

Reduksi Cacat Retak pada Proses HPCM melalui Integrasi *Six Sigma*, FMEA, dan DOE

Abby Yazid Bustommy¹, Rangga Wahyu Fattahillah², Lifia Citra Ramadhanti³

^{1,2}Teknik Industri, Universitas Tangerang Raya, Tangerang, Indonesia

³Teknik Industri, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia

¹bustommy.abbyyazid@gmail.com, ²ranggapc363@gmail.com, ³lifia.citra@ft.unsika.ac.id,

Abstrak

Industri *sanitary ware* membutuhkan proses produksi yang stabil karena cacat pada produk keramik bersifat kritis dan sulit diperbaiki. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kapabilitas proses, mengidentifikasi penyebab utama cacat retak, menentukan prioritas risiko kegagalan, serta menetapkan parameter tekanan angin optimum melalui eksperimen tiga level tekanan angin (2 bar, 3 bar, dan 4 bar) pada proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM). Metode yang digunakan adalah *Six Sigma* dengan pendekatan *Define, Measure, Analyze, Improve, and Control* (DMAIC) yang diintegrasikan dengan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Design of Experiment* (DOE). Data penelitian diperoleh dari laporan produksi dan inspeksi kualitas periode Januari–Juni 2025. Hasil menunjukkan bahwa tingkat cacat awal sebesar 8,58% dengan nilai *Defects per Million Opportunities* (DPMO) 21.400 dan *level sigma* 3,52. Analisis FMEA mengidentifikasi ketidakstabilan tekanan angin sebagai penyebab dominan dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi 576. Hasil DOE menunjukkan bahwa tekanan udara sebesar 3 bar menghasilkan proporsi cacat terendah sebesar 9,63% dan berpengaruh signifikan terhadap kualitas produk (*p-value* = 0,041). Setelah perbaikan, nilai DPMO menurun menjadi 17.000 dan *level sigma* meningkat menjadi 3,62. Integrasi *Six Sigma*, FMEA, dan DOE terbukti efektif dalam mengurangi cacat retak dan meningkatkan kapabilitas proses HPCM.

Article History:

Received 12 June 2026

Revised 17 June 2026

Accepted 03 July 2026

Available online 10 Aug 2026

Kata Kunci : *Crack Defect, Design of Experiment, Failure Mode and Effect Analysis, High Pressure Casting Machine, Six Sigma*

Abstract

The sanitary ware industry needs a stable production process because defects in ceramic products are critical and difficult to repair. This study aims to Measure process capability, identify the main causes of crack defects, determine the priority of failure risk, and determine optimal wind pressure parameters through an experiment of three wind pressure levels (2 bar, 3 bar, and 4 bar) on the High Pressure Casting Machine (HPCM) process. The method used is Six Sigma with a Define, Measure, Analyze, Improve, and Control (DMAIC) approach which is integrated with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Design of Experiment (DOE). The research data was obtained from production reports and Quality inspections for the January-June 2025 period. The results showed that the initial defect rate was 8.58% with a Defects per Million Opportunities (DPMO) value of 21,400 and a sigma level of 3.52. The FMEA analysis identified wind pressure instability as the dominant cause with the highest Risk Priority Number (RPN) value of 576. The DOE results showed that an air pressure of 3 bar resulted in the lowest defect proportion of 9.63% and had a significant effect on product Quality (*p-value* = 0.041). After the repair, the DPMO value decreased to 17,000 and the sigma level increased to 3.62. The integration of Six Sigma, FMEA, and DOE has proven effective in reducing crack defects and improving HPCM process capabilities.

Keywords : *Crack Defect, Design of Experiment, Failure Mode and Effect Analysis, High Pressure Casting Machine, Six Sigma*

1. Pendahuluan

Industri *sanitary ware* merupakan sektor manufaktur keramik yang terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan perumahan, fasilitas publik, dan infrastruktur sanitasi. Persaingan industri menuntut perusahaan menghasilkan produk dengan kualitas konsisten, biaya efisien, dan tingkat kecacatan rendah untuk mempertahankan daya saing (Heizer et al., 2020). Dalam industri keramik, sebagian besar cacat bersifat permanen dan sulit diperbaiki setelah proses pembentukan maupun pembakaran (Montgomery, 2019). Kondisi tersebut menegaskan pentingnya pengendalian kualitas untuk memastikan kesesuaian spesifikasi produk, meningkatkan kepuasan pelanggan, dan mengurangi biaya kegagalan kualitas (Evans & Lindsay, 2020).

Salah satu permasalahan utama pada industri *sanitary ware* adalah cacat retak (*crack defect*) yang dapat dipengaruhi oleh ketidaksesuaian parameter proses, kondisi cetakan, karakteristik material, serta faktor operasional selama proses produksi (Coskun et al., 2023). Cacat retak umumnya menyebabkan produk menjadi scrap sehingga menimbulkan kerugian berupa pemborosan bahan baku, energi, dan waktu produksi (Desole et al., 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengendalian cacat perlu dilakukan sejak tahap proses untuk mencegah terjadinya kegagalan kualitas pada produk akhir.

PT RII menghadapi permasalahan kualitas pada produk closet jongkok tipe BN 150 G yang diproduksi menggunakan *High Pressure Casting Machine* (HPCM). Data produksi periode Januari–Juni 2025 menunjukkan tingkat cacat sebesar 8,58%, melebihi batas toleransi perusahaan sebesar 4%. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara kinerja proses aktual dan target kualitas perusahaan sehingga diperlukan pendekatan perbaikan yang sistematis (Pyzdek & Keller, 2018).

Pendekatan *Six Sigma* merupakan salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk meningkatkan kualitas melalui pengurangan variasi proses dengan kerangka *Define, Measure, Analyze, Improve, and Control* (DMAIC) (Montgomery, 2009; Pyzdek & Keller, 2018). Evaluasi kinerja proses dilakukan menggunakan indikator *Defects per Million Opportunities* (DPMO) dan *level sigma* untuk mengukur tingkat kapabilitas proses secara kuantitatif. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi dan pengendalian cacat secara sistematis berdasarkan data proses.

Six Sigma memiliki keterbatasan dalam memberikan prioritas risiko dari setiap penyebab kegagalan. Oleh karena itu, metode ini sering diintegrasikan dengan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menentukan prioritas perbaikan berdasarkan tingkat risiko. FMEA mengevaluasi potensi kegagalan melalui tiga parameter, yaitu severity, occurrence, dan detection, yang kemudian dikombinasikan menjadi *Risk Priority Number* (RPN) (Carlson, 2012; Stamatis, 2019). Pendekatan ini memungkinkan penentuan faktor kritis yang memiliki dampak terbesar terhadap kualitas proses.

Selain identifikasi dan prioritas risiko, perbaikan kualitas proses memerlukan validasi terhadap faktor-faktor yang diduga berpengaruh. *Design of Experiment* (DOE) digunakan untuk menganalisis pengaruh faktor proses secara statistik melalui rancangan eksperimen terstruktur sehingga hubungan antara variabel proses dan respons kualitas dapat diidentifikasi secara objektif (Montgomery & Runger, 2014). Dalam konteks proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM), tekanan angin diduga menjadi faktor kritis yang memengaruhi terbentuknya cacat retak karena berhubungan langsung dengan kestabilan proses pembentukan produk. Dengan demikian, DOE tidak hanya digunakan untuk menguji dugaan penyebab cacat, tetapi juga untuk menentukan parameter proses yang paling optimum secara statistik.

