



STRATEGI PENGURANGAN PRODUK CACAT PADA PENGELASAN PROJECT BAHADOPI DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SIX SIGMA* STUDI KASUS DI SALAH SATU PERUSAHAAN DI CILEGON

Quality Improvement Strategies for Reducing Welding Defects in the Bahadopi Project Using the Six Sigma Method: A Case Study in Cilegon

Juju Adhiwikarta¹, Muhammad Fadli², Hadi Setiawan³, Dewandaru

Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Al-khairiyah Jl. KH Enggus Arja No. 1 Citangkil Cilegon
42441 Tep (0254) 787813947.

Email : jujuadhiwikarta@gmail.com, hadisetiawan@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to formulate defect reduction strategies in the welding process of the Bahodopi Project at a company in Cilegon using the *Six sigma* approach. Welding is often a critical point in determining product quality, where various types of defects can significantly impact the final result. The research was conducted using a descriptive qualitative approach based on inspection data collected over 16 weeks, and data analysis was carried out through the DMAIC stages (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control). The analysis revealed that the most dominant defects were porosity, cluster porosity, spatter, and undercut, with the main root causes being human and method factors. A five-week simulation of improvement showed a significant reduction in DPMO, from 26,500 to 4,900, and an increase in sigma level from 3.12 to 4.03. Based on the *fishbone* and pareto diagrams, several defect reduction strategies were formulated, including retraining of welding operators, strengthening SOP implementation, enhancing visual supervision, and conducting regular maintenance of welding machines. This research is expected to serve as a reference for improving welding quality and minimizing defects in future fabrication projects.

Keywords: *Six sigma*, Welding, Defective Products, DMAIC, DPMO, Defect Reduction Strategy

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan strategi pengurangan produk cacat pada proses pengelasan dalam proyek Bahodopi di salah satu perusahaan di cilegon dengan menggunakan pendekatan metode *Six sigma*. Proses pengelasan sering kali menjadi titik kritis dalam kualitas produk, di mana ditemukan berbagai jenis cacat yang mempengaruhi mutu hasil akhir. Penelitian dilakukan dengan pendekatan deskriptif kualitatif berdasarkan data inspeksi selama 16 minggu, serta analisis data melalui tahapan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*). Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis cacat dominan yang terjadi adalah *porosity*, *cluster porosity*, *spatter*, dan *undercut*, dengan faktor penyebab utama berasal dari aspek manusia dan metode. Simulasi perbaikan dilakukan selama 5 minggu dan menunjukkan penurunan nilai DPMO secara signifikan, dari 26.500 menjadi 4.900, serta peningkatan level sigma dari 3,12 menjadi 4,03. Berdasarkan analisis *fishbone* dan pareto diagram, dirumuskan beberapa strategi pengurangan cacat, antara lain pelatihan ulang operator, penguatan implementasi SOP, peningkatan pengawasan visual, serta pemeliharaan berkala terhadap mesin pengelasan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam meningkatkan kualitas pengelasan dan menurunkan tingkat kecacatan pada proyek-proyek selanjutnya.

Kata Kunci: *Six sigma*, Pengelasan, Produk Cacat, DMAIC, DPMO, Strategi Pengurangan

PENDAHULUAN

Dalam industri konstruksi baja, proses pengelasan merupakan tahapan kritis yang sangat menentukan kekuatan, keandalan, dan keselamatan

struktur. Kualitas hasil pengelasan yang tidak memenuhi standar dapat menimbulkan berbagai jenis cacat, seperti *porosity*, *undercut*, *spatter*, dan *incomplete fusion*, yang berpotensi menurunkan daya

dukung struktur serta meningkatkan risiko kegagalan mekanis (Montgomery, 2009; Taylor et al., 2020). Selain berdampak pada aspek keselamatan, tingginya tingkat cacat pengelasan juga menyebabkan meningkatnya biaya produksi akibat *rework*, pemborosan material, serta keterlambatan penyelesaian proyek (Revelle, 2004; Basuki, 2020).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pengendalian kualitas pengelasan masih menjadi tantangan utama dalam industri fabrikasi baja. Faktor penyebab kecacatan umumnya berasal dari aspek manusia, metode kerja, mesin, material, maupun kondisi lingkungan kerja (Ishikawa, 1985; Setiawan, 2017; Wibowo, 2020). Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan pengendalian kualitas yang sistematis, terstruktur, dan berbasis data untuk mengidentifikasi akar penyebab cacat serta merumuskan strategi perbaikan yang efektif dan berkelanjutan (Gaspersz, 2002).

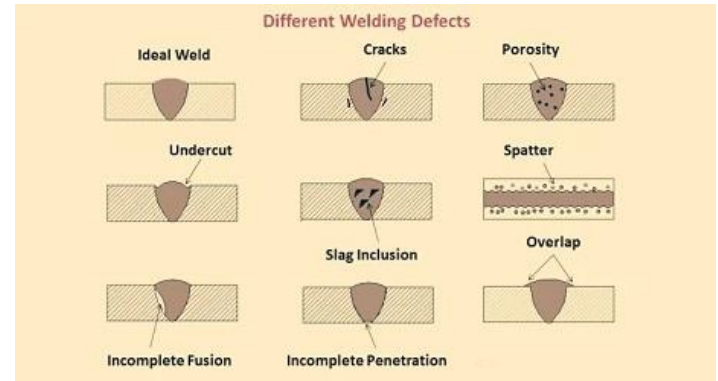
Six Sigma merupakan salah satu metodologi peningkatan kualitas yang telah banyak diterapkan di berbagai sektor industri manufaktur dan konstruksi. Metode ini berfokus pada pengurangan variasi proses dan penurunan tingkat kecacatan melalui pendekatan berbasis data statistik (Antony & Banuelas, 2002; Pande et al., 2000). Tahapan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*) dalam Six Sigma menyediakan kerangka kerja yang komprehensif untuk mendefinisikan permasalahan, mengukur kinerja proses, menganalisis penyebab utama kecacatan, merumuskan perbaikan, serta menjaga keberlanjutan peningkatan kualitas (Gaspersz, 2007; Pyzdek & Keller, 2014). Sejumlah studi terdahulu membuktikan bahwa penerapan Six Sigma mampu menurunkan nilai *Defects Per Million Opportunities* (DPMO) secara signifikan serta meningkatkan level sigma proses produksi (Sokovic et al., 2010; Sunder & Kunnath, 2019).

