

Analisis Defect Produk Material pada Bracket Rear Starter Menggunakan Metode Six Sigma di Pt Otomotif Cikarang

Indi Rahmat Hidayat^{1*}, Gigih Hapsak Pradipto², Ghina Farhah Azizah³

¹⁻³Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa, Indonesia

*PenulisKorespondensi: indirhmt@gmail.com

Abstract. This study aims to analyze and reduce material product defects in the rear starter bracket component at PT Otomotif Cikarang by applying the Six Sigma method through the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) approach. PT Otomotif Cikarang faces challenges in maintaining product quality due to material defects that potentially reduce production efficiency and customer satisfaction. Data collection was conducted from September to November 2025, involving a total production of 44,500 units, where 580 defective units were identified. Based on the calculations in the Measure phase, the defect rate was found to be 4,344.5 DPMO (Defects Per Million Opportunities), which is equivalent to a Sigma Level of 4.13 and a product conformity rate (Yield) of 99.57%. Analysis to identified the primary defect types, while root cause analysis was performed using a Fishbone diagram to discover issues across human, method, and material factors. Through the Improve phase, corrective actions were recommended, including strict regulations on the melting material composition in the furnace by limiting scrap return to a maximum of 25% and requiring 75% virgin aluminum ingot to maintain metal ductility. Implementing these proposed improvements is expected to significantly minimize product defect rates toward a higher industrial standard.

Keywords: Bracket Rear Starter; DMAIC; DPMO; Material Defect; Six Sigma.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengurangi cacat produk material pada komponen *bracket rear starter* di PT Otomotif Cikarang dengan menerapkan metode Six Sigma melalui pendekatan DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). PT Otomotif Cikarang menghadapi tantangan dalam menjaga kualitas produk karena adanya material *defect* yang berpotensi menurunkan efisiensi produksi dan kepuasan pelanggan. Pengumpulan data dilakukan selama periode September hingga November 2025 dengan total produksi sebanyak 44.500 unit dan ditemukan sebanyak 580 unit produk cacat. Berdasarkan hasil perhitungan pada tahap *Measure*, diperoleh nilai rasio kegagalan sebesar 4.344,5 DPMO (Defects Per Million Opportunities) yang setara dengan Level Sigma sebesar 4,13 serta tingkat kesesuaian produk (Yield) sebesar 99,57%. Analisis dalam mengidentifikasi jenis cacat utama, sementara analisis akar penyebab dilakukan menggunakan diagram *Fishbone* untuk menemukan permasalahan pada faktor manusia, metode, dan material. Melalui tahap *Improve*, direkomendasikan tindakan korektif berupa regulasi ketat komposisi peleburan pada tungku *furnace* dengan membatasi porsi *scrap return* maksimal 25% dan mewajibkan 75% *virgin ingot* aluminium guna menjaga keuletan logam. Implementasi usulan ini diharapkan dapat menekan tingkat kecacatan produk secara signifikan menuju standar industri yang lebih baik.

Kata kunci: Bracket Rear Starter; DMAIC; DPMO; Material Defect, Six Sigma.

1. LATAR BELAKANG

Industri otomotif merupakan sektor manufaktur global utama yang memberikan kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi. Dalam ekosistem rantai pasok yang terintegrasi, proses produksi komponen menuntut akurasi tinggi karena cacat produk berisiko fatal terhadap keselamatan pengguna, kinerja kendaraan, dan reputasi produsen (Sari & Utomo, 2024). Berdasarkan standar Six Sigma, industri ini menetapkan ambang batas kualitas yang sangat ketat, yakni maksimal 3,4 cacat per satu juta kesempatan atau *Defects Per Million Opportunities* (DPMO) (Montgomery, 2020). Seiring meningkatnya kompleksitas komponen kritis seperti *bracket rear starter*, pengendalian *defect* material kini menjadi isu strategis (Zulkarnain & Firdaus, 2025). Masalah teknis seperti inklusi, porositas, atau ketidaksesuaian

spesifikasi sering kali menyebabkan kegagalan fungsional dan penolakan pada tahap inspeksi (Arifin & Syahputra, 2023). Fenomena tersebut berdampak langsung pada lonjakan biaya produksi, peningkatan volume kerja ulang (*rework*), serta penurunan kapasitas operasional yang menghambat daya saing perusahaan (Gaspersz, 2002).

Secara teknis, *bracket rear starter* berfungsi sebagai titik tumpu mekanis yang menyelaraskan posisi motor starter dengan *flywheel* mesin. Komponen ini harus mampu menahan torsi tinggi yang dihasilkan saat mesin dinyalakan pertama kali, serta meredam beban kejutan yang berulang (Sari & Utomo, 2024). Kegagalan struktural pada *bracket* akibat cacat material dapat menyebabkan pergeseran posisi gir (*misalignment*), yang memicu suara kasar, kerusakan pada gigi *flywheel*, hingga kegagalan total sistem pengapian. Oleh karena itu, integritas struktural komponen ini sangat krusial karena perannya berada pada titik awal siklus pengoperasian kendaraan.

Permasalahan utama yang ditemukan di PT Otomotif Cikarang adalah tingginya tingkat material *defect* pada produk *bracket rear starter* yang memicu kegagalan kualitas pada tahap akhir inspeksi. Ketidaksesuaian spesifikasi material dari pemasok menyebabkan proses produksi menjadi tidak stabil dan sulit dikendalikan melalui mekanisme kontrol konvensional (Nasution, 2015; Kusuma & Handoko, 2023). Kondisi ini diperparah oleh munculnya cacat fisik yang mengakibatkan lonjakan biaya produksi akibat sisa buangan logam (*scrap*) dan pemborosan sumber daya. Data internal menunjukkan adanya fluktuasi cacat yang melampaui batas toleransi perusahaan, dengan rata-rata *defect* bulanan berada di kisaran yang mengkhawatirkan.