Berbagai penelitian terdahulu telah menerapkan *Six Sigma* pada beragam sektor manufaktur untuk meningkatkan kualitas proses. Metode ini terbukti efektif dalam mengurangi cacat dan meningkatkan kapabilitas proses pada berbagai sektor industri seperti otomotif, *casting*, dan manufaktur komponen (Jou et al., 2022; G. V. S. S. Sharma et al., 2018; Solanki & Desai, 2020). Dalam industri keramik, *Six Sigma* juga telah digunakan untuk meningkatkan kualitas produk dan mengurangi tingkat kecacatan (Hartono et al., 2025; Prasetyo et al., 2022).

Seiring perkembangannya, *Six Sigma* sering dikombinasikan dengan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk meningkatkan efektivitas identifikasi dan prioritas perbaikan pada berbagai industri seperti logam, plastik, dan proses *casting* (Rukmana et al., 2024; Sudarwati & Wijaya, 2015). Integrasi ini membantu perusahaan memfokuskan perbaikan pada penyebab kegagalan dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi. Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada tahap identifikasi risiko dan rekomendasi perbaikan tanpa validasi eksperimental terhadap faktor proses kritis.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, beberapa penelitian mulai mengintegrasikan *Design of Experiment* (DOE) dalam pendekatan peningkatan kualitas. DOE digunakan untuk memvalidasi pengaruh faktor proses serta menentukan kombinasi parameter yang menghasilkan kualitas terbaik. Penelitian pada industri *casting* menunjukkan bahwa kombinasi *Six Sigma* dan DOE mampu meningkatkan kualitas proses melalui optimasi parameter produksi (Ratayasa et al., 2026). Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih menyisakan kesenjangan baik dari sisi metodologi maupun konteks aplikasi. Integrasi *Six Sigma*, FMEA, dan DOE secara simultan masih sangat terbatas dalam literatur, sehingga hubungan antara pengukuran kapabilitas proses, prioritas risiko kegagalan, dan validasi eksperimen belum banyak dikaji secara komprehensif dalam satu kerangka yang terpadu.

Penelitian yang secara spesifik membahas industri *ceramic sanitary ware*, khususnya proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM), optimasi tekanan angin, dan cacat retak pada produk *closet* jongkok masih relatif terbatas. Kondisi ini membuka peluang penelitian yang mengintegrasikan *Six Sigma*, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dan *Design of Experiment* (DOE) untuk mengukur kapabilitas proses, menentukan prioritas risiko, serta memvalidasi parameter proses secara eksperimental. Ringkasan penelitian terdahulu yang menjadi dasar penyusunan posisi penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *State of the Art Penelitian Terdahulu terkait Integrasi Six Sigma, FMEA, dan DOE*

No Referensi	<i>Six Sigma</i>	FMEA	DOE	Objek atau Konteks	Temuan Relevan	Keterbatasan terhadap Penelitian Saat Ini
1 Godina et al (2021)	✓	✓	–	Industri otomotif	Integrasi DMAIC dan <i>Fuzzy FMEA</i> mampu menganalisis risiko kegagalan proses	Belum menggunakan DOE dan tidak membahas <i>sanitary ware</i>
2 Jou et al (2022)	✓	–	–	Manufaktur otomotif	<i>Six Sigma</i> DMAIC digunakan untuk meningkatkan kualitas proses manufaktur	Tidak mengintegrasikan FMEA dan DOE
3 Putri et al (2025)	✓	✓	–	Produk <i>decorative resin lamps</i>	<i>Six Sigma</i> dan FMEA digunakan untuk menghitung DPMO, <i>level sigma</i> , dan RPN	Belum melakukan validasi parameter proses menggunakan DOE
4 Dumitrascu (2024)	–	✓	–	Komponen otomotif	FMEA digunakan untuk mengevaluasi risiko kegagalan proses	Tidak mengukur kapabilitas proses dengan <i>Six Sigma</i> dan tidak menggunakan DOE
5 G. V. S. S. Sharma et al (2018)	✓	✓	–	<i>Engine crankshaft manufacturing</i>	DMAIC, SPC, dan FMEA meningkatkan kapabilitas proses	Tidak berfokus pada produk keramik dan tidak menggunakan DOE
6 P. Sharma et al (2018)	✓	✓	–	<i>Aluminum alloy wheel machining</i>	DMAIC dan FMEA digunakan untuk meningkatkan kapabilitas proses	Konteks penelitian berbeda dari proses HPCM
7 Omprakas et al., (2020).	✓	–	✓	<i>Sand casting</i>	<i>Six Sigma</i> dan <i>Taguchi</i> digunakan untuk menurunkan cacat <i>shrinkage</i>	Tidak menggunakan FMEA dan tidak membahas <i>sanitary ware</i>
8 Pons Murguía et al (2016)	–	–	✓	Proses <i>casting</i>	DOE digunakan untuk mengoptimalkan parameter proses <i>casting</i>	Tidak diintegrasikan dengan <i>Six Sigma</i> dan FMEA
9 Ullah et al (2024)	–	–	–	Proses <i>casting</i>	Membahas jenis cacat <i>casting</i> dan pendekatan optimasi kualitas	Bersifat kajian dan tidak menguji parameter HPCM
10 Coskun et al (2023)	–	–	–	<i>Ceramic sanitaryware</i>	Mengkaji cacat dari proses <i>casting shop</i> pada <i>ceramic sanitaryware</i>	Tidak menggunakan integrasi <i>Six Sigma</i> –FMEA–DOE

No Referensi	<i>Six Sigma</i> FMEA DOE	Objek atau Konteks	Temuan Relevan	Keterbatasan terhadap Penelitian Saat Ini
11 Gurcan (2026)	– ✓ –	Produksi <i>ceramic sanitary ware</i>	<i>Fuzzy FMEA</i> digunakan untuk memprioritaskan risiko cacat	Tidak mengukur DPMO dan tidak melakukan DOE
12 Desole et al (2024)	– – –	<i>Ceramic sanitaryware</i>	Membahas karakteristik proses produksi <i>ceramic sanitaryware</i>	Fokus pada dampak proses, bukan reduksi cacat
13 Gomez et al (2023).	– – –	<i>Ceramic sanitary ware</i>	Mengkaji proses pengeringan sebagai bagian penting kualitas produk	Tidak membahas <i>Six Sigma</i> , FMEA, dan tekanan angin HPCM
14 Kunduraci & Aydin (2015)	– – –	<i>Ceramic sanitaryware</i>	Membahas penggunaan sistem <i>high-pressure casting</i> pada produk <i>sanitaryware</i>	Tidak mengoptimalkan tekanan angin untuk cacat retak
15 Sujova et al (2016)	✓ – –	Proses industri	<i>Six Sigma</i> digunakan untuk meningkatkan performa proses	Tidak membahas FMEA, DOE, dan <i>sanitary ware</i>
16 Ratayasa et al (2026)	✓ – ✓	<i>Low pressure die casting</i>	Integrasi <i>Six Sigma</i> dan DOE digunakan untuk optimasi cacat porositas	Tidak menggunakan FMEA dan tidak membahas HPCM <i>sanitary ware</i>

Sumber: Hasil sintesis penulis berdasarkan berbagai literatur (2026)

Berdasarkan Tabel 1, *Six Sigma*, FMEA, dan DOE telah banyak digunakan dalam peningkatan kualitas manufaktur. *Six Sigma* digunakan untuk mengukur kapabilitas proses dan menurunkan tingkat kecacatan, FMEA untuk menentukan prioritas risiko berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN), sedangkan DOE digunakan untuk menguji pengaruh parameter proses dan menentukan kondisi operasi optimum. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih menggunakan metode tersebut secara terpisah atau hanya mengombinasikan dua pendekatan. Integrasi *Six Sigma*, FMEA, dan DOE secara simultan masih jarang ditemukan sehingga pengukuran kapabilitas proses, prioritas risiko, dan validasi eksperimen belum terintegrasi dalam satu kerangka penelitian.

