

ANALISIS KUALITAS HASIL PENGELOMAN MENGGUNAKAN METODE SIX SIGMA GUNA MENURANGI WELD DEFECT

Febrianice^{*1}, Dutho Suh Utomo²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Universitas Mulawarman
Jalan Sambaliung No. 9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda
e-mail: ^{*1}febrianice@gmail.com, ²dutho@ft.unmul.ac.id

ABSTRACT

Welding is a method used to join metals. If a weld is of poor quality, it can become a weak point in a structure or component, potentially leading to structural failure or serious accidents. Quality inspection is necessary to ensure that the welds meet safety standards and can support the expected loads. However, welding often results in imperfections or defects that require repair. Therefore, the author conducted an analysis of the welding results using the Six Sigma method to identify common defects and assess the performance of the welding process, with the aim of proposing corrective actions. The goal of these improvements is to reduce the number of weld defects and achieve a higher sigma level. The research identified three common types of defects in water wall tube welding: porosity, cluster porosity, and worm holes. The baseline DPMO (Defects Per Million Opportunities) value found was 16,116.04, with an average sigma level of 3.73, indicating 16,116.04 defects per one million opportunities, which is on par with the average industry standard in Indonesia. Consequently, the author recommends implementing improvements using the PDCA (Plan-Do-Check-Act) method to increase the sigma level and reduce the DPMO value by 61.47%, resulting in an average of 1 defect per joint per day. These improvements also have the potential to save costs, enhance time efficiency, and improve workplace safety and health.

Key Words : Six Sigma, PDCA, DPMO, Quality, Welding

ABSTRAK

Proses pengelasan adalah metode untuk menghubungkan logam. Jika sambungan las tidak berkualitas, ini dapat menjadi titik lemah dalam struktur atau komponen, berpotensi menyebabkan kegagalan struktural atau kecelakaan serius. Pemeriksaan kualitas diperlukan untuk memastikan bahwa sambungan las mematuhi standar keselamatan dan mampu menahan beban yang diharapkan. Namun, sering kali ditemukan hasil pengelasan yang kurang sempurna atau cacat, sehingga perlu dilakukan perbaikan. Untuk itu, penulis melakukan analisis hasil pengelasan menggunakan metode Six Sigma untuk mengidentifikasi jenis cacat yang sering terjadi serta menilai kinerja proses pengelasan, agar dapat mengusulkan tindakan perbaikan. Tujuan perbaikan ini adalah mengurangi jumlah cacat las dan mencapai nilai sigma yang lebih tinggi. Hasil Penelitian didapatkan tiga jenis cacat umum pada pengelasan water wall tube, yaitu porosity, cluster porosity, dan worm hole. Nilai DPMO (baseline) yang didapatkan adalah 16.116,04 dengan rata-rata nilai sigma 3,73, yang menunjukkan 16.116,04 kemungkinan cacat per satu juta kesempatan dan masih setara dengan rata-rata industri di Indonesia. Oleh karena itu, penulis merekomendasikan perbaikan dengan metode PDCA untuk meningkatkan level sigma dan menurunkan nilai DPMO sebesar 61,47%, sehingga rata-rata jumlah cacat yang terjadi menjadi 1 joint per hari. Perbaikan ini juga berpotensi menghemat biaya, meningkatkan efisiensi waktu, serta meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja.

Kata Kunci :Six Sigma, PDCA, DPMO, Kualitas, Pengelasan

1. PENDAHULUAN

Pada pengendalian kualitas terdapat prinsip yang digunakan yaitu melakukan upaya untuk mencapai dan meningkatkan proses produksi dengan melakukan inspeksi secara terus-menerus. Data dari inspeksi digunakan untuk mengendalikan serta meningkatkan kualitas proses dan kualitas produk sehingga pada gilirannya proses produksi memiliki kemampuan untuk memenuhi spesifikasi produk yang diinginkan oleh pelanggan (Lestari dan Purwatmini 2021)

Boiler batu bara merupakan alat penghasil uap (*steam*) yang selanjutnya berfungsi sebagai tenaga penggerak turbin. Uap tersebut terjadi akibat adanya pemanasan air menggunakan panas dari pembakaran batu bara dan pasir silika di *furnace*. Selama proses pembakaran tersebut, tidak jarang terjadi gesekan atau benturan batu bara/pasir terhadap dinding *water wall tube* karena faktor aliran udara selama pembakaran sehingga mengakibatkan penipisan hingga kebocoran. Penipisan ini sering terjadi di area elevasi 14.000-19.000 sisi Utara pada *water wall tube* tidak jarang tube-tube yang berada di area ini membutuhkan perbaikan.

Tahap perbaikan *water wall tube* tersebut dilakukan dengan melalui beberapa proses, dimulai dari pengukuran *thickness* tube, *scanning* titik potong tube, memotong tube lama dan *insert* tube baru dengan melakukan pengelasan, memeriksa hasil pengelasan dengan metode NDT yaitu *radiography test*, lalu dilanjutkan dengan *insert* membran tube dengan cara dilas dan dilakukan pemeriksaan juga menggunakan metode *penetrant test*. Kemudian, tahap final perbaikan yaitu dengan melakukan *hydrotest*.

