

Optimasi Kualitas Pengelasan Dinding Tangki: Pendekatan Six Sigma dan FMEA (Studi Kasus: *Cleaning* dan *Over Haul* Tangki PT. Pertamina RU III)

Optimizing Welding Quality in Shell Tanks: Six Sigma and FMEA Approach (Case Study: Cleaning and Overhaul of Tanks in PT. Pertamina RU III Area)

Brian Adiguna¹⁾, Maria Angela Kartawidjaja²⁾, Ronald Sukwadi^{3)*}

^{1,2,3)}Prodi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, Indonesia

²⁾Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, Indonesia

³⁾Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, Indonesia
email: ¹⁾adigunabrianadiguna@gmail.com, ²⁾maria.kw@atmajaya.ac.id, ³⁾ronald.sukwadi@atmajaya.ac.id

Informasi Artikel

Diterima:

Submitted:
25/06/2024

Diperbaiki:

Revised:
27/10/2024

Disetujui:

Accepted:
31/10/2024

*) Ronald Sukwadi
ronald.sukwadi@atma
ja.ya.ac.id

DOI:

[https://doi.org/10.32502/
integrasi.v9i2.206](https://doi.org/10.32502/integrasi.v9i2.206)

Abstrak

Tangki penimbun (*Storage Tank*) adalah elemen penting dalam berbagai industri seperti minyak dan gas, kimia, pangan, dan farmasi. Fungsinya adalah menyimpan bahan cair atau gas dalam jumlah besar secara aman dan efisien serta sebagai penyangga antara proses produksi dan distribusi. Selain itu, tangki ini juga berperan dalam pengendalian kualitas produk yang disimpan, sehingga aspek keselamatan harus diperhatikan melalui inspeksi rutin selama konstruksi dan operasi. Penelitian ini dilakukan di PT. Pertamina RU III Plaju yang bergerak dalam bidang Oil and Gas pada proyek *cleaning* dan *overhaul* storage tank oleh seorang welding inspector untuk mengawasi kualitas pengelasan, yang merupakan faktor kunci dalam menentukan kekuatan struktural dan keselamatan tangki. Penelitian ini bertujuan memberikan rekomendasi perbaikan dalam menurunkan tingkat defect rate proses pengelasan yang melebihi batas toleransi. Metode yang digunakan adalah Six Sigma dan Failure Mode Effect and Analysis. Hasil dari penelitian ini adalah faktor manusia dan metode adalah faktor yang sangat signifikan mempengaruhi terjadinya defect pada pengelasan, maka perlu adanya penanganan yang serius dan tindakan yang tepat pada faktor manusia dan metode untuk mengurangi tingkat defect yang melebihi batas toleransi sebesar 10 %.

Kata kunci: Cacat Pengelasan, Six Sigma, FMEA, Storage Tank.

Abstract

Storage tanks are critical elements in various industries, including oil and gas, chemicals, food, and pharmaceuticals. Their primary function is to store large quantities of liquids or gases safely and efficiently and to act as a buffer between production and distribution processes. Additionally, these tanks play a role in maintaining the quality control of the stored products, necessitating regular inspections during both construction and operation phases to ensure safety. We conducted this research at PT. Pertamina RU III Plaju, an oil and gas company, with a focus on cleaning and overhauling storage tanks. A welding inspector supervised the welding quality, a key factor in determining the structural strength and safety of the tanks. The research aimed to provide recommendations for reducing the welding defect rate that exceeds the tolerance limits. The methods used were Six Sigma and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). The findings indicated that human factors and methods significantly contribute to welding defects, requiring serious attention and appropriate actions to reduce the defect rate that exceeds the 10% tolerance limit.

Keywords: Welding Defect, Six Sigma, FMEA, Storage Tank.

Pendahuluan

Storage Tank (Tangki penimbun) merupakan elemen krusial dalam berbagai sektor industri [1], termasuk minyak dan gas, kimia, pangan, dan farmasi. Fungsi utama tangki penimbun adalah menyimpan bahan cair atau gas dalam jumlah besar secara aman dan efisien [2],[3]. *Storage Tank* juga bertujuan sebagai tempat penyangga antara proses produksi dan distribusi, serta pengendalian kualitas produk yang disimpan dan memperhatikan aspek-aspek keselamatan pada saat *storage tank* telah beroperasi, maka dari itu perlu adanya pengontrolan secara rutin atau pengawalan secara berkala pada setiap proses saat masa konstruksi maupun pada saat beroperasi dengan dilakukannya inspeksi yang sesuai dengan standar dan prosedur yang ditetapkan [1].