Tabel 2. *Research Gap* Kuantitatif Berdasarkan Literatur Terdahulu

No	Aspek Analisis	Jumlah Artikel	Persentase
1	Menggunakan <i>Six Sigma</i> atau DMAIC	8 dari 16	50,00%
2	Menggunakan FMEA	6 dari 16	37,50%
3	Menggunakan DOE atau <i>Taguchi</i>	3 dari 16	18,75%
4	Mengintegrasikan <i>Six Sigma</i> dan FMEA	4 dari 16	25,00%
5	Mengintegrasikan <i>Six Sigma</i> dan DOE	2 dari 16	12,50%
6	Mengintegrasikan <i>Six Sigma</i> , FMEA, dan DOE	0 dari 16	0,00%
7	Membahas industri keramik	5 dari 16	31,25%
8	Membahas <i>sanitary ware</i>	5 dari 16	31,25%
9	Membahas proses <i>casting</i> atau <i>high-pressure casting</i>	6 dari 16	37,50%
10	Mengoptimalkan tekanan angin pada proses HPCM	0 dari 16	0,00%

Sumber: Hasil sintesis penulis berdasarkan berbagai literatur (2026).

Berdasarkan Tabel 2, *Six Sigma* atau DMAIC merupakan metode yang paling banyak digunakan (50,00%), diikuti FMEA (37,50%) dan DOE (18,75%). Integrasi ketiga metode tersebut belum ditemukan dalam literatur. Selain itu, penelitian mengenai optimasi tekanan angin pada proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM) untuk mereduksi cacat retak juga belum ditemukan. Temuan ini menunjukkan adanya kesenjangan metodologis dan kontekstual yang menjadi dasar penelitian ini, yaitu mengintegrasikan *Six Sigma*, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dan *Design of Experiment*

(DOE) untuk mengevaluasi sekaligus memvalidasi parameter tekanan udara pada proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM) di industri *ceramic sanitary ware*.

Penelitian ini bertujuan mengukur kapabilitas proses menggunakan *Six Sigma*, mengidentifikasi penyebab dominan cacat retak, menentukan prioritas risiko menggunakan FMEA, menetapkan tekanan angin optimum melalui DOE, serta mengevaluasi dampak perbaikan terhadap nilai DPMO dan *level sigma*. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar pengambilan keputusan berbasis data dalam peningkatan kualitas proses produksi *sanitary ware*.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus kuantitatif terapan pada proses produksi *closet jongkok* tipe BN 150 G di PT RII. Objek penelitian adalah proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM) karena area tersebut Objek penelitian adalah proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM) karena merupakan tahapan kritis dalam pembentukan produk *sanitary ware* berbahan keramik. Data yang digunakan terdiri atas data produksi, jumlah cacat, jenis cacat, hasil observasi proses, hasil wawancara dengan pihak produksi dan pengendalian kualitas, penilaian *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), serta data eksperimen tekanan angin. Data historis yang dianalisis berasal dari laporan produksi dan inspeksi kualitas periode Januari sampai Juni 2025, dengan total produksi 5.060 unit dan jumlah cacat 434 unit.

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada proses produksi di divisi *casting*, khususnya area HPCM. Analisis tidak mencakup proses *glazing*, *firing*, *packing*, maupun distribusi produk. Pembatasan ini dilakukan agar analisis lebih fokus pada parameter proses pembentukan yang diduga memiliki pengaruh langsung terhadap cacat retak. Jenis cacat yang menjadi fokus penelitian adalah retak bagian atas, retak bagian bawah, retak bagian depan, dan retak bagian belakang Keempat jenis cacat tersebut ditetapkan sebagai *Critical to Quality* (CTQ) karena berpengaruh terhadap kelayakan fungsi, kekuatan produk, dan tingkat produk akhir. Penetapan CTQ dilakukan berdasarkan standar inspeksi kualitas yang digunakan oleh perusahaan.

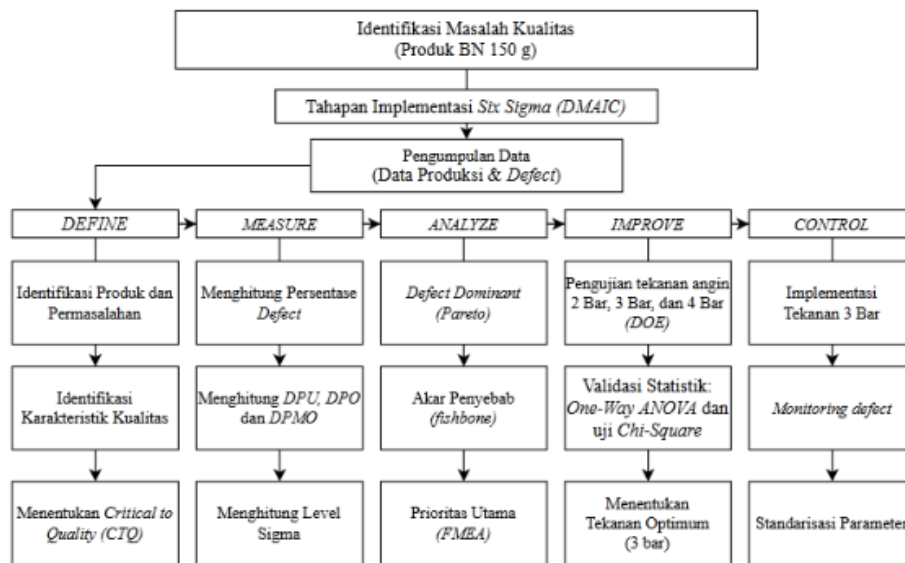
Tabel 3. Jenis Data, Sumber Data, dan Kegunaannya dalam Penelitian

Jenis Data	Sumber Data	Kegunaan dalam Penelitian
Jumlah produksi BN 150 G	Laporan produksi PT RII	Menghitung persentase cacat, DPMO, dan <i>level sigma</i>
Jumlah cacat	Data inspeksi kualitas	Mengukur tingkat kecacatan proses
Jenis cacat	Laporan pengendalian kualitas	Menentukan cacat dominan melalui diagram <i>Pareto</i>
Faktor penyebab cacat	Observasi dan wawancara	Menyusun <i>fishbone diagram</i> dan FMEA
Nilai <i>severity</i> , <i>occurrence</i> , dan <i>detection</i>	Diskusi dengan bagian produksi dan pengendalian kualitas	Menghitung nilai <i>Risk Priority Number</i> (RPN)
Tekanan angin HPCM	Data eksperimen proses	Menentukan parameter optimum menggunakan DOE
Jumlah cacat hasil eksperimen	Hasil pengujian DOE	Mengevaluasi pengaruh tekanan angin terhadap tingkat cacat

Sumber: Data produksi PT RII (2025), diolah penulis (2026).

Metode analisis menggunakan kerangka *Six Sigma* melalui tahapan *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*, dan *Control* (DMAIC). Tahap *Define* digunakan untuk mengidentifikasi masalah kualitas, menentukan objek penelitian, menetapkan *Critical to Quality* (CTQ), dan membatasi ruang lingkup cacat yang dianalisis. Pada tahap *Measure* dilakukan pengukuran kapabilitas proses melalui persentase cacat, *Defect per Unit* (DPU), *Defect per Opportunity* (DPO), *Defects per Million Opportunities* (DPMO), dan *level sigma*. Tahap *Analyze* dilakukan untuk mengidentifikasi cacat dominan menggunakan diagram *Pareto*, menganalisis akar penyebab menggunakan *fishbone diagram*, serta menentukan prioritas risiko menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Tahap *Improve* dilakukan melalui *Design of Experiment* (DOE) untuk menentukan tekanan angin optimum berdasarkan

hasil eksperimen dan analisis statistik. Tahap *Control* difokuskan pada penyusunan rekomendasi pengendalian proses agar hasil perbaikan dapat dipertahankan secara berkelanjutan.