Analisis penelitian ini dilakukan terhadap hasil inspeksi pengelasan tube yang menggunakan metode *radiography test*. Pengelasan menjadi hal yang penting dalam proses perbaikan agar tube dapat bekerja kembali dengan baik. Metode pengelasan yang digunakan pada *water wall tube* yaitu GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). Dalam prosesnya, diketahui masih terdapat hasil pengelasan yang tidak sempurna atau cacat sehingga perlu dilakukan *repair*. Analisis pengendalian risiko kualitas dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan metode Six Sigma (Akbar *et al.* 2024). Six Sigma dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa kualitas dengan prinsip *define, measure, analyze, improve* dan *control* (DMAIC) (Riyadi *et al.* 2024). Metodologi ini menekankan pentingnya perbaikan berkelanjutan, pengambilan keputusan berdasarkan data, dan pengurangan cacat untuk meningkatkan kualitas produk, proses, dan layanan (Raja Sreedharan dan Raju 2016). Oleh sebab itu, melakukan analisis terhadap hasil pengelasan dengan menggunakan metode *Six Sigma* untuk dapat mengetahui jenis cacat yang sering terjadi dan tingkat performa proses pengelasan, sehingga dapat diberikan usulan tindakan perbaikan. Tujuan dari perbaikan ini agar mengurangi jumlah *weld defect* dan mencapai nilai sigma yang lebih tinggi dari sebelumnya.

2. TINJAUAN LITERATUR

Pengendalian kualitas dilakukan untuk memastikan bahwa kebijakan pada hal kualitas (standar) dapat tercermin dalam hasil akhir, atau dengan kata lain sebuah usaha untuk mempertahankan kualitas agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan berdasarkan kebijakan pemimpin. Dalam menciptakan sebuah produk yang berkualitas sesuai standar, seringkali terdapat penyimpangan yang tidak dikehendaki oleh perusahaan sehingga menghasilkan kecacatan produk. Hal tersebut perlu diatasi dengan tindakan pengendalian kualitas agar mampu meminimalisir terjadinya kerusakan produk (*product defect*) sampai pada tingkat kerusakan nol (*zero defect*) (Ratnadi dan Suprianto 2016).

Six Sigma untuk pertama kali diperkenalkan oleh Motorola pada tahun 1986, dengan tujuan peningkatan kualitas menuju tingkat kegagalan nol (*Zero Defect*) dimana setiap kerusakan di data dan dianalisa dengan teknik statistik (Pande, dkk). Langkah-langkah

peningkatan terus menerus kualitas menuju target *Six Sigma* disebut dengan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*). Metodologi DMAIC harus dilakukan secara berurutan agar mencapai hasil yang diinginkan.

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan 2 (dua) cara yaitu dokumentasi dan wawancara. Dalam hal ini, dokumentasi adalah pengambilan data yang berasal dari informasi berbentuk dokumen atau arsip berisi jumlah pengelasan yang diperiksa dengan *radiography test*. Lalu, wawancara dilakukan terhadap beberapa karyawan inspeksi teknik dan *welder* untuk mengetahui penyebab-penyebab dari adanya kecacatan atau *weld defect*.

Pengolahan data mengacu pada langkah-langkah sistematis dalam metode *Six Sigma*, yakni DMAIC atau *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control* (Gaspersz 2002). Namun, cakupan kasus ini hanya sampai pada tahap *improve* karena hanya mengusulkan perbaikan dan tidak melihat hasil dari tindakan perbaikan. Adapun tahapan *Six Sigma* pada penelitian ini adalah:

1. Tahap *Define*

Tahap ini merupakan langkah pertama dalam peningkatan kualitas *Six Sigma*. Pada tahap *define* ini dilakukan pembuatan diagram SIPOC (*Suppliers, Input, Output, Customer*) untuk mengetahui peta proses pengelasan.

2. Tahap *measure*

Tahap ini merupakan pengukuran performa dari proses pengelasan berdasarkan data pengamatan yang telah diperoleh. Dalam tahap ini dilakukan penetapan dan pengukuran CTQ, nilai DPMO dan peta kendali P.

a. Peta Kendali P

Proporsi Cacat (p)

$$p = \frac{np}{n} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

$$\begin{aligned} p &= \text{proporsi cacat} \\ np &= \text{jumlah cacat per hari} \\ n &= \text{jumlah inspeksi per hari} \end{aligned}$$

b. Garis Tengah (GT)

$$GT = \frac{\sum np}{\sum n} \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

$$\begin{aligned} \sum np &= \text{total jumlah cacat} \\ \sum p &= \text{total jumlah inspeksi} \end{aligned}$$

c. Batas Kendali Atas (BKA)/Batas Kendali Bawah (BKB)

$$BKA = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \dots \dots \dots (3)$$

$$BKB = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \dots \dots \dots (4)$$

dimana:

\bar{p} = rata-rata atau garis tengah (GT)
 n = jumlah inspeksi per hari

d. Nilai DPMO

DPMO (*Defects Per Million Opportunities*) merupakan metrik penting dalam metodologi Six Sigma, yang menunjukkan jumlah cacat yang terjadi per satu juta peluang dalam pengembangan atau pembuatan suatu produk (Simanova dan Gejdoš 2021). Sasaran Six Sigma adalah mencapai tingkat 3,4 cacat per juta peluang, yang menunjukkan standar kinerja kualitas yang tinggi (Anthony 2017). Dengan memanfaatkan proses DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), organisasi dapat berupaya mengurangi nilai DPMO dan meningkatkan proses mereka (Mariana *et al.* 2023). Sangat penting untuk menghitung DPMO secara akurat karena berfungsi sebagai alat analisis kuantitatif dalam kerangka kerja Six Sigma, yang memungkinkan identifikasi area untuk peningkatan kualitas dan peningkatan kapabilitas proses secara keseluruhan (Fithri 2019)

$$DPO = \frac{\text{Jumlah cacat}}{\text{Jumlah inspeksi} \times CTQ} \dots \dots \dots (5)$$