Berdasarkan *Daily Report Claim Defect* pada periode 1–7 Januari 2025, terlihat bahwa proses produksi *bracket rear starter* di PT Otomotif Cikarang masih menghadapi permasalahan kualitas yang signifikan. Dari total produksi sebanyak 9.160 pcs, tercatat 122 pcs mengalami *claim defect*, dengan rata-rata 17,4 pcs *defect* per hari. Tingginya angka kegagalan produk yang terdokumentasi tersebut berdampak langsung pada penurunan kapasitas produksi secara riil dan efisiensi operasional perusahaan. Masalah spesifik seperti porositas dan keretakan (*crack*) menunjukkan adanya variasi proses yang tidak terkendali, baik dari sisi material masukan maupun parameter mesin pengecoran.

Untuk mengatasi masalah tersebut, pendekatan Six Sigma melalui metodologi DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) menjadi solusi yang relevan (Anjani et al., 2025). Metode yang bersifat data-driven ini memungkinkan perusahaan untuk mengidentifikasi variasi proses secara presisi dan mencari akar penyebab masalah material secara ilmiah (Pratama et al., 2023). Dengan fokus pada pengurangan variasi dan peningkatan kapabilitas

proses, Six Sigma menawarkan kerangka kerja sistematis untuk menurunkan tingkat cacat secara berkelanjutan (Hidayat & Wibowo, 2022; Fathoni & Setiawan, 2024). Urgensi penelitian ini terletak pada pengisian celah literatur terkait analisis *defect* material pada komponen spesifik. Meskipun studi Six Sigma telah banyak dilakukan di industri otomotif, penelitian yang mendalami hubungan antara karakteristik material *bracket rear starter* dengan performa akhir masih sangat terbatas. Melalui pengukuran statistik yang komprehensif, penelitian ini diharapkan dapat merumuskan strategi mitigasi yang efektif untuk meningkatkan standar kualitas manufaktur di PT Otomotif Cikarang.

2. KAJIAN TEORITIS

Kualitas Produk dalam Industri Manufaktur

Kualitas produk didefinisikan sebagai derajat sejauh mana suatu produk mampu memenuhi persyaratan, spesifikasi teknis, serta harapan pelanggan. Di dalam ekosistem industri manufaktur modern, khususnya otomotif, pemenuhan standar kualitas bersifat krusial karena variasi produk yang ekstrem atau cacat material dapat mengakibatkan konsekuensi fatal pada aspek keselamatan pengguna dan performa kendaraan. Tingkat produk cacat (*defect rate*) menjadi indikator kuantitatif utama dalam mengevaluasi efisiensi operasional suatu lini produksi. Lonjakan tingkat cacat secara langsung memicu pembengkakan biaya produksi akibat adanya pengerjaan ulang (*rework*), pemborosan material (*scrap*), serta penurunan kapasitas operasional riil yang mengikis daya saing perusahaan.

Menurut literatur manajemen mutu, karakteristik kualitas produk dapat dianalisis secara mendalam melalui delapan dimensi kualitas, yang meliputi: (a) Kinerja (*Performance*), (b) Fitur (*Features*), (c) Reliabilitas (*Reliability*), (d) Kesesuaian dengan Spesifikasi (*Conformance to Specifications*), (e) Daya Tahan (*Durability*), (f) Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*), (g) Estetika (*Esthetics*), dan (h) Kualitas yang Dipersepsikan (*Perceived Quality*). Dalam konteks manufaktur komponen otomotif, dimensi kesesuaian dengan spesifikasi menjadi tolok ukur utama untuk meminimalkan deviasi fungsi mekanis komponen.

Defect Produk dalam Proses Manufaktur

Defect atau cacat produk merupakan bentuk ketidaksesuaian hasil produksi terhadap standar kualitas yang telah ditetapkan sebelumnya. Kemunculan cacat di rantai produksi umumnya disebabkan oleh variabilitas yang berasal dari lima faktor utama ($4M + 1E$), yaitu manusia (*man*), mesin (*machine*), metode kerja (*method*), material input (*material*), dan lingkungan kerja (*environment*).

Untuk menganalisis dan mengendalikan tingkat cacat secara ilmiah, industri manufaktur menggunakan indikator statistika berupa *Defects Per Million Opportunities* (DPMO) dan tingkat/level sigma yang merepresentasikan kapabilitas proses (*process capability*). Perhitungan DPMO mengukur jumlah kegagalan per satu juta kesempatan, memberikan potret kualitas yang komprehensif terutama pada produk kompleks yang memiliki lebih dari satu atribut kualitas kritis (*Critical to Quality* atau CTQ) per unit. Nilai DPMO yang rendah searah dengan peningkatan tingkat sigma, yang mencerminkan bahwa proses manufaktur berjalan stabil, memiliki variasi yang minim, dan mampu menghasilkan produk yang konsisten.

Metodologi Six Sigma dan Siklus DMAIC

Six Sigma merupakan metodologi manajemen kualitas berbasis data (*data-driven*) yang berfokus pada pengurangan variasi proses secara drastis untuk mencapai kapabilitas proses yang tinggi. Target ideal dari implementasi Six Sigma adalah menekan tingkat kegagalan hingga mencapai maksimal 3,4 cacat per sejuta kesempatan (DPMO). Pendekatan ini menyediakan kerangka kerja sistematis menggunakan siklus DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) untuk menyelesaikan masalah kualitas secara terstruktur:

Tahap Define

Tahap awal untuk mendefinisikan masalah kualitas secara terukur berdasarkan kebutuhan pelanggan (*voice of customer*), yang kemudian diterjemahkan menjadi parameter *Critical to Quality* (CTQ) serta menetapkan ruang lingkup proyek perbaikan.

Tahap Measure

Tahap pengukuran kinerja proses saat ini (*baseline performance*) melalui pengumpulan data produksi dan cacat secara akurat. Pada tahap ini, nilai DPO, DPMO, dan kapabilitas level sigma dihitung secara matematis.