Gambar 1. Alur Implementasi *Six Sigma* dengan Pendekatan DMAIC

Sumber: Diadaptasi dari Montgomery (2009), Pyzdek & Keller (2018), dan diolah oleh penulis (2026).

Perhitungan kapabilitas proses dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Persentase Cacat} = (\text{Jumlah Cacat} / \text{Jumlah Produksi}) \times 100\%$$

$$\text{DPU} = \text{Jumlah Cacat} / \text{Jumlah Produksi}$$

$$\text{DPO} = \text{Jumlah Cacat} / (\text{Jumlah Produksi} \times \text{Jumlah CTQ})$$

$$\text{DPMO} = \text{DPO} \times 1.000.000$$

$$\text{Level Sigma} = \text{NORMSINV}((1.000.000 - \text{DPMO}) / 1.000.000) + 1,5$$

Jumlah *Critical to Quality* (CTQ) dalam penelitian ini ditetapkan sebanyak empat, yaitu retak bagian atas, retak bagian bawah, retak bagian depan, dan retak bagian belakang. Nilai DPMO digunakan untuk mengukur jumlah cacat dalam satu juta peluang, sedangkan *level sigma* digunakan untuk mengevaluasi kapabilitas proses. Semakin rendah nilai DPMO dan semakin tinggi *level sigma*, semakin baik kapabilitas proses produksi.

Pada tahap *Analyze*, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk menentukan prioritas risiko berdasarkan parameter *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D). Nilai *Risk Priority Number* (RPN) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{RPN} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

Penyebab cacat dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi diprioritaskan untuk perbaikan karena menunjukkan tingkat risiko terbesar berdasarkan tingkat keparahan, frekuensi kejadian, dan kemampuan deteksi. Faktor tersebut selanjutnya divalidasi pada tahap *Improve* menggunakan *Design of Experiment* (DOE). Dalam penelitian ini, tekanan angin pada proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM) dipilih sebagai faktor eksperimen berdasarkan hasil analisis FMEA.

Tabel 4. Rancangan Variabel DOE

Komponen DOE	Keterangan
Faktor	Tekanan angin HPCM
Level 1	2 bar
Level 2	3 bar
Level 3	4 bar
Respons	Jumlah cacat dan persentase cacat
Variabel terkendali	Jenis produk, material, operator, waktu proses, dan spesifikasi produk
Tujuan eksperimen	Menentukan tekanan angin yang menghasilkan tingkat cacat paling rendah

Sumber: Diadaptasi dari Montgomery (2009) dan disusun oleh penulis (2026).

Rancangan eksperimen menggunakan satu faktor dengan tiga level tekanan (2, 3, dan 4 bar) yang disesuaikan dengan kondisi aktual proses HPCM dan hasil analisis FMEA. Variabel lain, seperti jenis produk, material, operator, waktu proses, dan spesifikasi produk, dikendalikan agar perubahan respons hanya dipengaruhi oleh variasi tekanan angin.

Data hasil DOE dianalisis menggunakan *One-Way* ANOVA dan uji *Chi-Square*. *One-Way* ANOVA digunakan untuk membandingkan rata-rata jumlah cacat antarlevel tekanan, sedangkan uji *Chi-Square* digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara level tekanan dan proporsi produk cacat. Uji *Chi-Square* dijadikan dasar interpretasi utama karena jumlah produksi pada setiap level tekanan tidak sama sehingga analisis proporsi cacat lebih representatif.

$H_0: \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

H_1 : minimal terdapat satu rata-rata jumlah cacat yang berbeda antarlevel tekanan angin.

Keputusan diambil berdasarkan nilai *p-value*. Jika *p-value* < 0,05 maka H_0 ditolak. Pada *One-Way* ANOVA, penolakan H_0 menunjukkan adanya perbedaan rata-rata jumlah cacat antarlevel tekanan, sedangkan pada uji *Chi-Square* menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara level tekanan dan status produk cacat.

Keberhasilan perbaikan dievaluasi berdasarkan penurunan jumlah cacat, penurunan nilai DPMO, dan peningkatan *level sigma*. Perbaikan dinilai efektif apabila DPMO menurun dan *level sigma* meningkat dibandingkan kondisi awal.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian disusun berdasarkan tahapan *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control* (DMAIC) yang diintegrasikan dengan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) serta *Design of Experiment* (DOE). Tahap *Define-Measure* menggunakan data historis produksi Januari–Juni 2025 sebagai *baseline* untuk menggambarkan kondisi awal proses sebelum dilakukan tindakan perbaikan. Selanjutnya, tahap *Analyze* digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama cacat, tahap *Improve* dilakukan melalui DOE untuk menentukan tekanan angin optimum, sedangkan tahap *Control* digunakan untuk mengevaluasi efektivitas implementasi parameter optimum pada proses produksi. Pendekatan DMAIC banyak digunakan dalam peningkatan kualitas karena mampu menghubungkan pengukuran kinerja proses, analisis penyebab, dan pengendalian hasil perbaikan secara sistematis (Montgomery, 2009; Pyzdek & Keller, 2018).

Tahap *Define* menunjukkan bahwa permasalahan utama pada proses produksi *closet* jongkok tipe BN 150 G adalah tingginya tingkat cacat pada area *High Pressure Casting Machine* (HPCM). Contoh cacat retak pada produk BN 150 G ditampilkan pada Gambar 2 untuk memperjelas bentuk ketidaksesuaian produk yang menjadi fokus penelitian.



Gambar 2. Contoh Cacat Retak pada Produk *Closet* Jongkok BN 150 G

Sumber: Dokumentasi penelitian, (2025)

Berdasarkan data historis produksi selama periode Januari–Juni 2025, total produksi mencapai 5.060 unit dengan jumlah produk cacat sebanyak 434 unit. Data historis tersebut digunakan sebagai *baseline* untuk merepresentasikan kapabilitas proses sebelum implementasi tindakan perbaikan. Tingkat cacat yang masih berada di atas batas toleransi perusahaan sebesar 4% menunjukkan perlunya identifikasi lebih lanjut terhadap penyebab utama terjadinya cacat.

Tabel 5. Data Produksi dan Cacat Produk BN 150 G

Bulan	Produksi (unit)	Cacat (unit)	Persentase Cacat (%)
Januari	1.084	81	7,47
Februari	900	55	6,11
Maret	1.019	98	9,62
April	823	83	10,09
Mei	799	85	10,64
Juni	435	32	7,36
Total	5.060	434	8,58%

Sumber: Data produksi PT RII, (2025).

Berdasarkan kondisi awal tersebut, tahap *Measure* dilakukan untuk menghitung kapabilitas proses sebagai dasar analisis pada tahap *Analyze*. Dengan jumlah cacat sebanyak 434 unit, total produksi 5.060 unit, dan empat karakteristik *Critical to Quality* (CTQ), kapabilitas proses dihitung menggunakan indikator *Defect per Unit* (DPU), *Defect per Opportunity* (DPO), *Defects per Million Opportunities* (DPMO), dan *level sigma* sebagai berikut.

$$DPU = 434 / 5.060 = 0,0858$$

$$DPO = 434 / (5.060 \times 4) = 0,0214$$

$$DPMO = 0,0214 \times 1.000.000 = 21.400$$

$$Level\ Sigma = NORMSINV((1.000.000 - 21.400) / 1.000.000) + 1,5 = 3,52$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proses memiliki nilai DPMO sebesar 21.400 dengan *level sigma* sebesar 3,52. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kapabilitas proses masih berada pada tingkat menengah sehingga masih terdapat peluang peningkatan kualitas melalui pendekatan *Six Sigma*. Semakin rendah nilai DPMO dan semakin tinggi *level sigma*, semakin baik kapabilitas proses produksi (Montgomery, 2009; Pyzdek & Keller, 2018). Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa proses masih memerlukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi jenis cacat yang paling dominan. Informasi tersebut menjadi dasar dalam menentukan fokus perbaikan pada tahap *Analyze*. Analisis terhadap distribusi jenis cacat diperlukan agar tindakan perbaikan dapat difokuskan pada jenis cacat yang memberikan dampak terbesar terhadap kualitas produk. Tahap *Analyze* diawali dengan identifikasi cacat dominan menggunakan diagram Pareto.