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \dots \dots \dots (6)$$

3. Tahap *Analyze*

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap penyebab yang dapat menimbulkan kecacatan pada hasil pengelasan dengan menggunakan diagram *fishbone*. Diagram *fishbone* yaitu diagram yang menunjukkan akar penyebab dari suatu masalah yang tergambar sebagai tulang ikan, sedangkan akibatnya tergambar sebagai kepala ikan. Kemudian, tahap *improve* merupakan salah satu tahap untuk melakukan dan mengimplementasikan tindakan peningkatan atau perbaikan. Lalu, dilanjutkan dengan identifikasi potensial dari hasil perbaikan menggunakan metode QCDSHEM, yang merupakan metode manajemen untuk meningkatkan kinerja, kualitas dan efisiensi. Metode tersebut terdiri dari 7 aspek yaitu *quality, cost, delivery, safety and healthy*, dan *morale*. Dalam penyelesaian masalah, digunakan batasan-batasan masalah yang berfungsi untuk memberikan pengaturan terhadap ruang lingkup penelitian. Adapun batasan-batasan dalam penelitian ini, yaitu:

- a. Proses pengelasan terjadi dalam satu waktu yang sama,
- b. Kemampuan welder sama, dan
- c. Repair yang dilakukan adalah repair lokal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode *Six Sigma* melalui pendekatan DMAI yaitu *define, measure, analyze*, dan *improve*. Melalui metode ini akan diperoleh jenis *defect* yang sering terjadi dan penyebab *defect*, sehingga dapat diketahui usulan perbaikan yang tepat untuk mengurangi permasalahan tersebut menggunakan metode PDCA.

4.1 Tahap Define

Pada tahap *define* dilakukan analisis terhadap SIPOC. Diagram SIPOC berfungsi untuk mengidentifikasi proses. SIPOC merupakan singkatan dari *Suppliers, Inputs, Processes, Outputs, Customers*, di mana kelima faktor tersebut saling mempengaruhi dan membentuk suatu proses. Adapun diagram SIPOC dari proses pengelasan sebagai berikut.

1) *Supplier*

Kawat las berasal dari beberapa vendor *supplier* yang kemudian disimpan dalam gudang agar terjaga dengan baik.

2) *Input*

Kawat las merupakan salah satu instrumen yang diperlukan untuk pengelasan sehingga menjadi input dalam prosesnya. Selain itu, bahan yang akan dilas juga menjadi input terjadinya proses pengelasan. Dalam hal ini bahan yang akan dilas yaitu *water wall tube*.

3) *Process*

Proses pengelasan dapat dilakukan saat input telah terpenuhi. Proses juga dilakukan dengan metode atau alat yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu GTAW. Proses yang baik akan menghasilkan *output* yang baik juga, begitu sebaliknya.

4) *Output*

Proses pengelasan akan menghasilkan produk berupa hasil pengelasan. Setelah proses las telah selesai, perlu dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu.

5) *Customer*

Customer pada kasus ini yaitu pabrik yang membutuhkan perbaikan pada *water wall tube*, yaitu pabrik 6 (boiler batu bara).

4.2 Measure

a. Pengumpulan data inspeksi pengelasan.

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data defect pada pengelasan. Data yang dikumpulkan yaitu data dari jumlah satuan film hasil inspeksi yang telah dilakukan perusahaan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil inspeksi pengelasan menggunakan *Radiography Test*

No	Total Inspeksi	Total Weld Defect
1	116	15
2	99	12
3	150	14
4	140	27
5	116	7
6	116	14
7	54	5
8	56	7
9	57	2
10	26	2
11	44	4
12	88	4
13	129	5
14	20	1
15	30	1
Total	1.241	120

b. Identifikasi CTQ (Critical to Quality)

CTQ (*Critical to Quality*) merupakan ukuran-ukuran karakteristik kualitas yang berpotensi sebagai penyebab cacat dan penurunan *grade*. Adapun CTQ pada

permasalahan ini terdiri dari 6 (enam) yaitu *porosity*, *cluster porosity*, *wormhole*, *cracks*, *incomplete fusion*, dan *internal concavity*.

- 1) *Porosity*
Cacat pada hasil pengelasan yang berupa lubang kecil (pori) karena lingkungan las yang lembab, kampuh kotor, atau angin berhembus di permukaan las.
- 2) *Cluster Porosity*
Penyebab ini sama seperti dengan *porosity*, tetapi berupa beberapa lubang-lubang kecil (pori) yang berkumpul di satu area.
- 3) *Worm Hole*
Cacat pada hasil pengelasan yang berupa lubang kecil yang berada di dalam permukaan sehingga untuk melihatnya perlu bantuan alat pendeteksi.
- 4) *Cracks*
Cacat pada hasil pengelasan yang berupa garis retakan di luar permukaan pengelasan sehingga mudah untuk dideteksi secara langsung.
- 5) *Incomplete Fusion*
Cacat pada hasil pengelasan yang berupa kurangnya pengelasan pada suatu sisi sehingga material las tidak menyatu secara sempurna dengan material lain.
- 6) *Internal Concavity*
Cacat pada hasil pengelasan yang berupa bentuk cekung pada permukaan root atau akar las saat proses pembekuan.