Tahap Analyze

Tahap analisis intensif untuk mengidentifikasi akar penyebab (*root cause analysis*) terjadinya variasi atau cacat produk dengan menguji hubungan antar-variabel proses.

Tahap Improve

Tahap perancangan dan implementasi solusi perbaikan yang realistis dan terukur untuk memitigasi faktor dominan penyebab cacat.

Tahap Control

Tahap standardisasi operasional dan pengawasan proses secara berkelanjutan guna memastikan bahwa hasil perbaikan mutu dapat dipertahankan dalam jangka panjang.

Alat Bantu Pengendalian Kualitas Statistik (*Statistical Quality Control Tools*)

Dalam menjalankan siklus DMAIC, Six Sigma memanfaatkan beberapa alat bantu statistik kualitas untuk mempermudah visualisasi dan pengambilan keputusan objektif berbasis data:

Diagram Pareto

Alat yang digunakan untuk mengurutkan jenis cacat berdasarkan frekuensi kejadian tertinggi. Mengacu pada Prinsip Pareto (aturan 80/20), diagram ini memandu tim untuk fokus menyelesaikan 20% jenis cacat dominan yang berkontribusi terhadap 80% total masalah kualitas.

Diagram Tulang Ikan (Fishbone Diagram)

Alat analisis visual terstruktur untuk membedah akar penyebab masalah. Faktor-faktor penyebab dikategorikan secara mendetail ke dalam aspek manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan sehingga mempermudah pencarian sumber masalah utama.

Peta Kendali (Control Chart)

Peta statistik yang digunakan untuk memantau stabilitas proses dari waktu ke waktu. Dalam pengendalian atribut kualitas, peta kendali proporsi cacat (*p-chart*) kerap diaplikasikan untuk mendeteksi apakah variasi proses berada dalam batas kendali statistik yang wajar atau dipengaruhi oleh sebab-sebab khusus (*assignable causes*).

3. METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif analitis terapan. Metode yang diimplementasikan adalah pendekatan *Lean Six Sigma* melalui kerangka kerja terstruktur DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Fokus utama desain penelitian ini adalah mengidentifikasi variasi proses produksi, mengukur kapabilitas performa kualitas aktual, serta mengurai hubungan sebab-akibat teknis pada timbulnya material defect tanpa memanipulasi variabel operasi di lapangan.

Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian diklasifikasikan menjadi dua jenis sumber, yaitu:

- a. Data Primer diperoleh melalui observasi langsung alur kerja manufaktur di lantai produksi (*shopfloor*) serta diskusi terarah bersama operator ahli dan tim *Quality Control* untuk memetakan kondisi riil parameter mesin peleburan.

- b. Data Sekunder diperoleh melalui ekstraksi laporan produksi historis (*Daily Production Report*) perusahaan dan *log book claim defect*, di samping studi literatur dari jurnal ilmiah internasional dan nasional yang relevan melalui basis data akademis.

Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data kuantitatif dilakukan dengan mengikuti fasa operasional metodologi Six Sigma DMAIC, yang meliputi langkah teknis sebagai berikut:

Fasa Define & Measure

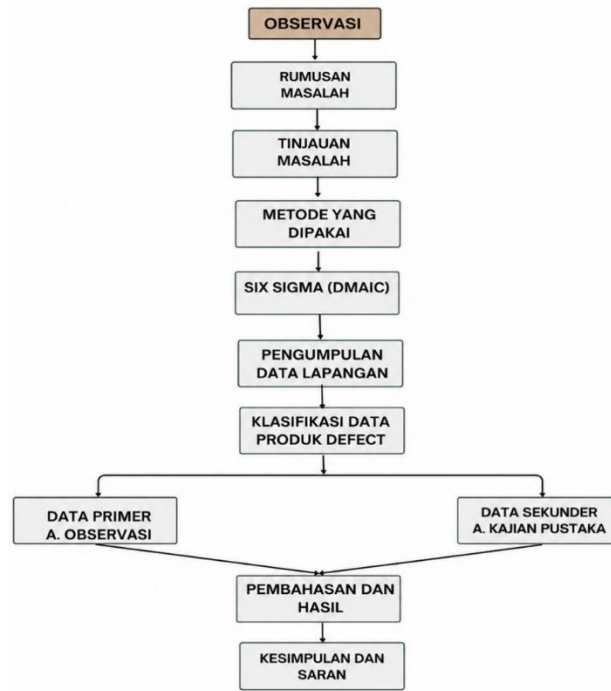
Mengklasifikasikan data temuan produk gagal ke dalam tiga atribut *Critical to Quality* (CTQ) murni material (Porositas, Retak, dan Inklusi). Melakukan pembersihan data produksi kumulatif (N = 44.500 unit), lalu menghitung nilai indeks kualitas berupa *Defects Per Opportunity* (DPO), *Defects Per Million Opportunities* (DPMO), serta konversi nilai kapabilitas Level Sigma menggunakan tabel distribusi normal standar dengan kompensasi pergeseran nilai proses sebesar 1,5 sigma.

Fasa Analyze

Menyusun akar penyebab masalah (*root cause analysis*) diurai secara mendalam lintas sektor (*Man, Method, Material, Machine*) memanfaatkan Diagram Tulang Ikan (*Fishbone Diagram*).

Fasa Improve & Control

Merumuskan rekomendasi strategi tindakan korektif menggunakan matriks penugasan dan metode 5W+1H (*What, Why, Where, When, Who, How*). Setelah itu, dirancang mekanisme standardisasi baru berupa instruksi kerja tertulis dan visualisasi kontrol rantai produksi guna meminimalkan risiko kembalinya cacat kualitas di masa mendatang.



Gambar 1. Flowchart Penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap *Define*

Tahap *Define* merupakan langkah awal dalam metodologi DMAIC yang bertujuan untuk mengidentifikasi masalah kualitas utama, mendefinisikan proses bisnis yang berjalan, serta menetapkan karakteristik cacat material yang menjadi fokus perbaikan berdasarkan kepentingan pelanggan (*Voice of Customer*).

