clet.2023.100700.

Vicente, I., Godina, R. & Gabriel, A.T. 2024. Applications And Future Perspectives Of Integrating Lean Six Sigma And Ergonomics. Safety Science, 172:106418. Amsterdam: Elsevier. Https://Doi.Org/10.1016/J.Ssci.2024.106418.

Wang, C.N., Nguyen, T.D., Nguyen, T.T.T. & Do, N.H. 2025. The Performance Analysis Using Six Sigma DMAIC And Integrated MCDM Approach: A Case Study For Microlens Process In Vietnam. Journal Of Engineering Research, 13(2):538-550. Amsterdam: Elsevier. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jer.2024.04.013.

Yu, C.M., Huang, T.H., Chen, K.S. & Huang, T.Y. 2022. Construct Six Sigma DMAIC Improvement Model For Manufacturing Process Quality Of Multi-Characteristic Products. Mathematics, 10(5):814. Basel: MDPI. Https://Doi.Org/10.3390/Math10050814.