Setelah *Critical to Quality* (CTQ) ditentukan, maka selanjutnya dilakukan pengukuran dengan berdasarkan hasil pengumpulan data yang telah diperoleh. Hasil pengukuran CTQ yang dapat dilihat dalam Tabel 2. Berdasarkan tabel, diketahui bahwa jenis *weld defect* yang memiliki jumlah terbanyak pertama yaitu *porosity* dengan total sebanyak 65. Selanjutnya, *weld defect* terbanyak kedua yaitu *cluster porosity* sebanyak 22, ketiga yaitu *worm hole* sebanyak 20, keempat yaitu *internal concavity* sebanyak 9, dan terakhir yaitu *cracks* dan *incomplete fusion* sebanyak 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran CTQ terhadap data

No	Total Inspeksi	Jumlah Weld Defect					Total	
		Porosity	Cluster Porosity	Worm Hole	Cracks	Incomplete Fusion		Internal Concavity
1	116	11	1				3	15
2	99	9	1				2	12
3	150	12		1			1	14
4	140	11	9	7				27
5	116	1	3	3			1	7
6	116	5	2	6				14
7	54	5					1	5
8	56	3	2	1				7
9	57	1	1					2
10	26	1	1					2
11	44	4						4
12	88	1	1					4
13	129	1	1	2	2	1		5
14	20					1		1
15	30						1	1
Total	1.241	65	22	20	2	2	9	120

c. Peta kendali P

Peta kendali P digunakan untuk mengevaluasi hasil data pengamatan yang telah diambil. Hasil dari peta ini juga akan mengidentifikasi penyimpangan yang terjadi pada

hasil pengelasan sehingga mahasiswa dapat mengambil kesimpulan terhadap pengendalian kualitas yang telah berjalan. Adapun perhitungan peta kendali P dapat dilihat sebagai berikut ini.

1) Proporsi cacat (p)

Proporsi cacat pada hasil pengelasan ini didapatkan dengan membagi jumlah dari pengelasan yang cacat (np) dengan jumlah inspeksi (n). Proporsi cacat pengelasan data ke-1 dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$p = \frac{15}{116} = 0,129$$

2) Garis Tengah (GT)

Nilai garis tengah atau Center Line (CL) didapatkan melalui membagi total pengelasan yang cacat ($\sum np$) dengan total inspeksi ($\sum n$). Nilai garis tengah dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$GT = \frac{120}{1241} = 0,097$$

3) Batas Kendali Atas (BKA)

Batas Kendali Atas atau *Upper Center Line* (UCL) pada hasil data pengamatan ke-1 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$BKA = 0,097 + 3 \sqrt{\frac{0,097(1 - 0,097)}{116}}$$

$$BKA = 0,179$$

4) Batas Kendali Bawah (BKB)

Batas Kendali Bawah atau *Lower Center Line* (LCL) pada hasil data pengamatan ke-1 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$BKB = 0,097 - 3 \sqrt{\frac{0,097(1 - 0,097)}{116}}$$

$$BKB = 0,014$$

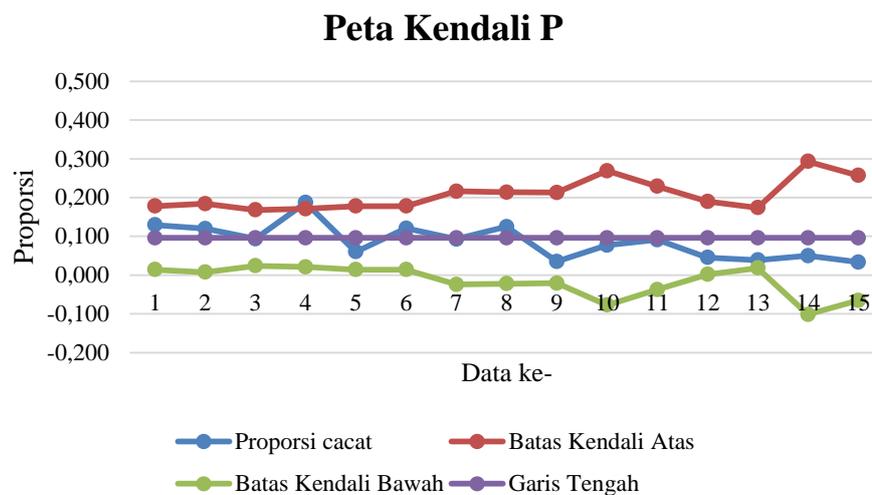
Berdasarkan perhitungan di atas, maka hasil perhitungan secara keseluruhan untuk mengetahui peta kendali P dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 3. Proporsi Cacat

No	Total Inspeksi	Jumlah Weld Defect	Proporsi Cacat	BKA	BKB	GT
1	116	15	0,129	0,179	0,014	0,097
2	99	12	0,121	0,186	0,008	0,097
3	150	14	0,093	0,169	0,024	0,097
4	140	27	0,193	0,172	0,022	0,097
5	116	7	0,060	0,179	0,014	0,097
6	116	14	0,121	0,179	0,014	0,097
7	54	5	0,093	0,217	-0,024	0,097
8	56	7	0,125	0,215	-0,022	0,097
9	57	2	0,035	0,214	-0,021	0,097