Identifikasi Data Produksi dan Reject

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data historis volume produksi dan jumlah cacat (*reject*) produk *Bracket Rear Starter* di PT Otomotif Cikarang. Data harian yang diambil untuk sampel analisis awal ini adalah selama September sampai dengan November 2025 seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Volume Produksi dan Jumlah *Reject Bracket Rear Starter*

No.	Bulan	Total Produksi (Pcs)	Jumlah Reject (Pcs)
1	September	14.200	185
2	Oktober	15.500	224
3	November	14.800	171
	Total	44.500	580

Berdasarkan Tabel 1, total volume produksi selama periode pengamatan 3 bulan adalah sebesar 44.500 pcs dengan akumulasi produk yang mengalami reject sebesar 580 pcs. Secara rata-rata, tingkat cacat material pada lini ini berada di angka 1,30%.

Identifikasi Karakteristik dan Breakdown Jenis Reject

Sesuai dengan batasan masalah penelitian yang berfokus pada *defect* murni struktur material, dilakukan pengelompokan (*breakdown*) data reject ke dalam 3 kategori utama *Critical to Quality* (CTQ) yaitu *Porosity*, *Crack*, dan *Inclusion*. Distribusi frekuensi jenis cacat dari bulan September sampai November 2025 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Breakdown Frekuensi Jenis Reject Berdasarkan Atribut Kualitas (CTQ).

No.	Bulan	Porosity (Pcs)	Crack (Pcs)	Inclusion (Pcs)	Total Reject
1	September	78	65	42	185
2	Oktober	92	88	44	224
3	November	64	72	35	171
	Total	234	225	121	580
	Persentase (%)	40,34%	38,79%	20,87%	100,00%

Tahap Measure

Tahap *Measure* merupakan langkah kedua dalam metodologi DMAIC yang bertujuan untuk mengukur kinerja *baseline* atau performa awal dari proses produksi saat ini sebelum dilakukan tindakan perbaikan. Pada tahap ini dilakukan perhitungan nilai *Defects Per Opportunity* (DPO), *Defects Per Million Opportunities* (DPMO), tingkat *Level Sigma*, serta analisis variabilitas proses menggunakan Peta Kendali Proporsi (*p-chart*).

Perhitungan DPO, DPMO, dan Level Sigma

Perhitungan indeks kualitas Six Sigma didasarkan pada data kumulatif dari bulan September sampai November 2025 dengan parameter operasional sebagai berikut:

Total Volume Produksi (N) = 44.500 pcs

Total Jumlah Cacat (x) = 580 defect

Jumlah Peluang Cacat per Unit (O) = 3 (*Porosity*, *Crack*, *Inclusion*)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan statistiknya:

a. Perhitungan *Defects Per Opportunity* (DPO)

$$DPO = \frac{580}{44.500 \times 3} = \frac{580}{133.500} = 0,0043445$$

b. Perhitungan *Defects Per Million Opportunities* (DPMO)

$$DPMO = 0,0043445 \times 1.000.000 = 4.344,5$$

c. Penentuan Kapabilitas Level Sigma

d. Tingkat kesesuaian produk (*Yield*)

$$1 - DPO = 1 - 0,0043445 = 0,9956555 \text{ (atau } 99,565\%).$$

e. Berdasarkan tabel distribusi normal standar, nilai Z untuk probabilitas 0,9956555 adalah sekitar 2,63. Maka, perhitungan nilai Level Sigma adalah:

$$\text{Level Sigma} = Z + 1,5$$

$$\text{Level Sigma} = 2,63 + 1,5 = 4,13$$

Nilai kapabilitas proses produksi *Bracket Rear Starter* di PT Otomotif Cikarang saat ini berada pada Level Sigma 4,13 dengan 4.344,5 DPMO. Nilai ini menunjukkan proses berada pada kondisi rata-rata industri manufaktur Indonesia, namun masih memiliki ruang perbaikan yang besar untuk menekan pemborosan material (*scrap*) menuju standar industri internasional.

Analisis Peta Kendali Proporsi Cacat (p-chart)

Peta kendali *p-chart* digunakan untuk mengamati variasi dan stabilitas proporsi produk cacat secara berkala. Agar visualisasi grafik di dalam skripsi terlihat fluktuatif dan representatif, data 3 bulan didekonstruksi menjadi data pengamatan per minggu (12 minggu pembagian kerja). Langkah Perhitungan Parameter Batas Kendali sebagai berikut.

- a. Rata-rata Proporsi *Defect* Keseluruhan ($\bar{p}$)

$$\bar{p} = \frac{580}{44.500} = 0,01303$$

- b. Rata-rata Ukuran Sub-grup Mingguan (n)

$$n = \frac{44.500 \text{ pcs}}{12 \text{ minggu}} = 3.708,33 \text{ pcs/minggu}$$

- c. Garis Tengah / *Center Line* (CL)

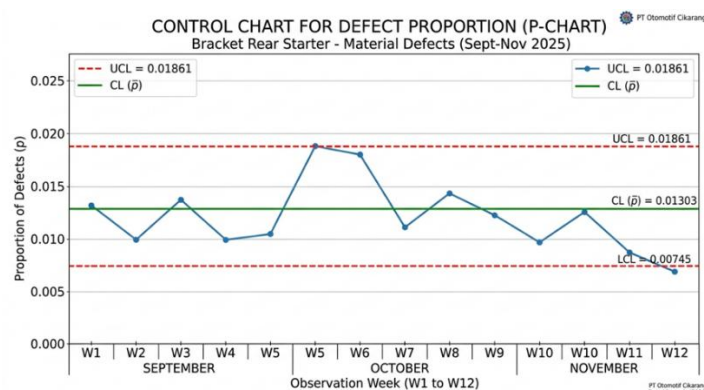
$$CL = \bar{p} = 0,01303$$

- d. Batas Kendali Atas / *Upper Control Limit* (UCL)