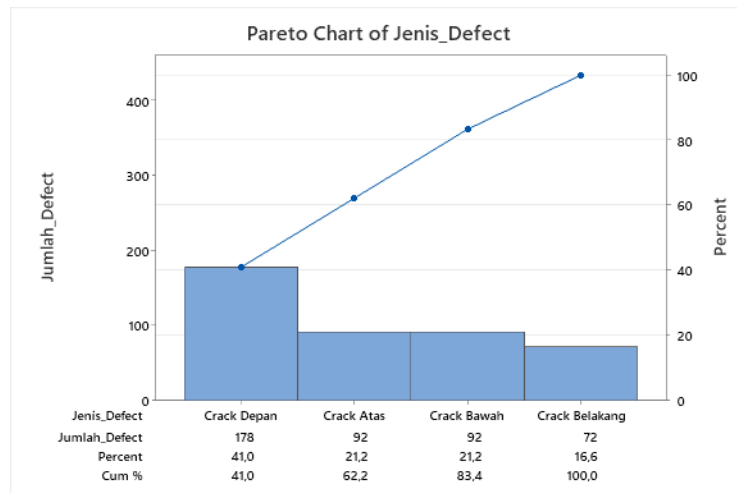
Tahap *Analyze* diawali dengan identifikasi cacat dominan menggunakan diagram *Pareto*. Hasil analisis menunjukkan bahwa retak bagian depan merupakan jenis cacat paling dominan dengan jumlah 178 unit atau 41% dari total cacat. Retak bagian bawah dan retak bagian atas masing-masing berjumlah 92 unit atau 21%, sedangkan retak bagian belakang berjumlah 72 unit atau 17%. Untuk menentukan prioritas perbaikan, dilakukan analisis distribusi masing-masing jenis cacat sebagaimana disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Distribusi dan Persentase Kumulatif Cacat

Jenis Cacat	Jumlah Cacat (unit)	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
Retak bagian depan	178	41	41
Retak bagian bawah	92	21	62
Retak bagian atas	92	21	83
Retak bagian belakang	72	17	100
Total	434	100	

Sumber: Data produksi PT RII (2025), diolah penulis (2026).

Distribusi tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk diagram Pareto untuk mempermudah identifikasi jenis cacat yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total kecacatan. Visualisasi kontribusi masing-masing jenis cacat ditampilkan melalui diagram *Pareto* pada Gambar 3.



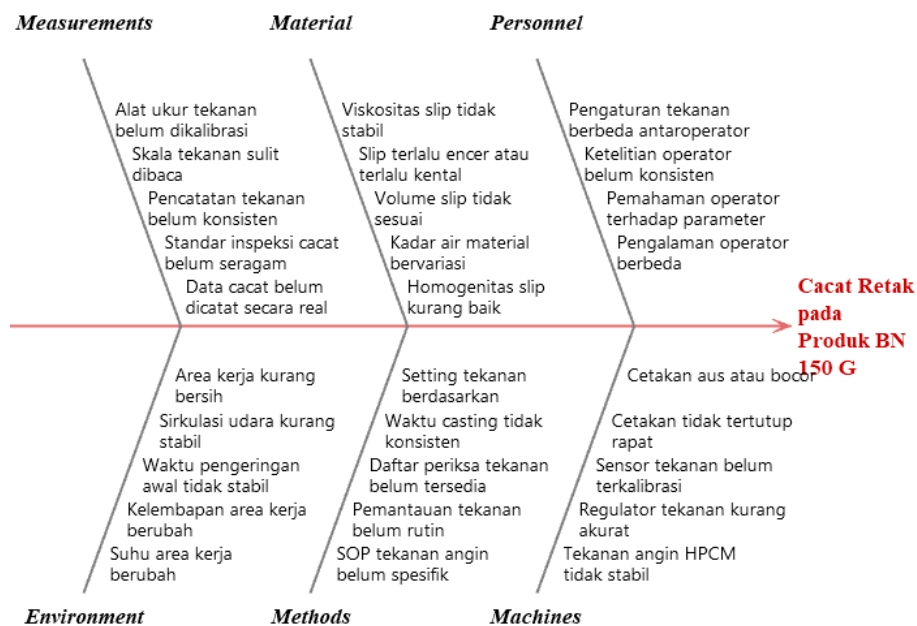
Gambar 3. Diagram *Pareto* Jenis Cacat Produk BN 150 G

Sumber: Data produksi PT RII (2025), diolah menggunakan Minitab 21 oleh penulis (2026).

Berdasarkan Tabel 6, tiga jenis cacat utama, yaitu retak bagian depan, retak bagian bawah, dan retak bagian atas, memberikan kontribusi kumulatif sebesar 83% terhadap total cacat. Temuan ini sejalan dengan prinsip Pareto (80/20), sehingga perbaikan difokuskan pada ketiga jenis cacat tersebut. Diagram Pareto digunakan untuk mengidentifikasi jenis cacat yang paling dominan (Evans & Lindsay, 2020; Montgomery, 2009). Secara proses, cacat retak berkaitan dengan kestabilan pembentukan produk, distribusi tekanan, kondisi material, dan kondisi cetakan pada HPCM.

Analisis akar penyebab dilakukan menggunakan *fishbone diagram* berdasarkan faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketidakstabilan tekanan angin merupakan penyebab paling dominan karena berhubungan langsung dengan proses pembentukan produk. Tekanan yang terlalu rendah menyebabkan pembentukan tidak sempurna, sedangkan tekanan yang terlalu tinggi meningkatkan risiko retak akibat tegangan berlebih. Pemetaan akar penyebab ditunjukkan pada Gambar 4.

Diagram Sebab-Akibat Cacat Retak pada Proses HPCM



Gambar 4. Diagram Sebab-Akibat Cacat Retak pada Proses HPCM

Sumber: Pengolahan data, (2025)

Selanjutnya, FMEA digunakan untuk menentukan prioritas risiko kegagalan. Metode ini mengevaluasi potensi kegagalan berdasarkan tingkat keparahan dampak (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*) untuk menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) (Carlson, 2012; Stamatis, 2019). Hasil FMEA menunjukkan bahwa ketidakstabilan tekanan angin memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 576. Nilai ini diperoleh dari skor *severity* 9, *occurrence* 8, dan *detection* 8. Artinya, ketidakstabilan tekanan angin memiliki dampak yang tinggi terhadap kualitas produk, cukup sering terjadi, dan belum mudah dideteksi secara konsisten sebelum menyebabkan cacat.

Tabel 7. Ringkasan Hasil FMEA

No	Penyebab Potensial	Dampak	S	O	D	RPN
1	Tekanan angin tidak stabil	Produk retak, deformasi, dan bentuk tidak sempurna	9	8	8	576
2	Cetakan tidak tertutup rapat	Bentuk tidak presisi dan dimensi berubah	8	7	6	336
3	<i>Slip</i> terlalu encer atau terlalu kental	Ketebalan tidak sesuai dan permukaan retak	8	6	7	336
4	Volume <i>slip</i> tidak sesuai	<i>Overfill</i> atau <i>underfill</i>	7	6	7	294
5	Waktu <i>casting</i> tidak sesuai standar	Produk retak atau deformasi	8	6	6	288

Sumber: Hasil observasi, wawancara, dan analisis penulis (2026).