No	Total Inspeksi	Jumlah Weld Defect	Proporsi Cacat	BKA	BKB	GT
10	26	2	0,077	0,271	-0,077	0,097
11	44	4	0,091	0,230	-0,037	0,097
12	88	4	0,045	0,191	0,002	0,097
13	129	5	0,039	0,175	0,019	0,097
14	20	1	0,050	0,295	-0,102	0,097
15	30	1	0,033	0,259	-0,065	0,097
Total	1.241	120	1,306	3,131	-0,230	1,450

Selanjutnya, nilai-nilai tersebut masuk ke dalam bentuk grafik peta kendali P yang dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 1. Peta kendali P

Berdasarkan gambar di atas, maka dapat diketahui pola proses pengelasan berdasarkan proporsi cacat. Terlihat pada gambar bahwa pola dari Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) cukup berfluktuasi atau tidak konstan. Hal ini karena kedua batas tersebut ditentukan berdasarkan jumlah inspeksi di masing-masing data akibat sifat data yang bervariasi atau tidak sama setiap harinya. Selain itu, diketahui juga pada pola tersebut terdapat titik yang berada di luar Batas Kendali Atas (BKA) yaitu data ke-4 dengan nilai proporsi cacat sebesar 0,193, sedangkan nilai BKA sebesar 0,172. Hal tersebut berarti proses pengelasan yang terjadi tidak terkendali secara statistik sehingga perlu dianalisis lebih lanjut terkait penyebabnya.

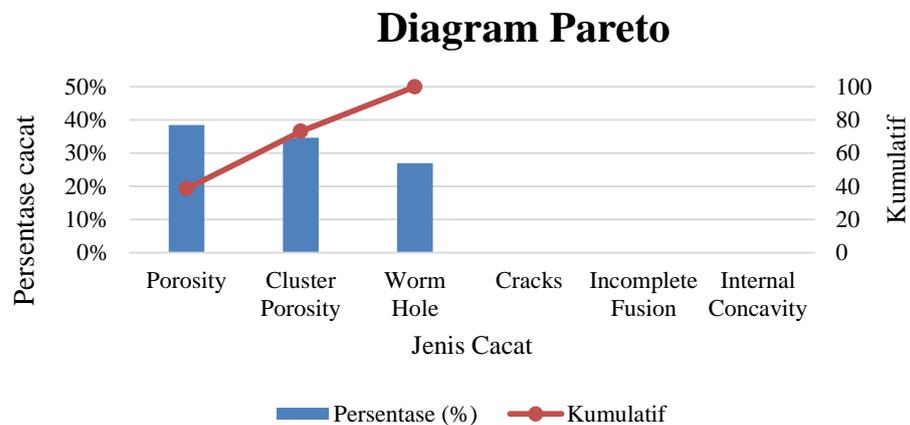
d. Diagram pareto

Pareto dapat digunakan untuk mengurutkan suatu penyebab sehingga dapat ditentukan tindakan mitigasinya (Handayani *et al.* 2023). Tujuan dari pengurutan tersebut adalah dapat menjadikan prioritas mana yang terlebih penting untuk ditangani (Harisson dan Utomo DS. 2024). Pada penelitian ini diagram pareto berfungsi untuk menunjukkan jenis cacat yang terbanyak berdasarkan perbandingan nilai persentase masing-masing. Pada permasalahan ini, diagram pareto digunakan untuk mengukur jenis cacat pada data ke-4 sehingga menyebabkan tidak terkendali pada peta kendali P.

Tabel 4. Persentase cacat pada data ke-4

Jenis Cacat	Jumlah Weld Defect	Persentase (%)	Kumulatif
<i>Porosity</i>	10	38,46	38,46
<i>Cluster Porosity</i>	9	34,62	73,08
<i>Wormhole</i>	7	26,92	100,00
<i>Cracks</i>	0	0,00	
<i>Incomplete Fusion</i>	0	0,00	
<i>Internal Concavity</i>	0	0,00	
Total	26	100,00	

Berdasarkan Tabel 4. di atas, maka dapat diketahui total jumlah cacat pada data ke-4 yakni sebanyak 26. Jenis cacat pertama yaitu *porosity* sebanyak 10 dan memiliki persentase 38,46%, *cluster porosity* sebanyak 9 dan memiliki persentase 34,62%, *wormhole* sebanyak 7 dan memiliki persentase 26,92%, serta *cracks*, *incomplete fusion*, dan *internal concavity* sebanyak 0 atau tidak terjadi.



Gambar 2. Diagram pareto data ke-4

Berdasarkan Gambar 4. di atas, maka dapat diketahui jumlah jenis cacat mulai dari yang terbesar hingga terkecil. Jumlah jenis cacat terbesar pertama yaitu *porosity*, kedua yaitu *cluster porosity*, ketiga yaitu *wormhole*, serta jumlah cacat terkecil yaitu *cracks*, *incomplete fusion*, dan *internal concavity*. Ketiga jenis cacat terbanyak tersebut perlu dilakukan analisis penyebab dan tindakan perbaikannya.