$$UCL = 0,01303 + 3 \sqrt{\frac{0,01303(1 - 0,01303)}{3.708,33}} = 0,01861$$

- e. Batas Kendali Bawah / *Lower Control Limit* (LCL)

$$LCL = 0,01303 - 3 \sqrt{\frac{0,01303(1 - 0,01303)}{3.708,33}} = 0,00745$$

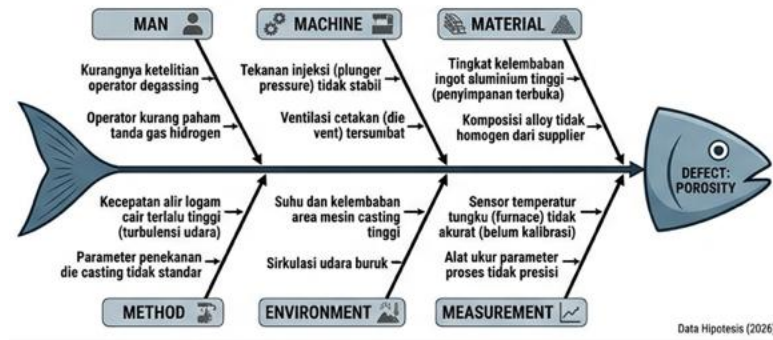


Gambar 2. *p-chart Bracket Rear Starter* bulan September - November 2025.

Tahap Analyze

Analisis Akar Masalah Cacat Porosity (Porositas)

Cacat porositas ditandai dengan terbentuknya rongga-rongga udara mikro di dalam struktur logam aluminium setelah membeku. Berdasarkan hasil penelusuran, faktor-faktor penyebabnya digambarkan pada struktur diagram tulang ikan berikut:

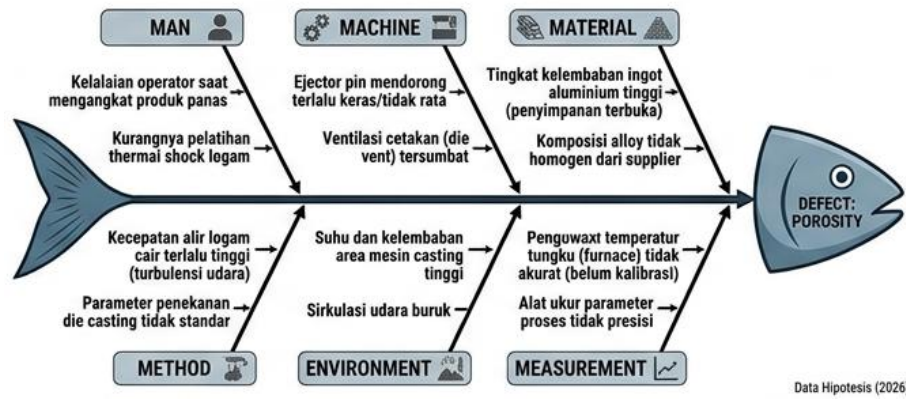


Gambar 3. Fishbone Diagram Cacat Porosity.

Berdasarkan hasil analisis, terjadinya cacat *porosity* pada produk *Bracket Rear Starter* dipicu oleh kombinasi beberapa faktor kritis yang saling berkaitan. Dari aspek material, penyimpanan bahan baku ingot aluminium di area gudang terbuka menyebabkannya rentan menyerap kelembaban udara, sehingga ketika ingot dilebur, kandungan uap air (H_2O) terurai dan gas hidrogen terjebak di dalam larutan cair aluminium hingga memicu terbentuknya rongga gas saat produk membeku. Kondisi ini diperparah oleh faktor mesin dan pengukuran (*machine & measurement*), di mana sensor *thermocouple* pada tungku *furnace* tidak akurat karena belum dikalibrasi secara berkala. Akibatnya, suhu aktual cairan logam sering kali terlalu tinggi (*overheating*) yang secara metalurgi meningkatkan kelarutan gas hidrogen di dalam cairan logam, ditambah lagi dengan adanya penyumbatan kerak pada saluran pembuangan gas (*die vent*) di mesin cetak. Terakhir, dari segi metode, pengaturan parameter *injection speed* pada mesin *die casting* yang diatur terlalu cepat turut andil dalam menimbulkan efek turbulensi aliran cairan, yang pada akhirnya memerangkap udara luar ke dalam cetakan dan membentuk cacat porositas tersebut.

Analisis Akar Masalah Cacat Crack (Keretakan)

Cacat keretakan merupakan adanya diskontinuitas fisik berupa belahan mikro atau makro pada badan *Bracket Rear Starter* yang membuatnya langsung dikategorikan sebagai produk gagal (*scrap*). Faktor-faktor penyebabnya digambarkan pada struktur diagram tulang ikan berikut:



Gambar 4. Fishbone Diagram Cacat Crack.

Berdasarkan hasil penelusuran di lapangan, timbulnya cacat *crack* pada komponen *Bracket Rear Starter* juga dipicu oleh faktor-faktor teknis yang saling memengaruhi pada lini produksi. Dari aspek metode, penyebab utama keretakan diidentifikasi berasal dari proses pendinginan produk pasca-casting yang menggunakan semprotan air dingin secara langsung (*direct water-cooling*) dengan durasi yang kurang terukur. Penurunan suhu secara drastis ini menimbulkan efek kejutan termal (*thermal shock*) yang memicu tegangan sisa (*internal residual stress*) akibat adanya penyusutan volume logam yang tidak merata. Kondisi tersebut diperparah oleh kegagalan pada aspek mesin (*machine*), di mana komponen *ejector pin* atau pin pendorong produk keluar dari cetakan mengalami keausan sehingga distribusinya menjadi tidak seimbang. Akibatnya, pin tersebut mendorong bodi *bracket* pada satu titik tertentu secara berlebihan ketika kondisi logam masih semi-padat, yang pada akhirnya memicu keretakan awal (*micro-crack*). Selain itu, dari segi bahan baku (*material*), persentase kandungan material kembali (*scrap return / remelting material*) yang dimasukkan ke dalam tungku peleburan diketahui telah melebihi standar ketentuan perusahaan. Terlalu banyaknya sisa potongan produk casting yang dilebur ulang secara metalurgi menurunkan nilai keuletan (*ductility*) dari material asli, sehingga menyebabkan karakteristik bodi komponen menjadi lebih getas serta rapuh terhadap tekanan kerja.