Proyek Bahodopi sebagai salah satu proyek fabrikasi baja berskala besar memiliki tuntutan kualitas pengelasan yang tinggi karena berhubungan langsung dengan kekuatan struktur dan keselamatan operasional. Namun demikian, berdasarkan hasil inspeksi kualitas, masih ditemukan berbagai jenis cacat pengelasan yang berpotensi mempengaruhi mutu produk. Kondisi ini menunjukkan perlunya evaluasi dan pengendalian kualitas pengelasan yang lebih terstruktur agar tingkat kecacatan dapat ditekan secara optimal (Suprpto, 2020).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kecacatan pengelasan serta merumuskan strategi pengurangan produk cacat pada Proyek Bahodopi menggunakan metode Six Sigma melalui pendekatan DMAIC.

Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi praktis dalam peningkatan kualitas pengelasan serta menjadi referensi ilmiah bagi penerapan Six Sigma pada industri konstruksi baja.

Tingginya angka cacat ini tidak hanya berdampak pada penurunan produktivitas tetapi juga meningkatkan biaya produksi akibat banyaknya produk yang harus diperbaiki atau bahkan dibuang, beberapa jenis cacat pada pengelasan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Beberapa jenis cacat pengelasan
(Sumber: Logamceper.com 2023)

Rumusan Masalah

Dari Latar Belakang Peneliti merumuskan 3 rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa besar tingkat cacat pada pengelasan di proyek Bahadopi?
2. Apa penyebab utama cacat tersebut?
3. Bagaimana strategi pengurangan produk cacat dengan metode *Six sigma*?

Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini disusun sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian serta sebagai dasar untuk mencapai hasil yang diharapkan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi factor utama penyebab cacat pada pengelasan di proyek bahadopi
2. Menganalisis tingkat cacat pada pengelasan proyek Bahadopi.
3. Menyusun strategi pengurangan cacat berdasarkan metode *Six sigma*.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam meningkatkan kualitas proses pengelasan melalui penerapan metode *Six sigma*, khususnya dalam mengidentifikasi jenis cacat dominan, akar penyebab kecacatan, serta penyusunan strategi pengurangan cacat yang terstruktur dan berbasis data. Secara teoretis, penelitian ini memperkaya kajian penerapan metodologi *Six sigma* dengan pendekatan DMAIC

pada industri konstruksi baja, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam pengendalian kualitas proses fabrikasi dan pengelasan.

Batasan Penelitian

Batasan Penelitian merujuk pada batasan – batasan yang di berlakukan pada sebuah penelitian untuk mengatur ruang lingkup, waktu, objek, atau variabel yang akan di teliti. berikut batas pada penelitian ini :

1. Penelitian hanya berfokus pada proses pengelasan di proyek Bahadopi.
2. Metode analisis yang digunakan terbatas pada pendekatan *Six sigma* dengan tahapan *DMAIC*.

3. Penelitian ini tidak mencakup implementasi langsung di lapangan, seluruh usulan perbaikan perbaikan disusun berdasarkan hasil analisis dan simulasi menggunakan metode *six sigma*.

4. Penelitian ini hanya mencapai tahap improve karena penelitian ini hanya menganalisa dan memberikan usulan perbaikan untuk perusahaan berdasarkan analisis yang dibuat dengan metode *Six sigma*.

LANDASAN TEORI

Penelitian Terdahulu

Adapun dari penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Penulis (tahun)	Judul Artikel	Jurnal	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Novitasari et al.	Analisis Pelaksanaan <i>Quality Control</i> dengan Pendekatan <i>Six sigma</i> .	Business and Economics Conference in Utilization of Modern Technology Magelang, 8 Agustus 2023 e-ISSN: 2828-0725	Metode penelitian menggunakan metode <i>six sigma</i>	Penelitian ini menguji efektivitas metode <i>Six sigma</i> dalam pendekatan <i>quality control</i>
2	Rosyidasar et al.	Implementasi <i>Six sigma</i> Dalam Pengendalian Kualitas Produk <i>Refined Bleached Deodorized Palm Oil</i> .	Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya Vol 6 No 2 Desember 2020.	Metode penelitian menggunakan <i>Six sigma</i> dan FMEA.	Penelitian ini berfokus pada penggunaan <i>Six sigma</i> untuk pengendalian kualitas produk.
3	Widodo et al.	<i>Benefits of the Six sigma Method (DMAIC) and Implementation Suggestion in the Defense Industry: A Literature Review</i> .	International Journal Of Social and Management Studies (IJOSMAS) Vol. 3 No. 3 (2022)	Metode yang di gunakan dalam penelitian ini adalah <i>DMAIC</i> .	Dalam penelitian berisikan tentang keuntungan menggunakan metode pendekatan <i>dmaic</i> yang berada di dalam <i>six sigma</i> .
4	Mulia et al.	Pengendalian Kualitas Pengelasan Menggunakan Metode <i>Statistical Quality Control (SQC)</i> Dan <i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i> Di PT. PAL INDONESIA.	Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi Vol. 02, No. 06, Tahun 2021.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>statistical quality control</i> dan <i>failure mode effect analysis (FMEA)</i> .	Analisis berbagai metode pengendalian kualitas di perusahaan manufaktur.
5	Riyadin et al.	Analisa Pabrikasi Tugboat Kualitas Pengelasan <i>Flux Cored Arc Welding (FCAW)</i> pada fabrikasi tugboat 23 M, Hull 302.	Sigma Teknika, Vol.3, No.1 : 39-49 Juni 2020.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Teknik pengelasan <i>fcaw</i> .	penelitian ini menganalisis pengaruh penggunaan pengelasan FCAW serta ke efektifan dari kualitas pengelasan FCAW.