Penelitian dilakukan di *welding inspection* pada *project cleaning* dan *overhaul storage tank* untuk mengawasi pekerjaan dalam pembangunan *storage tank* yang dikerjakan oleh kontraktor. Dalam proyek salah satunya aspek yang paling penting adalah kualitas pengelasan [3]. Pengelasan yang berkualitas tinggi sangat penting untuk memastikan kekuatan atau ketahanan struktural dan keamanan *storage tank* untuk menahan tekanan internal oleh bahan yang disimpan, suhu ekstrim, tekanan, maupun vakum yang terjadi pada *storage tank* [4]. Pengelasan yang

berkualitas tinggi juga sangat penting untuk keselamatan, karena kecelakaan yang disebabkan oleh kegagalan pengelasan merupakan salah satu penyebab utama kebocoran dan kerusakan tangki, yang berpotensi mengancam lingkungan dan kehidupan manusia [5].

Melihat pentingnya kualitas dalam pengelasan dan banyaknya jumlah cacat pada hasil pengelasan *storage tank* dari hasil *non destructive test* (NDT) *radiography* pada *shell tank* yang melebihi batas toleransi yang telah ditetapkan yaitu sebesar 10%. [6] [7]. Berikut data pengelasan dari hasil pengujian NDT radiografi pada ke-3 sample *storage tank* pada Tabel 1 yaitu, tangki H-4, 18, dan, B-67.

Dari jumlah *defect* dalam Tabel 1 maka perlu dilakukan penanganan untuk mengurangi jumlah *defect*, sehingga disini penulis terdorong untuk melakukan penelitian mengenai kualitas pengelasan pada dinding *storage tank* yang dikerjakan oleh kontraktor. Adapun alternatif penyelesaian masalah mengenai kualitas pengelasan dapat dilakukan dengan analisis *defect* pada pengelasan dengan menggunakan metode *Six Sigma* [8]. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah upaya dalam memberikan rekomendasi perbaikan dalam menurunkan tingkat *defect rate* proses pengelasan yang melebihi batas toleransi.

Tabel 1. Welding Defect Rate

Tank Name	Welding Defect							Persentase %
	Incomplete Fusion	Porosity	Slag Inclusion	Incomplete Penetration	Under Cut	Jumlah Reject	Jumlah Film	
H-4	-	8	5	-	-	13	57	22.8
18	-	13	6	-	1	20	39	51.28
B-67	1	6	4	2	-	13	22	59.09
Total	1	27	15	2	1	46	118	

Metode

Metode dalam penelitian ini merupakan langkah-langkah untuk mencapai tujuan penelitian yang diinginkan yaitu mengurangi *defect rate* dengan menggunakan *six sigma* sebagai kerangka kerja sistematis untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengatasi masalah

kualitas dalam proses pengelasan. Penelitian sebelumnya seperti [9] membahas mengenai usulan perbaikan untuk mengurangi jumlah cacat pada produk. Sementara penelitian [10] menggunakan metode *six sigma* untuk mengurangi tingkat kerusakan produk.

Penelitian [11] menggunakan kombinasi metode FMEA dan *Six Sigma* untuk menganalisis *welding defect rate* dan penanganannya. Dalam metode ini akan digunakan pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Adapun penelitian ini dilakukan pada PT. Pertamina RU III Plaju yang bergerak dalam bidang *Oil and Gas*. Waktu penelitian dilakukan mulai sejak bulan November 2023 sampai Juni 2024.

Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang di gunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metodologi penelitian kualitatif dan kuantitatif. Data kuantitatif yaitu data yang berupa angka-angka mengenai output jumlah pengelasan yang dilakukan NDT radiografi dan data pengelasan yang mengalami *reject*. Data kualitatif yaitu data yang berupa informasi mengenai jenis cacat las, faktor-faktor penyebab terjadinya cacat pengelasan dan *welding proses* yang digunakan. Sumber data secara keseluruhan diperoleh dari perusahaan tempat dimana penulis bekerja. Data yang bersifat kuantitatif diperoleh dari dokumen *report / arsip quality control* hasil pengujian *radiography*. Data yang bersifat kualitatif diperoleh dari wawancara dan pengamatan secara langsung di lapangan maupun di tempat penulis bekerja.