- e. Menghitung DPMO dan nilai sigma
 Nilai sigma atau kapabilitas sigma merupakan nilai yang menunjukkan kinerja dari sebuah proses dan dapat menjadi *baseline* kinerja untuk perbaikan selanjutnya. Nilai sigma diukur berdasarkan hasil perhitungan DPMO (*defects per Million Opportunities*). Adapun nilai DPMO data ke-1 dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$DPO = \frac{15}{116 \times 5} = 0,026$$

$$DPMO = 0,026 \times 1.000.000$$

$$DPMO = 25862,07$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka hasil perhitungan secara keseluruhan untuk mengetahui DPMO dan nilai sigma dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan nilai DPMO

Tanggal	Total Inspeksi	Jumlah Weld Defect	DPO	DPMO	Nilai Sigma
1	116	15	0,022	21551,72	3,52
2	99	12	0,020	20202,02	3,55
3	150	14	0,016	15555,56	3,66
4	140	27	0,032	32142,86	3,35
5	116	7	0,010	10057,47	3,82
6	116	14	0,020	20114,94	3,55
7	54	5	0,015	15432,10	3,66
8	56	7	0,021	20833,33	3,54
9	57	2	0,006	5847,95	4,02
10	26	2	0,013	12820,51	3,73
11	44	4	0,015	15151,52	3,67
12	88	4	0,008	7575,76	3,93
13	129	5	0,006	6459,95	3,99
14	20	1	0,008	8333,33	3,89
15	30	1	0,006	5555,56	4,04
Total	1.241	120			
	Rata-rata		0,016	16116,04	3,73

Berdasarkan Tabel 5. di atas, maka dapat diketahui rata-rata nilai DPMO dan nilai sigma masing-masing data. Hasil dari perhitungan menunjukkan rata-rata nilai DPMO sebesar 16.116,04 dengan rata-rata nilai sigma yaitu 3,73. Hal tersebut berarti bahwa terdapat 16.116,04 kemungkinan terjadinya kecacatan dari sejuta kesempatan. Lalu, nilai sigma tersebut menyatakan bahwa kapabilitas proses pengelasan berada di tingkat rata-rata industri di Indonesia. Dalam mencapai tujuan yaitu mengurangi kecacatan pada hasil pengelasan dan mencapai target yang lebih baik, maka perlu adanya peningkatan kualitas dengan tindakan perbaikan yang tepat.