Berdasarkan Tabel 7, tekanan angin tidak stabil menjadi prioritas utama perbaikan karena memiliki nilai RPN tertinggi. Hasil ini memperkuat dugaan bahwa tekanan angin merupakan parameter proses kritis pada area HPCM. Integrasi *Six Sigma* dan FMEA dinilai efektif karena *Six Sigma* mampu mengukur kapabilitas proses, sedangkan FMEA membantu menentukan prioritas risiko perbaikan berdasarkan tingkat kritis penyebab kegagalan (Godina et al., 2021; Putri et al., 2025). Oleh karena itu, faktor tekanan angin perlu divalidasi melalui eksperimen agar rekomendasi perbaikan tidak hanya didasarkan pada observasi dan penilaian risiko, tetapi juga didukung oleh data eksperimen.

Tahap *Improve* dilakukan menggunakan DOE untuk menguji tiga level tekanan angin, yaitu 2 bar, 3 bar, dan 4 bar. DOE digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variasi faktor proses terhadap respons kualitas secara sistematis dan menentukan kombinasi parameter yang menghasilkan kinerja terbaik (Montgomery, 2009; Pons Murguía et al., 2016).



Gambar 5. Skema Pelaksanaan Uji Tekanan pada *High Pressure Casting Machine* (HPCM)

Sumber: Disusun oleh penulis berdasarkan prosedur penelitian (2026).

Respons yang diamati adalah jumlah cacat dan proporsi cacat pada setiap level tekanan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan 3 bar menghasilkan rata-rata cacat dan proporsi cacat paling rendah dibandingkan tekanan 2 bar dan 4 bar.

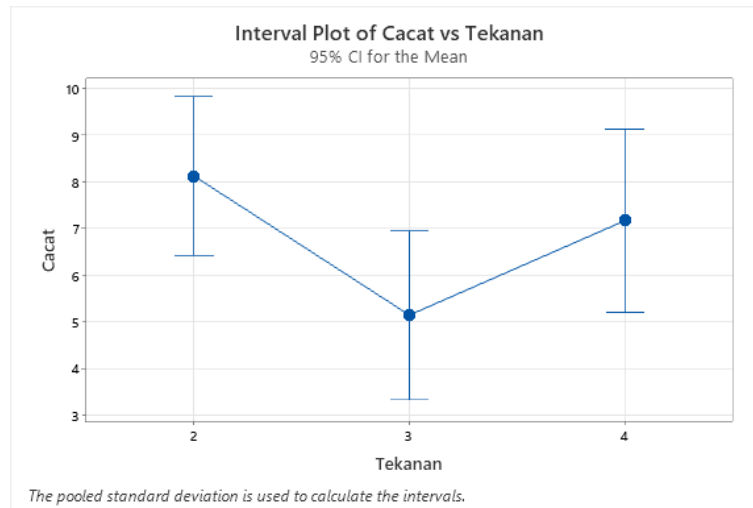
Tabel 8. Ringkasan Hasil DOE Tekanan Angin

Tekanan Angin	Jumlah Percobaan	Total Produksi (unit)	Total Cacat (unit)	Rata-rata Cacat	Proporsi Cacat (%)
2 bar	8	420	65	8,1	15,48
3 bar	7	374	36	5,1	9,63
4 bar	6	362	43	7,2	11,88

Sumber: Hasil eksperimen penulis di PT RII (2026).

Berdasarkan Tabel 8, tekanan 3 bar menghasilkan proporsi cacat terendah sebesar 9,63%. Pada tekanan 2 bar, proporsi cacat mencapai 15,48%, sedangkan pada tekanan 4 bar sebesar 11,88%. Kondisi

ini menunjukkan bahwa tekanan terlalu rendah maupun terlalu tinggi sama-sama dapat meningkatkan risiko cacat. Temuan ini sejalan dengan prinsip optimasi parameter proses dalam DOE, yaitu bahwa perubahan level faktor proses dapat menghasilkan respons kualitas yang berbeda dan perlu diuji secara empiris sebelum ditetapkan sebagai standar proses (Montgomery, 2009; Omprakas et al., 2020). Tekanan 3 bar menghasilkan proporsi cacat terendah pada kondisi eksperimen yang dilakukan, sehingga dipilih sebagai parameter optimum untuk tahap implementasi. Perbedaan rata-rata jumlah cacat pada masing-masing level tekanan divisualisasikan melalui *interval plot* pada Gambar 5 untuk memperlihatkan kecenderungan respons terhadap perubahan tekanan udara.



Gambar 5. Interval Plot Rata-Rata Cacat Berdasarkan Tekanan Angin

Sumber: Hasil analisis menggunakan Minitab 21, diolah penulis (2026).

Berdasarkan Gambar 5, tekanan 3 bar memiliki rata-rata cacat paling rendah dibandingkan tekanan 2 bar dan 4 bar. Pola ini menunjukkan bahwa tekanan 3 bar memberikan kondisi proses yang lebih stabil dalam pembentukan produk pada area HPCM. Meskipun hasil *One-Way* ANOVA belum menunjukkan perbedaan rata-rata cacat yang signifikan pada taraf 5%, visualisasi tersebut tetap mendukung kecenderungan bahwa tekanan 3 bar menghasilkan jumlah cacat paling rendah. Oleh karena itu, hasil visual ini perlu dibaca bersama dengan hasil uji statistik pada Tabel 9.

Hasil pengujian statistik ditampilkan pada Tabel 9. *One-Way* ANOVA digunakan untuk membandingkan rata-rata jumlah cacat antarlevel tekanan, sedangkan uji *Chi-Square* digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara level tekanan angin dan status produk cacat atau tidak cacat.

Tabel 9. Hasil Uji Statistik Pengaruh Tekanan Angin terhadap Cacat

Uji Statistik	Statistik Uji	df	p-value	Keputusan
<i>One-Way</i> ANOVA terhadap jumlah cacat	F = 3,24	2;18	0,063	Tidak signifikan pada $\alpha = 0,05$
<i>Pearson Chi-Square</i> terhadap proporsi cacat	$\chi^2 = 6,371$	2	0,041	Signifikan pada $\alpha = 0,05$
<i>Likelihood Ratio Chi-Square</i>	$\chi^2 = 6,359$	2	0,042	Signifikan pada $\alpha = 0,05$

Sumber: Hasil analisis menggunakan Minitab 21, diolah penulis (2026).

Berdasarkan Tabel 9, hasil *One-Way* ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan rata-rata jumlah cacat antarlevel tekanan belum signifikan pada taraf 5%, dengan *p-value* sebesar 0,063. Namun, hasil uji *Chi-Square* menunjukkan adanya hubungan signifikan antara level tekanan angin dan proporsi cacat, dengan *p-value* sebesar 0,041. *One-Way* ANOVA digunakan untuk membandingkan rata-rata antarperlakuan, sedangkan uji *Chi-Square* digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara kategori perlakuan dan status produk (cacat atau tidak cacat) ketika data dinyatakan dalam bentuk frekuensi (Montgomery, 2009). Dalam penelitian ini, jumlah produk yang dihasilkan pada setiap level tekanan tidak sama sehingga analisis berdasarkan proporsi cacat lebih representatif dibandingkan perbandingan

rata-rata jumlah cacat. Oleh karena itu, hasil uji *Chi-Square* digunakan sebagai dasar utama dalam penarikan kesimpulan.