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengamatan langsung pada kontraktor di lapangan. Hal ini sesuai dengan Sugiono [12] yang menyatakan bahwa pengamatan langsung digunakan bila penelitian berkenaan dengan

perilaku manusia, proses kerja, gejala alam dan bila responden tidak terlalu besar. Adapun pengamatan langsung dapat pula mengamati cara dan sistem kerja dari awal hingga tahap akhir sampai pengujian produk, melakukan wawancara ke pada *supervisor* dan *QC* kontraktor terkait *object* penelitian serta mencatat faktor penyebab *defect* yang terjadi pada pengelasan dan melakukan pengamatan pada *report* hasil pengelasan yang dilakukan uji radiografi oleh *team* untuk melihat jumlah dan jenis *defect* pada pengelasan. Dari informasi yang didapat pada tahap pengolahan data akan ditangani dengan menggunakan *Six Sigma*. Informasi yang diperlukan adalah informasi yang mengambil ketidaksempurnaan pengelasan dan pemeriksaan penyebab *defect* [13].

Hasil dan Pembahasan

Define

Pada tahap ini, diketahui bahwa tingkat jumlah cacat dari ketiga sampel *storage tank* melebihi batas toleransi, yakni sebesar 10%. Jumlah ini diperoleh dari perbandingan jumlah pengelasan yang telah dilakukan dengan jumlah pengelasan yang di *reject* pada ketiga sampel tangki tersebut dalam NDT radiografi.

Sebelum melakukan perbaikan dalam suatu proses, penting untuk memahami dengan baik bagaimana proses tersebut berjalan. Pemetaan proses atau proses mapping memberikan gambaran tentang Langkah-langkah proses pengelasan dan ketergantungannya pada proses sebelumnya serta pengaruhnya terhadap proses selanjutnya. Pada *flow process chart* ini, dijelaskan secara lengkap alur proses dari kedatangan material sampai pengujian produk, seperti pada Gambar 1.

PROCESS CHART					
<input checked="" type="checkbox"/> PRESENT METHODE	<input type="checkbox"/> PROPOSE METHODE	DATE : 09/2023 – 06/2024	PAGE 1 OF 1		
PART DESCRIPTION : SHELL TANK					
OPERATION DESCRIPTION : WELDING					
SUMMARY					
OPERATION	INSPECTION	TRANSPORT	STORAGE		
STEP	DETAIL OF PROCESS	OPERATION	INSPECTION	TRANSPORT	STORAGE
1	MATERIAL DIHANTAR KE GUDANG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	MATERIAL DIPERIKSA DI GUDANG	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	MATERIAL DIBAWA KE LAPANGAN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	PEMOTONGAN MATERIAL DAN BEVEL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	MATERIAL DI BAWA KE WORK SHOP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	MATERIAL DILAKUKAN BENDING	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	MATERIAL DIBAWA KE LAPANGAN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	ASSEMBLY MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	INSPEKSI HASIL ASSEMBLY	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	PROSES PENGELASAN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	INSPEKSI HASIL PENGELASAN	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	PROSES PENGELASAN SELESAI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	TEST PRODUK	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Total Aktivitas		4	4	4	1

Gambar 1. Flow Process Chart Pengelasan

Penentuan Critical to Quality (CTQ)

Pada tahap ini untuk menentukan critical to quality pada pengelasan adalah dengan melakukan pengamatan pada hasil NDT radiografi jenis-jenis cacat apa saja yang terdapat dalam pengelasan dan

mendominasi pada pengelasan shell tank yang reject dan melebihi acceptance criteria welding defect berdasarkan API 650. Berikut Tabel 2 menyajikan Critical to Quality.