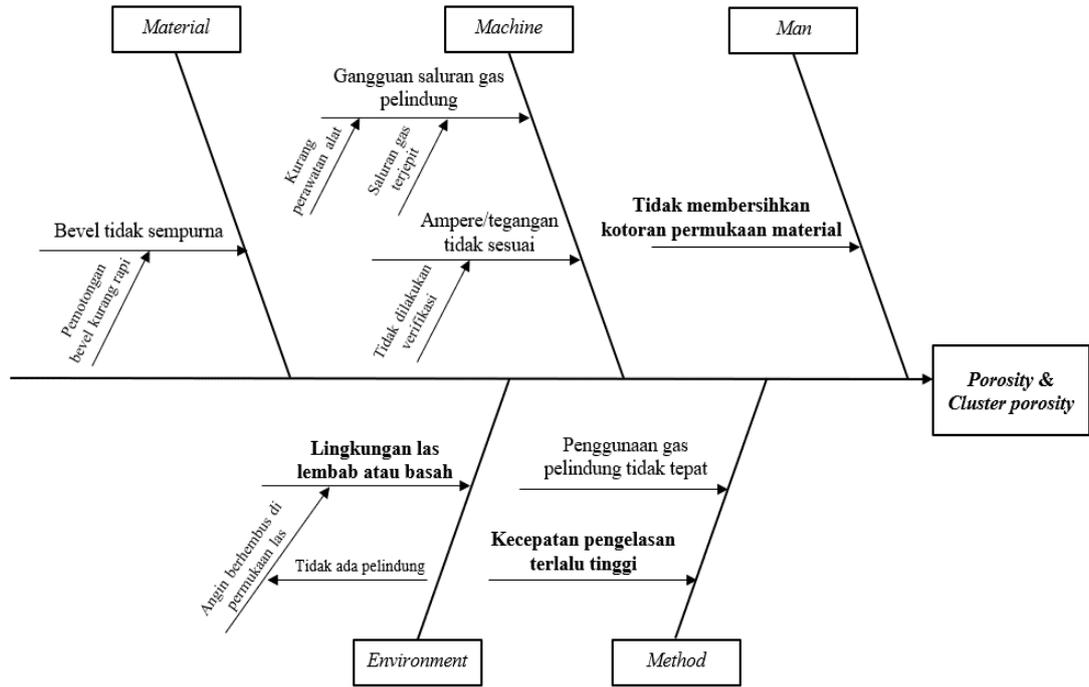
4.3 Analyze

a. Porosity dan cluster porosity

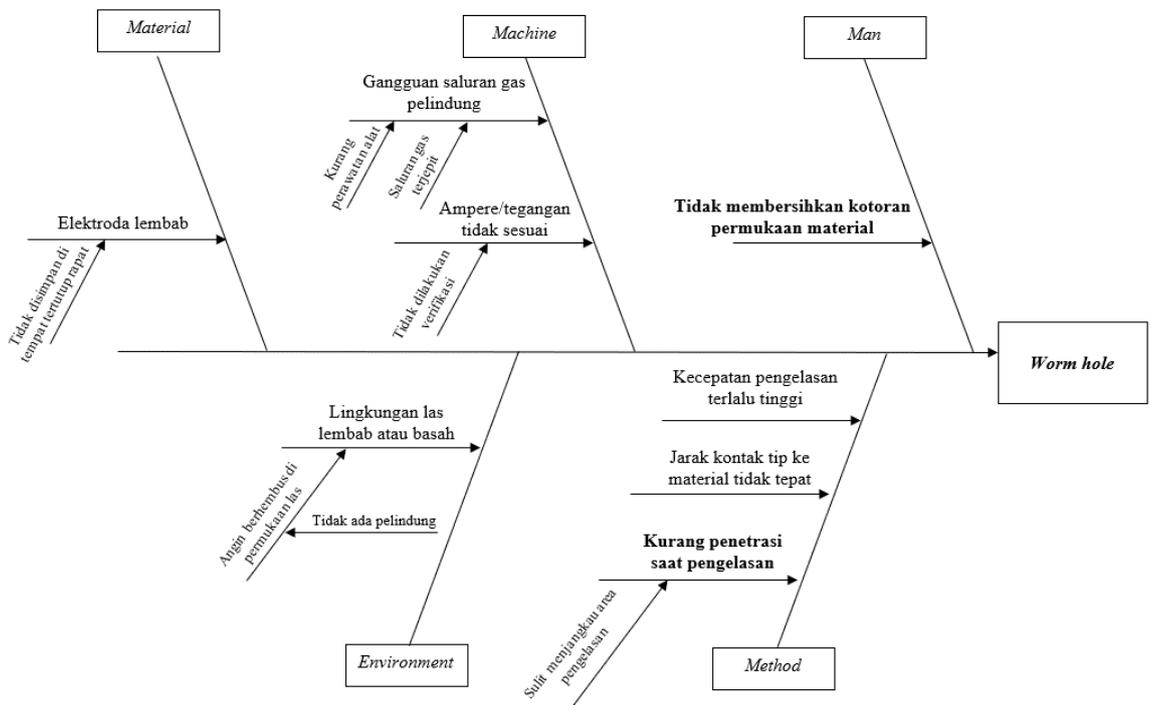
Dalam mengidentifikasi penyebab adanya jenis kecacatan *porosity* dan *cluster porosity* pada hasil pengelasan, maka digunakan diagram *fishbone* dengan pendekatan 4M+1E. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan hasil wawancara, diketahui bahwa dari beberapa penyebab potensial tersebut terdapat 3 (tiga) yang paling sering terjadi yaitu, tidak membersihkan kotoran permukaan material, kecepatan pengelasan (*travel speed*) terlalu tinggi, dan lingkungan las lembab atau basah.

b. Worm hole

Dalam mengidentifikasi penyebab adanya jenis kecacatan *worm hole* pada hasil pengelasan, maka digunakan diagram *fishbone* dengan pendekatan 4M+1E. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil wawancara, diketahui bahwa dari beberapa penyebab potensial tersebut terdapat 2 (dua) yang paling sering terjadi yaitu, tidak membersihkan kotoran permukaan material dan kurang penetrasi saat proses pengelasan.



Gambar 3. Diagram fishbone porosity dan cluster porosity



Gambar 4. Diagram fishbone worm hole

Target yang diusulkan berdasarkan hasil analisis yaitu peningkatan kualitas menuju 4-sigma, di mana tercapainya sekitar 99,38% hasil pengelasan yang memenuhi spesifikasi, jika dengan asumsi bahwa periode selanjutnya terdapat jumlah data yang sama. Tercapainya nilai

4-sigma akan menurunkan peluang terjadinya kecacatan sebanyak 61,47% dari sebelumnya, yakni hanya 6.210 dari sejuta kesempatan dan rata-rata jumlah cacat maksimal 1 *joint* per hari.

Tabel 5. Target nilai sigma setelah perbaikan

Tanggal	Total Inspeksi	Jumlah Weld Defect	DPO	DPMO	Nilai Sigma
1	116	1	0,001	1436,78	4,48
2	99	1	0,002	1683,50	4,43
3	150	1	0,001	1111,11	4,56
4	140	1	0,001	1190,48	4,54
5	116	1	0,001	1436,78	4,48
6	116	1	0,001	1436,78	4,48
7	54	1	0,003	3086,42	4,24
8	56	1	0,003	2976,19	4,25
9	57	1	0,003	2923,98	4,26
10	26	1	0,006	6410,26	3,99
11	44	1	0,004	3787,88	4,17
12	88	1	0,002	1893,94	4,40
13	129	1	0,001	1291,99	4,51
14	20	1	0,008	8333,33	3,89
15	30	1	0,006	5555,56	4,04
Total	1.241	15			
	Rata-rata		0,002	2014,50	4,31

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka dapat diketahui bahwa potensial rata-rata jumlah maksimal cacat hanya sebanyak 1 *joint* per hari setelah dilakukan perbaikan, dengan menggunakan asumsi jumlah data yang sama untuk periode selanjutnya. Selain itu, dengan rata-rata jumlah cacat tersebut akan mencapai nilai sigma 4, lebih tepatnya 4,31 sigma dengan rata-rata nilai DPMO 2.014,50. Artinya terdapat 2.014,50 kemungkinan terjadinya kegagalan atau *weld defect* dalam satu juta kemungkinan.

4.4 Improve

Pada tahap ini digunakan metode PDCA sebagai bentuk dari tindakan yang dilakukan untuk mengurangi cacat pengelasan. Hal ini karena metode tersebut memiliki sifat yang terus-menerus atau siklus, sehingga jika diterapkan akan menjadi *continuous improvement*. Setelah dilakukan analisis lebih lanjut, pengendalian kualitas ini juga akan memberikan potensial yang positif ke beberapa aspek lainnya. Hal tersebut dapat diidentifikasi dengan metode QCDSHEM (*Quality, Cost, Delivery, Safety & Healthy, Morale*) yang dapat dilihat pada Tabel 6. di bawah ini.