Tinjauan Pustaka

Six sigma

Six sigma merupakan metodologi peningkatan kualitas berbasis data yang bertujuan untuk mengurangi variasi proses dan menurunkan tingkat kecacatan hingga mendekati nol. Pendekatan ini menekankan pengendalian proses melalui pengukuran kinerja, analisis statistik, serta perbaikan berkelanjutan guna meningkatkan kapabilitas proses produksi. Dalam konteks industri manufaktur dan konstruksi, *Six sigma* digunakan sebagai alat strategis untuk meningkatkan kualitas produk, efisiensi operasional, serta konsistensi proses.

Kinerja proses dalam *Six sigma* umumnya diukur menggunakan indikator *Defects Per Million Opportunities* (DPMO) dan level sigma, yang menggambarkan kemampuan suatu proses dalam menghasilkan produk sesuai spesifikasi. Semakin rendah nilai DPMO dan semakin tinggi level sigma, semakin baik kapabilitas proses yang dihasilkan.

Metodologi DMAIC

DMAIC merupakan kerangka kerja utama dalam penerapan *Six sigma* yang terdiri dari lima tahap, yaitu *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*, dan *Control*. Tahap *Define* berfokus pada identifikasi permasalahan dan ruang lingkup proses yang dianalisis. Tahap *Measure* bertujuan untuk mengukur kinerja proses dan tingkat kecacatan berdasarkan data aktual. Tahap *Analyze* digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama kecacatan melalui analisis data. Tahap *Improve* diarahkan pada penyusunan dan pemilihan alternatif perbaikan proses. Tahap *Control* berfungsi untuk memastikan bahwa perbaikan yang telah dirancang dapat dipertahankan secara berkelanjutan.

Dalam penelitian ini, penerapan DMAIC difokuskan hingga tahap *Improve*, mengingat penelitian bertujuan untuk menganalisis tingkat kecacatan dan merumuskan usulan perbaikan tanpa melakukan implementasi langsung di lapangan.

Alat Analisis dalam *Six sigma*

Beberapa alat analisis yang umum digunakan dalam pendekatan *Six sigma* dan relevan dengan penelitian ini meliputi peta kendali (*control chart*), diagram Pareto, dan diagram sebab-akibat (*fishbone*). Peta kendali digunakan untuk memantau stabilitas proses dan mengidentifikasi penyimpangan kinerja. Diagram Pareto digunakan untuk menentukan jenis cacat dominan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total kecacatan. Diagram sebab-akibat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor

penyebab utama kecacatan berdasarkan aspek manusia, metode, mesin, dan material.

Penggunaan alat-alat tersebut memungkinkan analisis yang terstruktur dalam mengidentifikasi permasalahan kualitas serta merumuskan strategi pengurangan cacat secara sistematis dan berbasis data.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan dukungan analisis kuantitatif. Pendekatan ini digunakan untuk menganalisis tingkat kecacatan pengelasan serta mengidentifikasi faktor penyebab utama kecacatan berdasarkan data inspeksi dan hasil observasi lapangan. Metode *Six Sigma* digunakan sebagai kerangka analisis untuk mengevaluasi kinerja proses dan merumuskan usulan perbaikan kualitas.

Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder yang diperoleh melalui beberapa teknik berikut:

1. Observasi langsung, dilakukan untuk mengamati proses pengelasan, kondisi lingkungan kerja, serta jenis cacat yang terjadi pada hasil pengelasan di area fabrikasi.
2. Wawancara, dilakukan dengan staf Quality Control untuk memperoleh informasi terkait penyebab kecacatan, prosedur inspeksi, serta standar pengelasan yang diterapkan.
3. Dokumentasi, berupa data inspeksi pengelasan, foto hasil cacat las, serta dokumen pendukung lainnya yang relevan dengan penelitian.

Unit pengamatan dalam penelitian ini adalah titik pengelasan, bukan produk secara keseluruhan. Setiap titik las dihitung sebagai satu unit inspeksi. Apabila dalam satu titik terdapat lebih dari satu jenis cacat, maka tetap dihitung sebagai satu titik cacat. Pendekatan ini digunakan agar perhitungan proporsi cacat, DPU, DPMO, dan level sigma konsisten dengan karakteristik proses pengelasan.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan metode *Six Sigma* dengan pendekatan DMAIC (*Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*). Penelitian ini dibatasi hingga tahap *Improve* karena tidak mencakup implementasi dan evaluasi hasil perbaikan di lapangan.