Berdasarkan hasil DOE dan uji statistik, tekanan 3 bar ditetapkan sebagai parameter tekanan angin optimum pada proses HPCM. Secara teknis, tekanan 3 bar memberikan keseimbangan yang lebih baik dalam pembentukan produk. Tekanan 2 bar cenderung belum cukup untuk menghasilkan distribusi material yang stabil, sedangkan Tekanan 4 bar diduga meningkatkan tegangan selama proses pembentukan sehingga pada kondisi penelitian ini menghasilkan proporsi cacat yang lebih tinggi dibandingkan tekanan 3 bar. Hal ini menjelaskan mengapa proporsi cacat pada tekanan 3 bar lebih rendah dibandingkan dua level tekanan lainnya.

Tahap *Control* dilakukan dengan menyusun rekomendasi pengendalian proses. Rekomendasi perbaikan difokuskan pada standarisasi tekanan angin 3 bar, penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP), penggunaan daftar periksa inspeksi harian, pemeliharaan preventif pada sistem pneumatik, serta pelatihan operator. Rekomendasi tersebut diperlukan agar parameter tekanan angin optimum dapat diterapkan secara konsisten dalam aktivitas produksi harian.

Untuk mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan, dilakukan perbandingan indikator kapabilitas proses antara kondisi *baseline* dan setelah implementasi tekanan udara optimum sebagaimana disajikan pada Tabel 10. Data *baseline* merupakan data historis produksi aktual sebelum dilakukan analisis penyebab cacat dan implementasi tindakan perbaikan, sedangkan data implementasi diperoleh pada periode observasi setelah parameter optimum diterapkan. Oleh karena itu, jumlah produksi pada kedua tahap tidak sama, dan evaluasi difokuskan pada perubahan indikator kapabilitas proses (*Defect per Unit* (DPU), *Defect per Opportunity* (DPO), *Defects per Million Opportunities* (DPMO), dan *level sigma*), bukan pada kesamaan jumlah sampel.

Tabel 10. *Baseline* Kinerja Proses Produksi BN 150 G Periode Januari–Juni 2025

Bulan	Produksi (unit)	Defect (unit)	Persentase Defect (%)
Januari	1.084	81	7,47
Februari	900	55	6,11
Maret	1.019	98	9,62
April	823	83	10,09
Mei	799	85	10,64
Juni	435	32	7,36
Total	5.060	434	8,58

Sumber: Data produksi PT RII (2025–2026), diolah penulis (2026).

Berdasarkan data historis tersebut diperoleh nilai *Defect per Unit* (DPU) sebesar 0,0858, *Defect per Opportunity* (DPO) sebesar 0,0214, *Defects per Million Opportunities* (DPMO) sebesar 21.400, dan *level sigma* sebesar 3,52. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kapabilitas proses masih berada pada tingkat menengah sehingga masih terdapat peluang perbaikan terhadap cacat retak (*crack defect*). Selanjutnya, analisis dilakukan menggunakan diagram Pareto, *fishbone diagram*, dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi akar penyebab cacat. Setelah penyebab utama cacat diidentifikasi melalui FMEA, dilakukan optimasi parameter proses menggunakan *Design of Experiment* (DOE). Faktor yang diuji adalah tekanan udara HPCM, yaitu 2 bar, 3 bar, dan 4 bar. Eksperimen dilakukan sebanyak 21 kali untuk memperoleh tekanan optimum dengan jumlah cacat terendah. Data hasil percobaan kemudian direkap sebagai dasar analisis statistik pada tahap berikutnya.

Tabel 11. Rekapitulasi Percobaan DOE

Parameter	Nilai
Jumlah Percobaan	21
Total Produksi	1.156 unit
Total Defect	154 unit
Variasi Tekanan	2 bar, 3 bar, dan 4 bar

Sumber: Data produksi PT RII (2025–2026), diolah penulis (2026).

Hasil analisis DOE menunjukkan bahwa tekanan udara sebesar 3 bar menghasilkan kinerja proses terbaik sehingga dipilih sebagai parameter proses standar pada tahap implementasi. Setelah tekanan udara optimum sebesar 3 bar diperoleh melalui DOE, parameter tersebut diterapkan pada proses

produksi aktual sebagai bagian dari tahap *Control* dalam siklus DMAIC. Evaluasi dilakukan terhadap hasil produksi selama periode implementasi Februari 2026 untuk mengetahui efektivitas tindakan perbaikan.

Tabel 12. Hasil Evaluasi Implementasi Tekanan Udara Optimum

Indikator	Nilai
Jumlah Produksi	1.280 unit
Jumlah <i>Defect</i>	87 unit
DPU	0,0680
DPO	0,0170
DPMO	17.000
<i>Yield</i>	93,20 %
<i>Level sigma</i>	3,62

Sumber: Data produksi PT RII (2025–2026), diolah penulis (2026).

Implementasi tekanan udara sebesar 3 bar menghasilkan penurunan jumlah cacat dibandingkan dengan kondisi baseline. Selain menurunkan jumlah cacat, hasil implementasi juga menunjukkan bahwa parameter tekanan udara 3 bar mampu menghasilkan proses yang lebih stabil dibandingkan kondisi sebelum perbaikan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa variasi proses dapat dikurangi melalui pengendalian tekanan udara yang lebih konsisten. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan nilai DPU, DPO, dan DPMO, serta peningkatan level sigma dari 3,52 menjadi 3,62. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa tindakan perbaikan yang dihasilkan melalui integrasi Six Sigma, FMEA, dan DOE mampu meningkatkan kapabilitas proses produksi BN 150 G. Meskipun peningkatan level sigma belum terlalu besar, hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan parameter tekanan udara optimum memberikan perbaikan yang konsisten terhadap kinerja proses produksi.

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi *Six Sigma*, FMEA, dan DOE memberikan pendekatan yang saling melengkapi dalam pengukuran kapabilitas proses, penentuan prioritas risiko, dan validasi parameter proses. Dalam integrasi tersebut, *Six Sigma* digunakan untuk mengukur kapabilitas proses melalui DPMO dan *level sigma*, FMEA digunakan untuk menentukan prioritas penyebab cacat berdasarkan nilai RPN, sedangkan DOE digunakan untuk memvalidasi parameter proses secara eksperimental. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa penggabungan metode pengukuran kualitas, analisis risiko, dan eksperimen mampu menghasilkan rekomendasi perbaikan yang lebih kuat secara empiris (Godina et al., 2021; Ratayasa et al., 2026).

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil ini memperkuat temuan bahwa *Six Sigma* dan FMEA efektif untuk mengidentifikasi cacat dominan dan menentukan prioritas perbaikan pada proses manufaktur (Godina et al., 2021; Putri et al., 2025). Namun, penelitian ini memberikan kontribusi tambahan karena menggunakan DOE untuk memvalidasi tekanan angin sebagai parameter proses kritis pada HPCM. Konteks ini penting karena proses HPCM pada industri *sanitary ware* memiliki karakteristik berbeda dari proses manufaktur umum, terutama karena kualitas produk keramik sangat dipengaruhi oleh kestabilan tekanan, kondisi cetakan, karakteristik material, dan proses pengeringan awal. Kajian pada *ceramic sanitaryware* juga menunjukkan bahwa cacat pada proses pembentukan dapat memengaruhi kualitas produk akhir secara signifikan (Coskun et al., 2023; Gomez et al., 2023).

Secara praktis, hasil penelitian memberikan dasar bagi PT RII untuk menetapkan tekanan angin 3 bar sebagai standar proses pada produksi *closet* jongkok BN 150 G. Standardisasi parameter proses diperlukan agar hasil perbaikan tidak hanya menjadi rekomendasi teknis, tetapi dapat diterapkan secara konsisten dalam aktivitas produksi harian. Namun, tekanan angin tidak dapat dipandang sebagai satu-satunya faktor yang menentukan kualitas produk. Perbaikan berkelanjutan tetap perlu mempertimbangkan kondisi cetakan, karakteristik *slip*, waktu *casting*, kemampuan operator, dan kondisi lingkungan kerja agar penurunan cacat dapat dicapai secara lebih stabil (Coskun et al., 2023; Desole et al., 2024).