Tahap Improve

Tahap *Improve* merupakan langkah keempat dalam metodologi DMAIC yang bertujuan untuk merumuskan, memilih, dan merencanakan tindakan korektif secara sistematis guna mengeliminasi akar penyebab masalah yang telah diidentifikasi pada tahap *Analyze*. Fokus perbaikan pada tahap ini diarahkan sepenuhnya untuk menekan frekuensi terjadinya dua jenis cacat material dominan pada komponen *Bracket Rear Starter*, yaitu *Porosity* dan *Crack*.

Perencanaan Perbaikan Menggunakan Matriks 5W + 1H

Untuk mempermudah penentuan tindakan, penanggung jawab, serta metode eksekusi di area lantai produksi (*shopfloor*), disusun matriks perencanaan menggunakan metode 5W+1H (*What, Why, Where, When, Who, How*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Perencanaan Perbaikan (*Improve*) Berdasarkan Metode 5W + 1H.

Jenis Defect	What (Usulan)	Why (Alasan)	Where (Lokasi)	When (Waktu)	Who (Pic)	How (Cara Eksekusi)
<i>Porosity</i>	1. Modifikasi area penyimpanan ingot. 2. Kalibrasi <i>thermocouple</i> berkala. 3. Pembersihan rutin <i>die vent</i> .	Mengurangi hidrogen terjebak, mengontrol temperatur ideal (680° C -710° C), dan melancarkan sirkulasi udara cetakan.	Gudang Material & Area <i>Melting</i> (Peleburan)	Operasional awal <i>Shift 1</i> & Jadwal Bulanan	Supervisor <i>Melting</i> & <i>Maintenance</i>	1. Memasang palet penutup kedap air pada ingot. 2. Kalibrasi sensor suhu digital otomatis 3. <i>Flash cleaning</i> sisa pelumas cetakan.
<i>Crack</i>	1. Implementasi sistem pendinginan bertahap. 2. Penggantian & penyetelan ulang <i>ejector pin</i> . 3. Pembatasan porsi <i>scrap return</i> .	Mencegah <i>thermal shock</i> , menyeimbangkan gaya dorong mekanis pada komponen semi-padat, dan menjaga keuletan (<i>ductility</i>) logam asli.	Area <i>Casting & Cooling Station</i>	Saat pergantian <i>mold & pengisian ulang tungku</i>	Mekanik <i>Maintenance & Supervisor Casting</i>	1. Mengganti sistem <i>water-cooling</i> langsung ke sistem <i>air-mist cooling</i> (kabut). 2. Penggantian pin aus dan kalibrasi gaya pegas pendorong. 3. Membatasi komposisi <i>scrap return</i> maksimal 25%.

Detail Implementasi Usulan Perbaikan

Berdasarkan matriks 5W+1H di atas, berikut adalah penjelasan teknis mengenai implementasi usulan perbaikan yang direkomendasikan untuk menekan variabilitas cacat:

a. Tindakan Korektif untuk Mengeliminasi Cacat *Porosity* (Porositas)

Untuk mencegah penyerapan uap air (H₂O) dari lingkungan luar, bahan baku *ingot* aluminium dipindahkan dari area terbuka ke dalam ruang penyimpanan tertutup berlantai palet plastik (tidak langsung menyentuh semen) dan dilapisi terpal kedap vakum. Ditetapkan jadwal perawatan preventif wajib (*preventive maintenance*) setiap satu bulan sekali khusus untuk mengkalibrasi sensor suhu digital *thermocouple* pada tungku *furnace*. Akurasi sensor ini mengunci suhu cairan aluminium secara konsisten pada rentang operasi optimal (680°C–710°C). Pembersihan saluran pembuangan cetakan (*die vent cleaning*). Operator diwajibkan melakukan penyemprotan angin bertekanan tinggi (*air blow*) pada celah ventilasi cetakan (*die vent*) setiap kali menyelesaikan 50 siklus pengecoran (*cycle shot*). Hal ini berfungsi

merontokkan kerak sisa pelumas (*die lubricant*) yang mengeras agar jalur keluarnya gas dari dalam cetakan tetap terbuka lancar, sehingga meminimalkan risiko terjebakanya kantong udara mikro di dalam produk.

b. Tindakan Korektif untuk Mengeliminasi Cacat *Crack* (Keretakan)

Mengubah metode pendinginan drastis yang awalnya menggunakan semprotan cairan air dingin secara langsung (*direct water-cooling*) menjadi metode pendinginan bertahap menggunakan teknologi *air-mist cooling system* (semprotan kombinasi udara bertekanan tinggi dengan partikel air halus berbentuk kabut). Dilakukan penggantian total (*replacement*) terhadap komponen *ejector pin* yang telah mengalami keausan permukaan di atas batas toleransi 0,2 mm. Selanjutnya, dilakukan kalibrasi keseimbangan tekanan pegas pendorong pada mesin *die casting*. Menyusun regulasi ketat mengenai rasio pengisian material ke dalam tungku *furnace*. Komposisi bahan baku diubah dengan membatasi porsi sisa material potongan *casting* (*scrap return/remelting material*) maksimal sebesar 25%, sementara 75% sisanya wajib diisi oleh *ingot* aluminium murni (*virgin ingot*).