Tabel 2. Critical To Quality

Type Defect	Gambar Defect
<p>1. Porosity (POR) Cacat pengelasan yang disebabkan oleh terkontaminasinya logam las oleh gas yang terperangkap sehingga di dalam logam las terdapat rongga-rongga.</p>	
<p>2. Slag Inclusion Cacat pengelasan yang terjadi akibat kotoran yang terperangkap di dalam logam pengelasan</p>	

Tipe Defect	Gambar Defect
<p>3. Incomplete Penetration (IP) Cacat yang terjadi akibat tidak penetrasinya logam las dan meninggalkan celah antara logam induk</p>	
<p>4. Incomplete Fusion (IF) Cacat yang terjadi karena tidak menyatunya logam las dengan logam induk material</p>	
<p>5. Under Cut (UC) Cacat yang terjadi akibat arus pengelasan yang digunakan terlalu besar sehingga logam induk terkikis atau tergerus</p>	

Setelah mengetahui jenis dan jumlah defect yang menjadi critical to quality (CTQ) serta menjadi ukuran untuk langkah selanjutnya dalam menurunkan tingkat defect rate, langkah yang dilakukan adalah menghitung DPMO (Defects Per Million Opportunities).

Measure

Dalam tahap ini diperlukan perhitungan DPMO. Tabel 3 menyajikan jumlah output film dan jumlah defect film dari uji radiografi untuk perhitungan DPMO. Setelah itu selanjutnya dapat diketahui

DPMO dan sigma level seperti disajikan pada Tabel 4.

$$DPMO = \frac{Total\ defect}{jumlah\ output \times CTQ} \times 1.000.000$$

$$Tank\ H\ 4 = \frac{13}{57} \times 1.000.000 = 45.614$$

$$Tank\ 18 = \frac{20}{39 \times 5} \times 1.000.000 = 102.564$$

$$Tank\ B\ 67 = \frac{13}{22 \times 5} \times 1.000.000 = 118.181$$

Tabel 3. Data Jumlah *Output* dan *Defect*

Tank	Jumlah <i>Output</i> Film Radiography	Jumlah <i>Defect</i> Film Radiography
Tank H-4	57	13
Tank 18	39	20
Tank B-67	22	13

Tabel 4. Data Nilai DMPO dan Sigma Level

Tank	Jumlah <i>Output</i> Film	Jumlah <i>Defect</i>	DPMO	Sigma Level
H-4	57	13	45.614	3,18
18	39	20	102.564	2,76
B-67	22	13	118.181	2,68
Total	118	46	266359	
Rata-rata	39,33	15,33	88786,33	3

Analyze

Tahap analisis ini adalah tahap yang dilakukan setelah tahap *measure*, pada tahap ini akan dilakukan analisis menggunakan diagram pareto dan *fishbone* untuk melihat masalah terbesar dari tipe cacat dan penanganannya.

Diagram Pareto

Diagram ini untuk menentukan dan mengidentifikasi prioritas permasalahan yang akan dilakukan perbaikan, permasalahan yang paling sering terjadi adalah prioritas utama yang akan dilakukan perbaikan. Tabel 5 menyajikan klasifikasi *defect* untuk analisa diagram pareto.

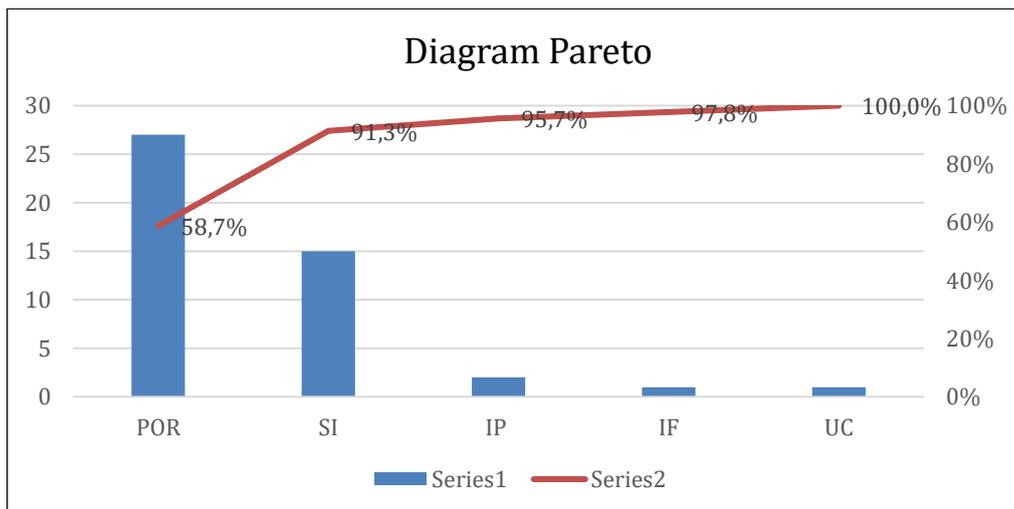
Dari hasil pengamatan pada diagram pareto dapat dilihat presentase dari setiap *defect* (Gambar 2) yaitu *porosity* sebesar 58.7 %, *slag inclusion* 32.61 %, *incomplete penetration* 4.35 %, *incomplete fusion* 2.17 % , *undercut* 2.17 % dan dapat disimpulkan bahwa *porosity* menjadi prioritas permasalahan yang harus di lakukan penanganan.