Tahap *Define*

Pada tahap ini dilakukan pemetaan proses pengelasan menggunakan diagram SIPOC untuk

mengidentifikasi alur proses, pihak terkait, serta ruang lingkup permasalahan kualitas.

Tahap Measure

Tahap ini bertujuan untuk mengukur kinerja proses pengelasan berdasarkan data inspeksi. Aktivitas yang dilakukan meliputi:

- Penentuan *Critical to Quality (CTQ)*
- Perhitungan proporsi cacat
- Penyusunan peta kendali P
- Perhitungan DPU, DPMO, dan level sigma

Proporsi cacat dihitung menggunakan persamaan:

$$p = \frac{np}{n}$$

Nilai DPMO diperoleh dari:

$$DPMO = DPU \times 1.000.000$$

Karena unit inspeksi berupa titik pengelasan dan setiap titik dianggap memiliki satu peluang cacat, maka jumlah CTQ diasumsikan bernilai satu.

Level sigma dihitung menggunakan pendekatan distribusi normal sebagai berikut:

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

Tahap Analyze

Pada tahap ini dilakukan analisis penyebab kecacatan menggunakan diagram Pareto untuk menentukan jenis cacat dominan serta diagram *fishbone* untuk mengidentifikasi akar penyebab kecacatan berdasarkan faktor manusia, metode, mesin, dan material.

Tahap Improve

Tahap *Improve* difokuskan pada penyusunan usulan perbaikan berdasarkan hasil analisis tahap sebelumnya. Usulan perbaikan dirumuskan dalam bentuk rekomendasi tindakan yang bertujuan untuk menurunkan tingkat kecacatan pengelasan dan meningkatkan kapabilitas proses.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Unit pengamatan dalam penelitian ini adalah titik pengelasan. Setiap titik dihitung sebagai satu unit inspeksi, dan apabila dalam satu titik terdapat lebih dari satu jenis cacat, tetap dihitung sebagai satu titik cacat. Pendekatan ini digunakan agar perhitungan proporsi cacat, DPU, DPMO, dan level sigma konsisten dengan karakteristik proses pengelasan.

Gambaran Jenis Kecacatan

Berdasarkan hasil inspeksi, jenis cacat dominan yang ditemukan pada proses pengelasan meliputi porosity, cluster porosity, spatter, undercut,

crack, dan incomplete fusion. Cacat porosity dan cluster porosity merupakan cacat yang paling sering terjadi dan tidak dapat ditoleransi karena berpotensi menurunkan kekuatan sambungan las. Dokumentasi visual digunakan untuk mendukung identifikasi jenis cacat, sedangkan analisis kuantitatif dilakukan berdasarkan data inspeksi mingguan.

Struktur Bahadopi yang di inspeksi

1. Rafter

Pada struktur baja, rafter berfungsi sebagai penahan beban atap dan memperkuat struktur rangka baja. *Rafter* juga membantu dalam menstabilkan bangunan dan menjaga integritas struktur dari guncangan dan beban angin yang berlebihan, gambar *Rafter* dapat di lihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rafter Structure bahadopi
(Sumber: Data diolah 2025)

2. Baja Kolom

Kolom baja adalah anggota struktur vertikal yang digunakan dalam konstruksi untuk memberikan dukungan penting. Kolom baja dapat menahan beban dalam bentuk kompresi atau dapat memindahkan beban dari balok, langit-langit, pelat lantai atau pelat atap ke lantai atau fondasi, dapat di lihat pada gambar 3.



Gambar 3. Baja Kolom
(Sumber: Data diolah 2025)

3. Bracing

Bracing adalah komponen struktural yang digunakan dalam konstruksi bangunan untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitasnya. Bracing biasanya terbuat dari bahan yang kuat seperti baja dan ditempatkan secara strategis di dalam struktur bangunan, dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Foto bracing structure bahadopi
(Sumber: Data diolah 2025)

4. **Plate**

Plat baja adalah material yang penting dan serbaguna dalam industri konstruksi dan manufaktur. Dengan berbagai jenisnya, termasuk baja karbon rendah, baja karbon tinggi, baja paduan, baja galvanis, dan baja tahan karat, plat baja dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek, dapat di lihat dalam gambar 5.



Gambar 5. Foto Plate Untuk Proyek Bahadopi
(Sumber : Data diolah 2025)

Gambaran jenis Kecacatan

Untuk memperjelas jenis kecacatan yang ditemukan selama proses pengelasan pada proyek yang diteliti, berikut ditampilkan dokumentasi visual dari hasil inspeksi langsung di lapangan. Gambar ini menunjukkan salah satu contoh sambungan las yang mengalami cacat berupa *porosity* dan *cluster porosity*, yang merupakan dua jenis cacat paling dominan berdasarkan hasil analisis data selama 16 minggu.



Gambar 6. Gambar Jenis Cacat Poros Cluster

(Sumber: Data diolah 2025)

Cacat las *porosity/cluster porosity* bisa terjadi di bagian *root* ataupun di bagian *capping*. Termasuk ke dalam cacat las yang tidak bisa di tolerir, karena bisa menyebabkan keruntuhan pada pondasi Bangunan.

Ciri-Ciri dari *Cluster Porosity* adalah :

1. Bentuk dan ukuran : *Cluster porosity* biasanya muncul sebagai sekelompok pori-pori kecil yang berdekatan, sering kali berbentuk bulat atau oval.
2. Deteksi : Dapat dideteksi melalui pengujian radiografi, di mana *cluster porosity* akan terlihat sebagai bayangan gelap pada gambar radiografi atau bisa juga dengan metode visual seperti pada Gambar 6.