Tabel 6. Identifikasi potensial perbaikan dengan QCDSHEM

Aspek	Sekarang	Potensial
<i>Quality</i>	Persentase jumlah hasil pengelasan yang memenuhi spesifikasi 98,71% (3,73 sigma) atau berada di level rata-rata industri di Indonesia	Diharapkan persentase jumlah hasil pengelasan yang memenuhi spesifikasi sebanyak 99,75% (4,31 sigma) atau berada di level Industri USA dengan cacat maks. 1 joint/hari
<i>Cost</i>	Jumlah <i>defect</i> menyebabkan tingginya <i>cost</i> (elektroda dan <i>Radiography Test</i>) mis. harga film/pcs Rp50.0000 Rp50.000 x 1.403 joint =Rp 70.150.000	Diharapkan pengeluaran biaya lebih hemat dari sebelumnya karena jumlah <i>defect</i> yang berkurang mis. harga film/pcs Rp50.0000 Rp50.000 x 1.299 joint =Rp 64.950.000

Aspek	Sekarang	Potensial
<i>Delivery</i>	Mebutuhkan waktu untuk melakukan <i>rework</i> (2 hari) Tingginya potensi bahaya akibat	Diharapkan tidak terjadi kemunduran jadwal perbaikan akibat <i>rework</i> Diharapkan dapat mengurangi potensi
<i>Safety & Healthy</i>	paparan las atau kesalahan dalam bekerja, karena jangka waktu proses pengelasan yang lama <i>Welder</i> terburu-buru dalam bekerja	kecelakaan kerja dan penyakit akibat pengelasan, seperti kebakaran, <i>fatigue</i> , sesak napas, atau lainnya
<i>Morale</i>	dan performa menurun karena kelelahan	Diharapkan <i>welder</i> semakin teliti dan berkompeten dalam bekerja

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi kasus yang telah diteliti, diketahui bahwa terdapat 3 (tiga) jenis cacat yang sering terjadi pada hasil pengelasan *water wall tube* yakni *porosity*, *cluster porosity*, dan *worm hole*. Lalu, diketahui bahwa nilai DPMO (*baseline*) sebanyak 16.116,04 dengan rata-rata nilai sigma 3,73 yang berarti terdapat 16.116,04 kemungkinan terjadi cacat dalam satu juta kesempatan dan masih setara rata-rata industri Indonesia. Maka dari itu, penulis memberikan usulan untuk melakukan perbaikan dengan menggunakan metode PDCA sehingga perusahaan mampu meningkatkan level sigma dan menurunkan nilai DPMO sebanyak 61,47% sehingga rata-rata jumlah maksimal cacat yang terjadi yaitu 1 joint per hari. Selain itu, adanya perbaikan dan peningkatan kualitas juga dapat berpotensi pada penghematan biaya, efisiensi waktu, keselamatan dan kesehatan kerja.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Akbar MI, Utomo DS, Gunawan S. 2024. Analisis Pengendalian Risiko Kualitas Pada Produk Kayu Lapis Menggunakan Metode Six Sigma:(Studi Kasus: Idec Abadi Wood Industries). *J. Tek. Ind.* 2(1):1–14.
- Anthony MB. 2017. Usulan Penurunan Tingkat Kecacatan Produk Pelat Baja dengan Metode Six Sigma. *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya Vol.* 3(2):41–48.
- Fithri P. 2019. Six Sigma Sebagai Alat Pengendalian Mutu Pada Hasil Produksi Kain Mentah PT. Unitex, Tbk. *J@ ti Undip J. Tek. Ind.* 14(1):43–52.
- Gaspersz V. 2002. Pedoman implementasi program six sigma terintegrasi dengan ISO 9001: 2000, MBNQA, dan HACCP.
- Handayani YP, Utomo DS, Gunawan S. 2023. Perencanaan Strategi Mitigasi Risiko Rantai Pasok Produk Roti pada AR Bakery. Di dalam: *Seminar Nasional Teknik Industri [SNTI]*. Vol. 5. hlm. 14.
- Harisson A, Utomo DS. 2024. Identifikasi Risiko Keterlambatan Waktu Penyelesaian Proyek dengan Fuzzy AHP. *J. Ind. Samudra.* 5(1):1–6.
- Lestari FA, Purwatmini N. 2021. Pengendalian Kualitas Produk Tekstil Menggunakan Metoda DMAIC. *J. Khatulistiwa Inform.* 5(1):79–85.
- Mariana Y, Andrean W, Lestari NT. 2023. Minimizing Defects in Radiator Grille Upper Garnish Parts using Six Sigma (DMAIC) at PT. AAS. *Eng. Math. Comput. Sci. J.* 5(3):111–115.
- Raja Sreedharan V, Raju R. 2016. A systematic literature review of Lean Six Sigma in different industries. *Int. J. Lean Six Sigma.* 7(4):430–466.
- Ratnadi R, Suprianto E. 2016. Pengendalian kualitas produksi menggunakan alat bantu statistik (seven tools) dalam upaya menekan tingkat kerusakan produk. *J. Ind. Elektro dan Penerbangan.* 6(2).
- Riyadi AZ, Utomo DS, Widada D. 2024. Analisis Pengendalian Kualitas Batik Cap

Menggunakan Metode Six Sigma dan Kaizen. *Ind. Inov. J. Tek. Ind.* 14(1):94–100.
Simanova Ľ, Gejdoš P. 2021. Implementation of the six sigma methodology in increasing the capability of processes in the company of the furniture industry of the Slovak republic. *Manag. Syst. Prod. Eng.* 29(1):54–58.