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM) pada produksi closet jongkok tipe BN 150 G di PT RII memiliki tingkat cacat retak sebesar 8,58%, melebihi batas toleransi perusahaan sebesar 4%. Kondisi awal proses menghasilkan nilai *Defects per Million*

Opportunities (DPMO) sebesar 21.400 dengan *level sigma* 3,52. Hasil *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menunjukkan bahwa ketidakstabilan tekanan angin merupakan penyebab risiko paling kritis dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebesar 576. Validasi menggunakan *Design of Experiment* (DOE) menunjukkan bahwa tekanan angin 3 bar menghasilkan proporsi cacat terendah sebesar 9,63% dan memiliki hubungan yang signifikan dengan status cacat berdasarkan uji *Chi-Square* ($p\text{-value} = 0,041$). Setelah implementasi perbaikan, tingkat cacat menurun menjadi 6,80%, nilai DPMO menurun menjadi 17.000, dan *level sigma* meningkat menjadi 3,62. Dengan demikian, integrasi *Six Sigma*, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dan *Design of Experiment* (DOE) meningkatkan kapabilitas proses serta mendukung pengurangan cacat retak pada proses *High Pressure Casting Machine* (HPCM).

Penelitian selanjutnya disarankan memperluas ruang lingkup analisis dengan mempertimbangkan faktor proses lain yang berpotensi memengaruhi cacat retak, seperti waktu *casting*, kondisi cetakan, karakteristik slip, suhu, dan kelembapan lingkungan. Selain itu, penggunaan *Design of Experiment* (DOE) multifaktor serta data dengan periode pengamatan yang lebih panjang atau pada beberapa lini produksi diharapkan dapat mengidentifikasi interaksi antarvariabel proses sekaligus meningkatkan generalisasi hasil penelitian.

Daftar Pustaka

- Carlson, C. S. (2012). *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis* (1st Editio). John Wiley & Sons.
- Coskun, N. D., Casin, E., & Isik, C. E. (2023). Investigation Of Defects Occurring In The Casting Shop Process Of Ceramic Sanitaryware On The Final. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 527–534. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1347161>
- Desole, M. P., Fedele, L., Gisario, A., & Barletta, M. (2024). Life Cycle Assessment (LCA) of ceramic sanitaryware : focus on the production process and analysis of scenario. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(2), 1649–1670. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05074-6>
- Dumitrascu, D. (2024). *Failure Modes and Effects Analysis for Automotive Trim Parts Processing* †. 4–9.
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2020). *Total Quality Management*.
- Godina, R., Gomes, B., Silva, R., & Espadinha-cruz, P. (2021). applied sciences A DMAIC Integrated Fuzzy FMEA Model : A Case Study in the Automotive Industry.
- Gomez, R. S., Gomes, K. C., & Gurgel, J. M. A. M. (2023). Investigating the Drying Process of Ceramic sanitary ware at Low Temperature.
- Gurcan, G. ozden. (2026). *Black Sea Journal of Engineering and Science ANALYSIS FOR RISK ASSESSMENT*. 1420–1431. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1802773>
- Hartono, Frenando, M., & Supono, J. (2025). Optimasi Proses Produksi Keramik Lantai 60x60 Granite Menggunakan Metode Lean Six Sigma Di Pabrik Keramik Tangerang. 10(1), 25–36.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
- Jou, Y., Silitonga, R. M., Lin, M., & Sukwadi, R. (2022). Application of Six Sigma Methodology in an Automotive Manufacturing Company : A Case Study. 1–27.
- Kunduraci, N., & Aydin, T. (2015). (The Pr oduction of Ultr a-Thin FFC Sink by I ncr easing Resistance of FFC Cer amic Sanitar ywar e of Semi-Finished and Finished Cooked). 30, 30–33.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to statistical Quality Control* (8st ed.).
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014). *Applied Statistics and Probability for Engineers*.
- Omprakas, M. A., Muthukumar, M., Saran, S. P., Ranjithkumar, D., Kumar, C. M. S., Venkatesh, S. T., & Sengottuvelan, M. (2020). Analysis of Shrinkage Defect in Sand Casting by Using Six Sigma Method with Taguchi Technique Analysis of Shrinkage Defect in Sand Casting by Using Six Sigma Method with Taguchi Technique. *ICMMM*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1059/1/012047>
- Pons Murguía, R. Á., Villa González del Pino, E. M., Bermúdez Villa, Y., & Hernández del Sol, J. (2016). Quality Improvement of a casting process using Design of Experiments. *Prospect*, 14(1), 47–53.
- Prasetyo, D. D., Ardhiyani, I. W., & Purnama, J. (2022). Pendekatan Six Sigma Untuk Analisis Kualitas Di Pt. Keramik Diamond Industries. 5, 1–9.
- Putri, A. S., Salam, A. A., Kholid, A., & Ghofari, A. (2025). *Quality Control Analysis in the Production*

- of Decorative Resin Lamps Using the Six Sigma and Failure Mode and Effect Analysis Methods. Engineering Proceedings*, 84(30).
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2018). *The Six Sigma Handbook*. <https://studentebookhub.com/wp-content/uploads/2024/preview/9781260121827.pdf>
- Ratayasa, I. G., Baskoro, G., & Pratama, A. T. (2026). *An integrated Six Sigma-fuzzy AHP-DOE framework for optimizing porosity defect in low pressure die casting. TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika*, 13(2), 429–441.
- Rukmana, A. N., Nurrahman, A. A., Selamat, S., & Abdillah, S. (2024). *Enhancing reliability in garment manufacturing through FMEA and FTA. Acta Logistica*, 11(4), 579–587. <https://doi.org/10.22306/al.v11i4.548>
- Sharma, G. V. S. S., Rao, P. S., & Babu, B. S. (2018). *Process capability Improvement through DMAIC for aluminum alloy wheel machining. Journal of Industrial Engineering International*, 14(2), 213–226. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0220-z>
- Sharma, P., Malik, S. C., Gupta, A., & Jha, P. C. (2018). *A DMAIC Six Sigma approach to Quality Improvement in the anodising stage of the amplifier production process. International Journal of Quality and Reliability Management*, 35(9), 1868–1880. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2017-0155>
- Solanki, M., & Desai, D. (2020). *Competitive advantage through Six Sigma in sand casting industry to Improve overall first-pass yield: a case study of SSE. https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2020-0032*
- Stamatis, D. H. (2019). *Risk Management Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) (2st Editio). ASQ Quality Press*.
- Sudarwati, W., & Wijaya, A. (2015). *Penggunaan Metode Six Sigma Dalam Upaya Menurunkan Cacat Mengalir (Flow Out) Ke Metal Finish (Dept Body Welding) Di PT . ADM Press-Plant. Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 2(2), 9–18.
- Sujova, A., SimANOVA, L., & Marcinekova, K. (2016). *Sustainable Process Performance by Application of Six Sigma Concepts: The Research Study of Two Industrial Cases. https://doi.org/10.3390/su8030260*
- Ullah, A., Shah, P., Bhuiyan, A., Noman, K., & Ul, W. (2024). *Defects and remedies in casting processes: a combinatorial approach between manual and digital optimization technique for enhanced Quality casting. In Discover Mechanical Engineering. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/s44245-024-00067-2*

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT RII yang telah memberikan izin dan dukungan data dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Industri Universitas Tangerang Raya serta pihak produksi dan pengendalian kualitas yang telah membantu proses observasi, pengumpulan data, dan pelaksanaan eksperimen.