Diagram *Fishbone*

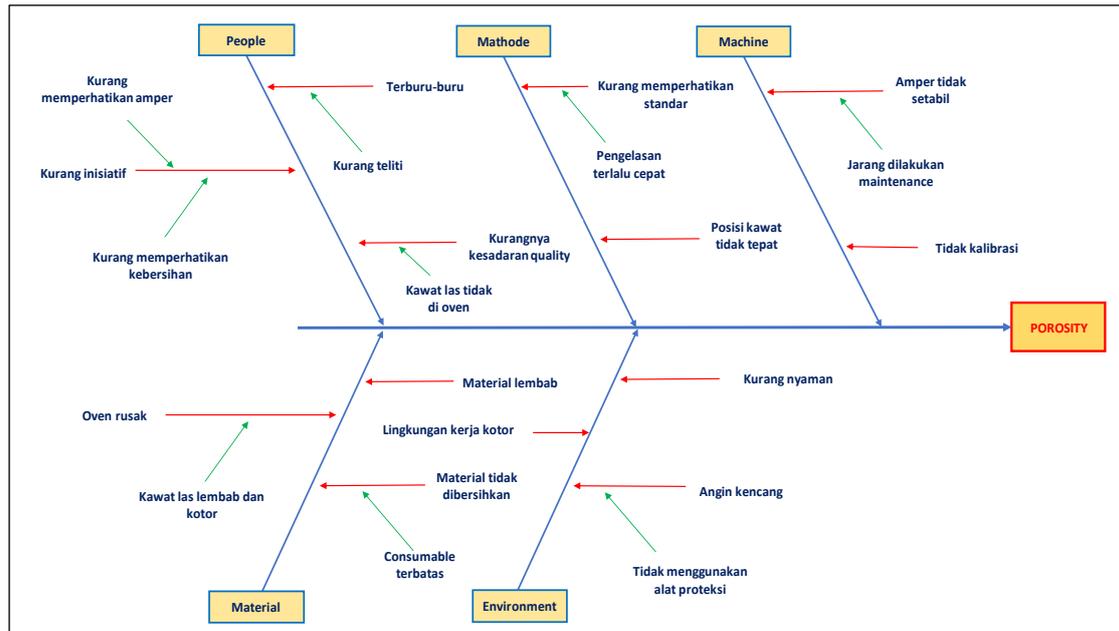
Diagram *fishbone* atau diagram sebab akibat digunakan untuk melihat akar penyebab terjadinya cacat pengelasan (Gambar 3). Cacat pengelasan *porosity* yang menjadi prioritas utama untuk dilihat akar permasalahannya dari berbagai kategori seperti mesin, metode, manusia, material dan lingkungan [14].

Tabel 5. Klasifikasi *Defect* untuk Analisa Diagram Pareto

No	Defect	Jumlah defect	Proporsi Defect	%	Akumulasi
1	POR	27	0.586956522	58.70%	58.7%
2	SI	15	0.326086957	32.61%	91.3%
3	IP	2	0.043478261	4.35%	95.7%
4	IF	1	0.02173913	2.17%	97.8%
5	UC	1	0.02173913	2.17%	100.0%
		46	1	100.00%	



Gambar 2. Diagram Pareto



Gambar 3. Diagram Fishbone untuk Cacat *Porosity*

Improve

Setelah akar penyebab masalah diketahui, langkah selanjutnya adalah melakukan sesi diskusi dengan *supervisor* dan *quality control* kontraktor, dan *welding operator*. Tujuannya adalah untuk merumuskan ide-ide perbaikan yang dapat diimplementasikan oleh kontraktor guna mengurangi presentase *defect* dalam proses pengelasan menggunakan FMEA.