Gambar 7. Gambar Porositas
(Sumber: Data diolah 2025)

Cacat porositas adalah cacat pengelasan yang ditandai dengan adanya lubang-lubang kecil pada logam las, baik di permukaan maupun di dalamnya. Ciri-cirinya antara lain :

1. Bentuk dan Ukuran : Cacat porositas biasanya muncul sebagai lubang-lubang kecil yang berbentuk bulat atau oval.
2. Deteksi : hampir sama seperti *Cluster Porosity* cara mendeteksinya hanya beda bentuk pada cacatnya saja dapat di lihat pada Gambar 7.

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan metode *Six Sigma* melalui tahapan *Define*, *Measure*, *Analyze*, dan *Improve*.

Tahap Define

Tahap *Define* dilakukan dengan pemetaan proses pengelasan menggunakan diagram SIPOC untuk mengidentifikasi pemasok, input, proses, output, dan pelanggan. Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode GTAW dan SMAW, dengan output berupa hasil pengelasan struktur baja yang selanjutnya diperiksa oleh *Quality Control*.

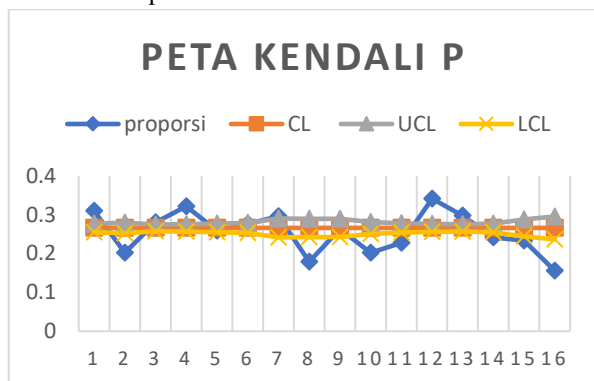
Tabel 2. Hasil inspeksi pengelasan

No	Total Inspeksi	Total Weld Defect
1	116	36
2	99	20
3	150	42
4	140	45
5	116	30
6	116	29
7	54	16

Tahap Measure

Tahap Measure bertujuan untuk mengukur kinerja proses pengelasan berdasarkan data inspeksi selama 16 minggu. Data yang dikumpulkan berupa jumlah titik inspeksi dan jumlah titik yang mengalami cacat. Hasil pengukuran digunakan untuk menghitung proporsi cacat, DPU, DPMO, dan level sigma.

Berdasarkan hasil pengukuran CTQ, jenis cacat dengan frekuensi tertinggi adalah *porosity* (180 kasus) dan *spatter* (141 kasus), diikuti *cluster porosity*, *undercut*, *crack*, dan *incomplete fusion*. Nilai rata-rata DPMO awal sebesar 53.182 dengan level sigma 3,11, yang menunjukkan bahwa kapabilitas proses pengelasan masih berada pada tingkat sedang dan memerlukan perbaikan.



Gambar 8. Peta Kendali P
(Sumber: Data diolah 2025)

Tahap Analyze

Tahap *Analyze* dilakukan dengan menggunakan diagram Pareto dan diagram *fishbone*. Diagram Pareto menunjukkan bahwa lebih dari 75% kecacatan berasal dari cacat *porosity* dan *spatter*. Diagram *fishbone* mengidentifikasi bahwa penyebab utama kecacatan berasal dari faktor manusia dan metode kerja, diikuti oleh kondisi mesin, material, dan lingkungan kerja.

Diagram Pareto

Data yang diolah untuk mengetahui presentase jenis produk yang cacat di hitung dengan rumus dibawah :

8	56	10
9	57	15
10	89	18
11	110	25
12	129	44
13	141	42
14	120	29
15	60	14
16	45	7

$$\text{Kerusakan} = \frac{\text{Jumlah kerukan jenis}}{\text{Jumlah total kerusakan}} \times 100\%$$

Presentase jenis produk yang di tolak antara lain sebagai berikut :

1. Cacat *porosity* dengan jumlah 180 :

$$\text{Kerusakan} = \frac{180}{422} \times 100\% = 42,65\%$$

2. Cacat *Spatter* dengan Jumlah 141 :

$$\text{Kerusakan} = \frac{141}{422} \times 100\% = 33,41\%$$

3. Cacat *Cluster Porosity* dengan Jumlah 44 :

$$\text{Kerusakan} = \frac{44}{422} \times 100\% = 10,43\%$$

4. Cacat *Undercut* dengan jumlah 41 :

$$\text{Kerusakan} = \frac{41}{422} \times 100\% = 9,72\%$$

5. Cacat *Crack* dengan jumlah 11 :

$$\text{Kerusakan} = \frac{11}{422} \times 100\% = 2,61\%$$

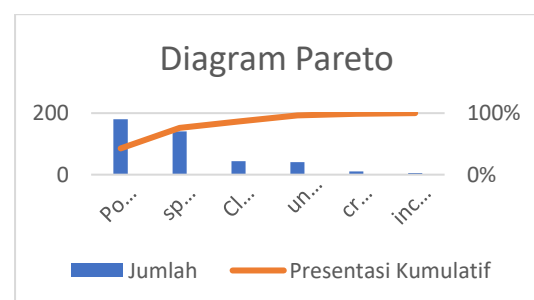
6. Cacat *Incomplete Fusion* dengan jumlah 5 :

$$\text{Kerusakan} = \frac{5}{422} \times 100\% = 1,18\%$$

Tabel 3. Perhitungan Presentase kumulatif

No	Jenis Weld Defect	Jumlah	Presentasi	Presentasi Kumulatif
1	<i>Porosity</i>	180	42,65%	42,65%
2	<i>spatter</i>	141	33,41%	76,07%
3	<i>Cluster Porosity</i>	44	10,43%	86,49%
4	<i>undercut</i>	41	9,72%	96,21%
5	<i>crack</i>	11	2,61%	98,82%
6	<i>inc fusion</i>	5	1,18%	100,00%
Total		422	100,00%	