Tahap Control

Langkah pengendalian ini berfungsi untuk memastikan bahwa variabilitas proses yang memicu cacat *Porosity* dan *Crack* tetap berada dalam batas toleransi baru yang optimal, serta menjamin seluruh operator bekerja sesuai standar operasi yang telah diperbarui. Skenario pengendalian mutu di PT Otomotif Cikarang dirancang melalui tiga pilar utama diantaranya yaitu Standardisasi Dokumen Kerja (SOP), Manajemen Visual Kontinu, dan Audit Mandiri Periodik.

Standardisasi Proses Melalui Pembaruan Instruksi Kerja (SOP)

Pengendalian fundamental dilakukan dengan membekukan (*freezing*) metode kerja baru hasil tahap *Improve* ke dalam dokumen resmi perusahaan. Perubahan parameter teknis operasional dilegalkan melalui revisi Standar Operasional Prosedur (SOP) seperti yang dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Matriks Standardisasi Perubahan Parameter Kerja (SOP Baru).

Parameter Operasional	Standar Lama (Sebelum Perbaikan)	Standar Baru (Tahap Control)	Fungsi Pengendalian Mutu
Penyimpanan Bahan Baku Ingot	Area Terbuka / Gudang Umum tanpa penutup khusus.	Ruang Tertutup, di atas palet plastik, dilapisi terpal kedap vakum.	Menghentikan penyerapan kelembaban udara (H ₂ O) pembentuk gas hidrogen.
Suhu Peleburan Logam (<i>Furnace</i>)	660° C -740° C (Fluktuatif akibat sensor aus).	680° C -710° C (Terkunci via kalibrasi bulanan).	Mencegah <i>overheating</i> yang menaikkan kelarutan gas dalam aluminium cair.

Metode Pendinginan Produk	<i>Direct Water-Cooling</i> (Semprotan air dingin langsung).	<i>Air-Mist Cooling System</i> (Kombinasi kabut udara dan air halus).	Menghilangkan kejutan panas (<i>thermal shock</i>) penentu keretakan.
Komposisi Bahan Baku Tungku	Rasio <i>scrap return</i> tidak dibatasi (sering kali > 50%).	Maksimal 25% <i>Scrap Return</i> + 75% <i>Virgin Ingot</i> .	Menjaga nilai keuletan (<i>ductility</i>) bodi logam agar tidak getas.

Manajemen Visual Menggunakan Peta Kendali p-chart Digital berkelanjutan

Untuk mendeteksi penyimpangan secara dini di rantai produksi, PT Otomotif Cikarang menerapkan sistem pemantauan berbasis manajemen visual (*Visual Management*).

- a. Petugas *Quality Control* (QC) di lini pengecoran diwajibkan menginput data jumlah produksi dan jumlah cacat material secara langsung (*real-time*) setiap akhir *shift* ke dalam sistem komputerisasi produksi.
- b. Peta kendali baru dikonfigurasi dengan garis batas kendali atas (UCL) yang diperketat berdasarkan performa perbaikan.
- c. Apabila sinyal merah menyala, operator berhak menekan tombol *Andon* untuk menghentikan sementara jalannya mesin cetak (*stop the line*). Supervisor bersama tim teknis wajib melakukan investigasi instan (*Quick Response Quality Control* / QRQC) dalam waktu maksimal 15 menit guna mengecek apakah ada penyimpangan suhu tungku atau keausan pada *ejector pin*.

Audit Mandiri Berkelanjutan (Continuous Audit)

Menjaga konsistensi di lapangan memerlukan komitmen pengawasan yang ketat. Oleh karena itu, dibuat lembar pemeriksaan (*checklist*) kendali harian yang wajib diisi oleh penanggung jawab area sebelum proses produksi dimulai.

- a. Operator wajib memeriksa kebersihan saluran pembuangan gas (*die vent*) dari sisa kerak pelumas, serta memastikan tidak ada air yang menggenang di area cetakan.
- b. Setiap hari Sabtu pada jam pemeliharaan (*maintenance window*), mekanik wajib mengukur deviasi kelurusan *ejector pin* pendorong produk menggunakan *dial indicator*. Toleransi kelonggaran pin ditetapkan maksimal sebesar 0,15 mm; jika melebihi batas tersebut, pin harus langsung diganti tanpa menunggu jadwal *overhaul* besar.
- c. Departemen *Quality Assurance* bersama Manager Produksi mengadakan rapat pleno bulanan untuk meninjau efektivitas penurunan nilai DPMO dan kenaikan Level Sigma proses. Langkah ini memastikan bahwa budaya perbaikan berkelanjutan (*Continuous Improvement*) tetap berjalan harmonis di lingkungan PT Otomotif Cikarang.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metodologi Six Sigma DMAIC terhadap lini produksi *Bracket Rear Starter* di PT Otomotif Cikarang, dapat disimpulkan bahwa kapabilitas proses aktual perusahaan berada pada Level Sigma 4,13 dengan rasio cacat sebesar 4.344,5 DPMO dan tingkat kesesuaian kualitas (*Yield*) mencapai 99,57%. Nilai ini menunjukkan performa yang berada pada rata-rata industri nasional, namun masih menyisakan ruang pemborosan yang cukup besar akibat temuan dua jenis cacat material dominan, yaitu *Porosity* (40,34%) dan *Crack* (38,79%). Melalui pemetaan diagram *Fishbone*, akar permasalahan utama diidentifikasi bersumber dari fluktuasi suhu tungku, durasi pembuangan gas yang tidak standar, keausan komponen *ejector pin*, serta porsi peleburan kembali sisa potongan material daur ulang (*scrap return*) yang melebihi batas toleransi perusahaan sehingga menurunkan tingkat keuletan asli logam.