FMEA

FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) adalah suatu metode sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi kegagalan, serta mengevaluasi dampaknya [15]. Tujuan utama dari FMEA adalah untuk meningkatkan dan mengendalikan kualitas dengan mengidentifikasi risiko dan mengambil langkah-langkah untuk menguranginya atau menghilangkannya [16]. Pada penelitian [17] FMEA juga digunakan untuk manajemen risiko mutu di industri. Adapun pada FMEA terdapat tiga faktor penilaian resiko yaitu, dampak atau tingkat keparahan masalah

yang dikenal sebagai *severity*, adalah ukuran dari seberapa serius atau kompleks masalah yang terjadi, probabilitas atau kemungkinan frekuensi terjadinya masalah, yang disebut *Occurrence*, mengindikasikan seberapa sering masalah tersebut diperkirakan akan terjadi. detektabilitas, yang dikenal sebagai *Detection*, adalah kemungkinan mendeteksi kegagalan berdasarkan efektivitas metode pengendalian yang ada. Ketiga faktor penilaian risiko ini membentuk angka prioritas risiko (*Risk Priority Number* atau RPN) yang diperoleh dengan mengalikan nilai keparahan, kejadian, dan deteksi ($S \times O \times D = RPN$). Semakin tinggi nilai RPN, semakin besar risiko kegagalan dan semakin mempengaruhi kualitas produk atau proses. Oleh karena itu, penanganan atau perbaikan harus segera dilakukan pada masalah dengan nilai RPN tertinggi [18].

Severity (S) merupakan indikator seberapa serius suatu masalah dan dampaknya terhadap kualitas produk atau proses. Skala ini berkisar dari 1 hingga 10, di mana nilai 1 menandakan tingkat keparahan yang paling rendah atau kecil,

sementara nilai 10 menunjukkan tingkat keparahan yang paling tinggi atau berat

Occurrence (O) menggambarkan seberapa sering masalah tersebut terjadi atau dapat terjadi selama proses produksi. Skala ini berkisar dari 1 hingga 10, di mana nilai 1 menunjukkan kejadian paling jarang, sementara nilai 10 menunjukkan kejadian paling sering.

Detection (D) menunjukkan seberapa mudah masalah dapat terdeteksi dalam proses produksi, dengan skala nilai dari 1 hingga 10. Semakin rendah nilai, semakin mudah masalah dapat terdeteksi, sedangkan semakin tinggi nilai, semakin sulit masalah untuk terdeteksi.

Langkah selanjutnya adalah analisis menggunakan FMEA untuk mencari solusi berdasarkan permasalahannya dengan menggunakan tabel FMEA.

Dalam *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) mencakup potensi kesalahan yang dapat muncul akibat tindakan atau keputusan individu. Kesalahan ini sering dipicu oleh faktor-faktor seperti yang tertera dalam Tabel 6, maka perlu juga adanya identifikasi mode kegagalan yang berkaitan dengan faktor manusia yang sangat penting untuk dianalisis dampak dan penilaian probabilitas terjadinya kesalahan tersebut.