(Sumber: Data diolah 2025)

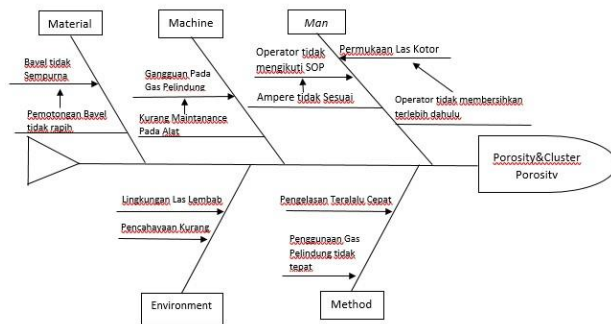


Gambar 9. Diagram pareto Weld Defect
(Sumber: Data diolah 2025)

Dari tabel 3. dan Diagram Pareto dapat terlihat, masih ada beberapa kecacatan yang besar presentasinya seperti cacat *porosity* sebesar 42% dengan jumlah 180 *Defect* kemudian cacat *spatter* dengan presentase sebesar 33% dengan jumlah 141 *Defect*, dari situ bisa dilihat bahwa harus dilakukan usaha pengendalian kualitas supaya kualitas bisa di tingkatkan.

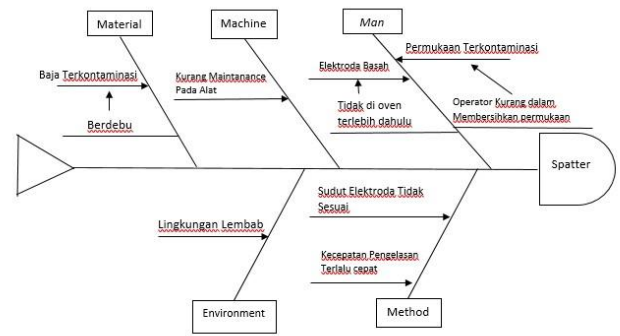
Diagram Fishbone

Setelah Diketahui Jenis Kecacatan yang akan di teliti maka perlu ada pengambilan langkah - langkah perbaikan untuk mencegah timbulnya kerusakan yang serupa, hal ini penting dilakukan dan di telusuri adalah mencari penyebab timbulnya kerusakan tersebut, penanganan pada 5 penyebab utama dengan menggunakan diagram sebab-akibat untuk menelusuri kecacatan yang terjadi adalah sebagai berikut :



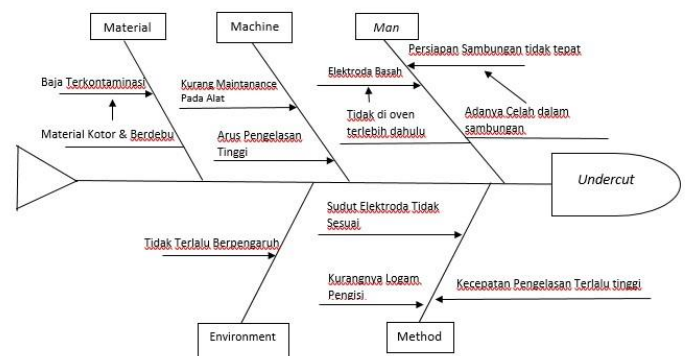
Gambar 10. Fish Bone cacat Porosity & Cluster Porosity
(Sumber: Data diolah 2025)

- Man (manusia)** : pada cacat di atas kesalahan dari operator adalah kurang teliti dalam membersihkan permukaan pengelasan dan operator tidak mengikuti SOP untuk Suhu Amperenya
- Machine (mesin)** : penyebab cacat porosity di atas untuk bagian mesin kurangnya maintance sehingga tidak optimal pada saat pengelasan.
- Material** : pemotongan bravel pada material kurang rapi sehingga, bentuk bavel tidak rata dan sempurna untuk dilakukan pengelasan.
- environment (lingkungan)** : lingkungan pada saat proses pengelasan cenderung lembab dan proses pengelasan juga tidak menggunakan pelindung sehingga banyak angin berhembus di permukaan pengelasan dan pencahayaann pada saat proses pengelasan kurang.
- Method (metode)** : penggunaan gas pelindung yang tidak tepat dan tidak sesuai standart sehingga menyebabkan cacat, lalu kecepatan dalam ayunan saat mengelas juga terlalu tinggi dan terburu-buru.