Sebagai langkah mitigasi jangka panjang, perusahaan direkomendasikan untuk mengimplementasikan strategi perbaikan terstandarisasi melalui pembaruan Standar Operasional Prosedur (SOP) secara disiplin. Langkah taktis ini meliputi penguncian suhu ideal tungku *furnace* pada kisaran 680°C - 710°C, pembatasan porsi scrap return maksimal sebesar 25% dengan pemenuhan 75% sisanya menggunakan *virgin ingot* aluminium murni, transisi sistem pendinginan menuju *air-mist cooling system*, serta penerapan manajemen visual berbasis grafik *p-chart* digital yang terintegrasi dengan *Andon System*. Untuk pengembangan akademis di masa depan, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan pendekatan statistika ini dengan konsep *Lean Manufacturing* dan melakukan kalkulasi detail mengenai *Cost of Poor Quality* (COPQ) agar dampak efisiensi finansial dari hasil reduksi sisa buangan logam dapat terukur secara kuantitatif.

DAFTAR REFERENSI

- Anjani, D. G. D., Buniarto, E. A., & Muttaqien, Z. (2025). Pengendalian kualitas produk menggunakan metode Six Sigma dengan pendekatan DMAIC pada UD. Palapa. *Jurnal Manajemen Kewirausahaan dan Teknologi*, 2(3), 205–214. <https://doi.org/10.61132/jumaket.v2i3.839>
- Anwar, K., & Wijaya, A. (2023). Pengendalian kualitas produk otomotif dengan metode Six Sigma dan Kaizen. *Jurnal Teknik Industri*, 14(2), 105–118. <https://doi.org/10.24912/jmti.v2i1.25521>
- Arifin, M., & Syahputra, R. (2023). Pengurangan *defect porosity* pada proses aluminium *die casting* komponen otomotif dengan metode Six Sigma. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(2), 341–350.

- Budiman, S. (2022). *Manajemen mutu terpadu (Total Quality Management) dalam industri modern*. Penerbit Andi.
- Deming, W. E. (2018). *Out of the crisis*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11457.001.0001>
- Faisal, F. (2024). Penerapan *lean manufacturing* untuk efisiensi lini logistik otomotif. *Jurnal Logistik*, 11(3), 170–185.
- Fathoni, M. A., & Setiawan, I. (2024). Penerapan metode DMAIC untuk menekan tingkat cacat *crack* pada komponen *bracket engine* berbahan paduan aluminium. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 13(1), 55–66.
- Gaspersz, V. (2002). *Lean Six Sigma for manufacturing and service industries*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hartono, B. (2023). Aplikasi diagram *fishbone* dalam *troubleshooting* alat angkut produksi. *Jurnal Mesin*, 9(4), 210–222. <https://doi.org/10.24853/jurnalmesin.v9i4.551>
- Hidayat, R., & Wibowo, A. (2022). Analisis kapabilitas proses pengecoran logam untuk menurunkan *reject rate* komponen kendaraan roda dua menggunakan pendekatan Six Sigma. *Jurnal Manufaktur Nusantara*, 4(2), 112–121.
- Irawan, D., & Kurniawan, H. (2024). Pengendalian kualitas produk *rear hub* menggunakan metode Six Sigma dan analisis FMEA di industri komponen otomotif. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 17(2), 189–199. <https://doi.org/10.67302/jifka.v2i2.312>
- Jaya, B. A. (2022). Analisa produk cacat menggunakan metode Six Sigma pada perusahaan garmen. *Jurnal Ekonomi dan Industri*, 14(1), 143–151. <https://doi.org/10.31937/manajemen.v14i1.2590>
- Kurniawan, H., & Saputra, E. (2024). Analisis penyebab cacat goresan pada komponen bodi kendaraan menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA). *Jurnal Manufaktur Terintegrasi*, 7(2), 75–84.
- Kusuma, W. A., & Handoko, T. (2023). Implementasi *Lean Six Sigma* untuk meminimalkan *waste scrap* logam pada lini produksi pengecoran *housing starter motor*. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, 3(3), 221–232.
- Lestari, D., & Ramadhan, F. (2023). Penerapan siklus PDCA untuk mengurangi tingkat *defect* pada proses *assembly*. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 22(1), 34–45.
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control* (8th ed.). John Wiley & Sons.
- Nasution, M. N. (2015). *Manajemen mutu terpadu (Total Quality Management)*. Ghalia Indonesia. <http://www.yrama-widya.co.id>
- Nugroho, A. S., & Puspitasari, D. (2025). Optimasi parameter temperatur *furnace* untuk mereduksi cacat inklusi pada paduan aluminium ADC12 menggunakan kerangka DMAIC. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 9(1), 14–25.
- Pratama, A. Y., Afiatma, F. A. N. F., & Minto, M. (2023). Analisis pengendalian kualitas untuk mengurangi *defect* pada produk *wafer* dengan metode Six Sigma serta implementasi Kaizen. *Jurnal Penelitian Bidang Inovasi & Pengelolaan Industri*, 3(1), 45–52.
- Purba, H. H. (2022). Diagram Pareto dan Ishikawa sebagai alat pengendalian mutu pada industri manufaktur. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 11(3), 195–206.

- Putra, E. P., & Ramadhan, F. (2023). Analisis *p-chart* digital dan implementasi *Andon system* dalam pengendalian kualitas produk pengecoran komponen mesin. *Jurnal Sistem Produksi Modern*, 11(2), 88–97.
- Sari, K. P., & Utomo, B. (2024). Pendekatan Six Sigma untuk meminimalkan kegagalan dimensi dan struktural pada komponen pengapian kendaraan (*rear bracket*). *Jurnal Reaya Otomotif Indonesia*, 8(2), 101–110.
- Wijaya, C., & Lestari, S. (2022). Pengaruh pembatasan material *remelting scrap* terhadap kekuatan mekanik dan penurunan tingkat cacat produk aluminium cor. *Jurnal Metalurgi dan Material*, 5(1), 47–56.
- Zulkarnain, I., & Firdaus, M. (2025). Evaluasi kapabilitas sigma jangka pendek dan jangka panjang pada lini produksi komponen kritis pemula mesin (*starter motor components*). *Jurnal Manajemen Industri Mutu*, 6(4), 310–322.