Tabel 6. Analisa FMEA Faktor Manusia

	Manusia	Skala	S	O	D
Mode kegagalan	- Pekerja malas merapikan sudut bevel - Gap terlalu besar - Pekerja malas melakukan pembersihan pada area yang akan di las	1-2	Dampak sangat rendah, kegagalan hampir tidak terasa	Sangat jarang, hampir tidak pernah terjadi	Sangat mudah dideteksi
Akibat ke gagalannya	- Pekerja terburu-buru - Welder jarang mengatur amper - Hasil pengelasan tidak baik - Terjadi banyak cacat pengelasan	3-4	Dampak kecil, sedikit mempengaruhi fungsi atau estetika	Jarang terjadi	Cukup mudah dideteksi
Nilai <i>severty</i> (S)	8				
Penyebab	- Kurangnya kesadaran tentang quality - Salah pemotongan material - Pekerja mengejar progres - Mesin las terlalu jauh	5-6	Dampak sedang, mempengaruhi fungsi tetapi tidak menyebabkan kegagalan total	Kadang-kadang terjadi	Agak sulit dideteksi
Nilai <i>occorance</i> (O)	9				
Pengawasan	Supervisor dan QC				
Nilai <i>detection</i> (D)	8				
Nilai RPN	$8 \times 9 \times 8 = 576$				
Tindakan korektif mitigasi	- Supervisor dan QC melakukan pengecekan kebersihan dan fittup sebelum melakukan pengelasan - Supervisor menyediakan <i>helper</i> untuk membantu welder Melakukan pemotongan material dengan alat yang tepat	7-8	Dampak besar, sangat mempengaruhi fungsi dan dapat menyebabkan kegagalan signifikan.	Sering terjadi	Sulit dideteksi
Penanggung jawab	Supervisor dan QC	9-10	Dampak sangat besar, menyebabkan kegagalan total atau membahayakan keselamatan	Sangat sering terjadi	Sangat sulit atau hampir tidak mungkin dideteksi

Tabel 7. Analisa FMEA Faktor Mesin

	Mesin	Skala	S	O	D
Mode kegagalan	- Mesin tidak kalibrasi - Panas tidak stabil - Mekanik elektrik tidak <i>qualified</i>	1-2	Dampak sangat rendah, kegagalan hampir tidak terasa	Sangat jarang, hampir tidak pernah terjadi	Sangat mudah dideteksi
Akibat kegagalan	- Hasil pengelasan tidak baik - Mengakibatkan cacat pengelasan	3-4	Dampak kecil, sedikit mempengaruhi fungsi atau estetika	Jarang terjadi	Cukup mudah dideteksi
Nilai <i>severty</i> (S)	6				
Penyebab	Mesin las tidak dilakukan	5-6	Dampak sedang,	Kadang-kadang	Agak sulit dideteksi

	<i>maintenance</i> / servis		mempengaruhi terjadi		
Nilai <i>occurance</i> (O)	7		fungsi tetapi tidak menyebabkan kegagalan total		
Pengawasan	Mekanik elektrik				
Nilai <i>detection</i> (D)	7		Dampak besar, sangat mempengaruhi fungsi dan dapat menyebabkan kegagalan signifikan.	Sering terjadi	Sulit dideteksi
Nilai RPN	$6 \times 7 \times 7 = 294$				
Tindakan korektif mitigasi	Memberi arahan untuk melakukan <i>maintenance</i> rutin dan memberikan pelatihan kepada mekanik elektrik	7-8	Dampak sangat besar, menyebabkan kegagalan total atau membahayakan keselamatan	Sangat sering terjadi	Sangat sulit atau hampir tidak mungkin dideteksi
Penanggung jawab	Supervisor dan HSSE	9-10			

Faktor mesin mencakup potensi kegagalan yang dapat terjadi akibat kondisi atau kinerja peralatan. Kegagalan ini sering kali disebabkan oleh faktor-faktor seperti yang tertera dalam Tabel 7. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang berkaitan dengan mesin,

serta menganalisis dampaknya dan menilai probabilitas terjadinya kegagalan tersebut. Dengan pemahaman yang baik tentang faktor mesin, langkah-langkah pencegahan yang tepat dapat diimplementasikan oleh perusahaan untuk meminimalkan risiko dan meningkatkan produktivitas.