Gambar 11. Fishbone cacat spatter
(Sumber: Data diolah 2025)

- Man (manusia)** : operator kurang teliti membersihkan permukaan las dan operator kurang ahli dalam mengatur jarak elektroda dengan permukaan las sehingga elektroda terlalu jauh dari permukaan pengelasan.
- Machine (mesin)** : penyebab cacat spatter mesin yang kurang terawat karena kurangnya maintenance pada alat pengelasan.
- Material** : material terkontaminasi karena banyak debu pada material.
- environment (lingkungan)** : lingkungan pada saat proses pengelasan cenderung lembab dan proses pengelasan juga tidak menggunakan pelindung sehingga banyak angin berhembus di permukaan pengelasan.
- Method (metode)** : penggunaan gas pelindung yang tidak tepat dan tidak sesuai standart sehingga menyebabkan cacat, lalu kecepatan dalam ayunan saat mengelas juga terlalu tinggi dan terburu-buru.



Gambar 12. Fish Bone Undercut
(Sumber: Data diolah 2025)

- Man (manusia)** : operator kurang teliti dalam mempersiapkan sambungan pengelasan sehingga membuat celah pada sambungan yang dapat menyebabkan cacat Undercut lalu elektrodanya juga tidak di oven terlebih dahulu sehingga elektroda masih basah atau lembab.

- b. *Machine* (mesin) : Ampere yang terlalu besar sehingga Arus berlebihan menyebabkan logam dasar meleleh lebih banyak daripada yang dibutuhkan, sehingga menciptakan alur atau cekungan di tepi las.
- c. *Material* : penyimpanan material yang masih asal sehingga menjadikan kualitas dari material menjadi buruk.
- d. *Environment* (lingkungan) : untuk lingkungan tidak terlalu berpengaruh pada cacat *undercut*.
- e. *Method* (metode) : sudut elektroda pada saat pengelasan tidak sesuai hingga menyebabkan *Undercut* dan kurangnya logam pengisi pada permukaan pengelasan sehingga menimbulkan celah di permukaan pengelasan lalu ayunan tangan saat proses pengelasan terlalu cepat.

Tahap Improve

Berdasarkan hasil analisis, dirumuskan usulan perbaikan yang berfokus pada:

Strategi Pengurangan

Berdasarkan hasil analisis diagram Pareto, diketahui bahwa jenis cacat yang paling dominan pada Proyek Bahodopi adalah *porosity* dan *spatter*. Selanjutnya, analisis diagram *fishbone* menunjukkan bahwa penyebab utama kedua jenis cacat tersebut berasal dari faktor manusia (*man*) dan metode kerja (*method*). Oleh karena itu, strategi pengurangan cacat difokuskan pada perbaikan aspek kompetensi operator dan konsistensi penerapan prosedur kerja.

Strategi pengurangan cacat yang diusulkan meliputi:

1. Pelatihan ulang operator pengelasan, dengan penekanan pada penguasaan teknik pengelasan dan pengaturan parameter proses sesuai standar, guna meminimalkan terjadinya cacat *porosity* dan *spatter*.
2. Monitoring dan evaluasi berkala terhadap penerapan SOP, untuk memastikan seluruh operator menjalankan prosedur pengelasan secara konsisten sesuai ketentuan yang telah ditetapkan.
3. Penerapan checklist visual harian, yang mencakup pemeriksaan peralatan, posisi kerja, dan kualitas hasil las awal, sebagai upaya deteksi dini potensi cacat sebelum proses dilanjutkan.
4. Peningkatan pengawasan oleh Quality Control, khususnya pada jam kerja kritis seperti shift malam atau saat beban kerja tinggi, untuk mengurangi risiko kelalaian operator.
5. Penjadwalan perawatan rutin mesin dan peralatan pengelasan, termasuk pengecekan kondisi arus, gas pelindung, dan kawat las, dengan interval maksimal setiap tiga bulan guna menjaga stabilitas proses.

- pelatihan ulang operator pengelasan,
- penguatan penerapan SOP,
- perawatan rutin mesin las,
- perbaikan metode kerja dan pengendalian lingkungan pengelasan.

Untuk mengevaluasi efektivitas usulan perbaikan, dilakukan simulasi perbaikan selama lima minggu. Hasil simulasi menunjukkan penurunan jumlah cacat menjadi 15 kasus dari 510 inspeksi, dengan nilai DPMO turun menjadi 739,21 dan rata-rata level sigma meningkat menjadi 4,41. Hasil ini menunjukkan potensi peningkatan kapabilitas proses yang signifikan apabila usulan perbaikan diterapkan secara konsisten. jumlah cacat menjadi 15 kasus dari 510 inspeksi, dengan nilai DPMO turun menjadi 739,21 dan rata-rata level sigma meningkat menjadi 4,41. Hasil ini menunjukkan potensi peningkatan kapabilitas proses yang signifikan apabila usulan perbaikan diterapkan secara konsisten.

Penerapan strategi-strategi tersebut diharapkan mampu menurunkan frekuensi cacat *porosity* dan *spatter* secara signifikan, serta meningkatkan konsistensi dan mutu hasil pengelasan secara keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa cacat *porosity* dan *spatter* merupakan jenis cacat dominan pada proses pengelasan Proyek Bahodopi. Penyebab utama kecacatan berasal dari ketidakkonsistenan teknik operator, penerapan metode kerja yang belum optimal, serta kondisi peralatan dan lingkungan kerja.

Hasil simulasi perbaikan memperlihatkan tren penurunan DPMO yang signifikan dan peningkatan level sigma secara bertahap. Hal ini menunjukkan bahwa strategi perbaikan yang diusulkan memiliki potensi kuat untuk diterapkan pada kondisi lapangan proyek konstruksi yang dinamis. Dibandingkan kondisi awal dengan level sigma 3,11, peningkatan menjadi 4,41 mencerminkan perbaikan kapabilitas proses yang substansial.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa metode Six Sigma efektif dalam menurunkan tingkat kecacatan proses. Perbedaan utama penelitian ini terletak pada objek penelitian yang dilakukan pada proyek pengelasan lapangan, bukan lingkungan pabrik, serta penggunaan data inspeksi mingguan dan simulasi perbaikan untuk mengevaluasi potensi peningkatan kualitas secara praktis.

PENUTUP

KESIMPULAN

1. Faktor utama penyebab cacat pengelasan pada Proyek Bahodopi berasal dari faktor manusia dan metode kerja, terutama ketidakkonsistenan penerapan SOP serta pengaturan parameter pengelasan yang kurang tepat.
2. Tingkat kecacatan pengelasan tergolong cukup tinggi, dengan 422 cacat dari 1.587 titik inspeksi, menghasilkan DPU 0,2659, DPMO 53.182, dan level sigma 3,11, yang menunjukkan kapabilitas proses masih perlu ditingkatkan.
3. Strategi pengurangan cacat berhasil disusun menggunakan metode *Six Sigma* (DMAIC) dan menunjukkan potensi efektivitas, dengan hasil simulasi menurunkan DPMO menjadi 739 dan meningkatkan level sigma menjadi 4,41.

SARAN

1. Penerapan SOP pengelasan perlu diperkuat melalui pengawasan dan evaluasi rutin.
2. Pelatihan ulang operator pengelasan perlu dilakukan secara berkala untuk meningkatkan konsistensi kualitas.
3. Pemeliharaan mesin dan pengendalian lingkungan kerja pengelasan perlu dijadwalkan secara rutin.
4. Penelitian selanjutnya disarankan mengimplementasikan strategi perbaikan secara langsung di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Antony, J. (2006). Six Sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12(2), 234–248.
- Antony, J., & Banuelas, R. (2002). Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. *Measuring Business Excellence*, 6(4), 20–27.
- Basuki, H. (2020). Pengendalian kualitas pengelasan dengan metode statistik. *Jurnal Teknologi Manufaktur*, 12(2), 85–92.
- Dale, B. G., Van der Wiele, T., & Van Iwaarden, J. (2007). *Managing quality*. Blackwell Publishing.
- Feigenbaum, A. V. (1991). *Total quality control* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Foster, S. T. (2007). *Managing quality: Integrating the supply chain*. Pearson Education.
- Gaspersz, V. (2002). *Total quality management*. Gramedia Pustaka Utama.
- Gaspersz, V. (2007). *Lean Six Sigma untuk manufaktur dan jasa*. Gramedia Pustaka Utama.
- Gitlow, H. S., Oppenheim, A., & Levine, D. M. (2005). *Quality management*. McGraw-Hill.
- Haryadi, D. (2021). Analisis Six Sigma dalam menurunkan produk cacat. *Jurnal Rekayasa Industri*, 10(1), 45–53.
- Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control? The Japanese way*. Prentice Hall.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Kume, H. (1985). *Statistical methods for quality improvement*. AOTS.
- Lazim, H. M. (2008). *Quality control: Applications in the garments industry*. Penerbit UUM.
- Marimin. (2005). *Teknik dan aplikasi pengambilan keputusan kriteria majemuk*. Grasindo.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to statistical quality control* (6th ed.). Wiley.
- Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). *The Six Sigma way*. McGraw-Hill.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2014). *The Six Sigma handbook* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Raharjo, H. (2012). Konsep Six Sigma untuk peningkatan kinerja proses. *ITB Journal of Engineering Science*, 44(3), 201–210.
- Ramadhani, A. (2020). Evaluasi kualitas las pada struktur baja. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(2), 67–75.
- Revelle, J. B. (2004). *Manufacturing handbook of best practices*. CRC Press.
- Roesnita, I., & Santoso, D. (2019). Penerapan Six Sigma pada proses produksi. *Jurnal Teknologi dan Industri*, 11(1), 33–41.
- Ross, J. E. (1999). *Total quality management: Text, cases, and readings*. CRC Press.
- Sallis, E. (2010). *Total quality management in education* (3rd ed.). Routledge.
- Setiawan, B. (2017). Analisis cacat las menggunakan diagram Pareto dan fishbone. *Jurnal Teknologi Mesin*, 9(2), 55–62.
- Siregar, F. (2018). Penerapan metode DMAIC dalam pengendalian mutu. *Jurnal Teknik Industri*, 13(1), 23–31.
- Sokovic, M., Pavletic, D., & Kern Pipan, K. (2010). Quality improvement methodologies – PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 43(1), 476–483.
- Sugiyono. (2018). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sunder, M. V., & Kunnath, G. (2019). Evolution of Six Sigma from statistical tools to a management philosophy. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 36(2), 168–187.
- Suprpto, H. (2020). Penerapan Six Sigma dalam industri konstruksi baja untuk mengurangi produk cacat. *Jurnal Teknik Konstruksi*, 8(3), 34–49.

Tague, N. R. (2005). *The quality toolbox*. ASQ Quality Press.

Taylor, C., Green, L., & Harris, D. (2020). Impact of welding parameters on defects detection in welds. *Materials Testing Journal*, 27(3), 58–71.

Wibowo, A. (2020). Analisis statistik pada proses pengelasan baja. *Jurnal Rekayasa Produksi*, 7(1), 14–22.

Widodo, A., & Soediantono, D. (2022). Benefits of the Six Sigma method (DMAIC) and implementation in the defense industry: A literature review. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 32(1), 1–10.