Tabel 8. Analisa FMEA Faktor Metode

	Material	Skala	S	O	D
Mode kegagalan	- Material lembab - Kawat las lembab	1-2	Dampak sangat rendah, kegagalan hampir tidak terasa	Sangat jarang, hampir tidak pernah terjadi	Sangat mudah dideteksi
Akibat kegagalan	- Hasil pengelasan tidak baik - Terjadi cacat pengelasan <i>porosity</i> dan <i>slag inclusion</i>	3-4	Dampak kecil, sedikit mempengaruhi fungsi atau estetika	Jarang terjadi	Cukup mudah dideteksi
Nilai <i>severty</i> (S)	7				
Penyebab	Material tidak dilakukan treatment atau pemanasan pada material Kawat las tidak disimpan dalam oven	5-6	Dampak sedang, mempengaruhi fungsi tetapi tidak menyebabkan kegagalan total	Kadang-kadang terjadi	Agak sulit dideteksi
Nilai <i>occurance</i> (O)	7				
Pengawasan	Supervisor dan QC				
Nilai <i>detection</i> (D)	6		Dampak besar, sangat mempengaruhi fungsi dan dapat menyebabkan kegagalan signifikan.	Sering terjadi	Sulit dideteksi
Nilai RPN	$7 \times 7 \times 6 = 294$				
Tindakan korektif mitigasi	Melakukan <i>treatment</i> pada material sebelum melakukan pengelasan	7-8	Dampak sangat besar, menyebabkan kegagalan total atau membahayakan keselamatan	Sangat sering terjadi	Sangat sulit atau hampir tidak mungkin dideteksi
Penanggung jawab	Supervisor dan QC	9-10			

Faktor metode mencakup potensi kegagalan yang dapat terjadi akibat prosedur atau teknik yang digunakan dalam proses. Kegagalan ini sering kali disebabkan oleh faktor-faktor seperti yang tertera dalam Tabel 8. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang berkaitan dengan metode yang diterapkan, serta menganalisis dampaknya dan menilai probabilitas terjadinya kegagalan tersebut.

Dengan pemahaman yang baik tentang faktor metode, langkah-langkah perbaikan yang tepat dapat diimplementasikan untuk meningkatkan efektivitas proses dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan. minimalisir risiko dan meningkatkan keandalan operasional.

Tabel 9. Analisa FMEA Faktor Material

	Metode	Skala	S	O	D
Mode kegagalan	<ul style="list-style-type: none"> - Material kotor / lembab - Teknik pengelasan yang tidak tepat - Amper tidak tepat - Gap terlalu rapat - Tidak merapikan sudut bevel 	1-2	Dampak sangat rendah, kegagalan hampir tidak terasa	Sangat jarang, hampir tidak pernah terjadi	Sangat mudah dideteksi
Akibat kegagalan	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengelasan tidak baik - Terjadi cacat pengelasan porosity, slag inclusion, Incomplete penetration dan incomplete fusion 	3-4	Dampak kecil, sedikit mempengaruhi fungsi atau estetika	Jarang terjadi	Cukup mudah dideteksi
Nilai <i>severty</i> (S)	9				
Penyebab	Kurangnya bekal pengetahuan serta kurangnya kesadaran untuk mematuhi prosedur	5-6	Dampak sedang, mempengaruhi fungsi tetapi tidak menyebabkan kegagalan total	Kadang-kadang terjadi	Agak sulit dideteksi
Nilai <i>occorance</i> (O)	7				
Pengawasan	Supervisor dan QC				
Nilai <i>detection</i> (D)	6				
Nilai RPN	$9 \times 7 \times 6 = 378$				
Tindakan korektif mitigasi	<ul style="list-style-type: none"> - Memberikan peringatan kepada welder, supervisor, dan QC untuk melakukan pembersihan sebelum melakukan pengelasan - Supervisor dan QC melakukan pengecekan fitup sebelum melakukan pengelasan 	7-8	Dampak besar, sangat mempengaruhi fungsi dan dapat menyebabkan kegagalan signifikan.	Sering terjadi	Sulit dideteksi
Penanggung jawab	Supervisor dan QC	9-10	Dampak sangat besar, menyebabkan kegagalan total atau membahayakan keselamatan	Sangat sering terjadi	Sangat sulit atau hampir tidak mungkin dideteksi

Faktor material merujuk pada potensi kegagalan yang dapat timbul akibat kualitas atau karakteristik bahan yang digunakan dalam suatu proses. Kegagalan ini sering disebabkan oleh variabel seperti ketidaksesuaian spesifikasi material, kontaminasi, atau degradasi bahan, sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 9. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang

berkaitan dengan material dan melakukan analisis terhadap dampaknya serta penilaian probabilitas terjadinya kegagalan tersebut. Dengan pemahaman yang mendalam mengenai faktor material, langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat diimplementasikan untuk memastikan kualitas pada hasil produksi, serta meminimalkan risiko yang terkait dengan penggunaan material yang tidak sesuai.

Tabel 10. Analisa FMEA Faktor Lingkungan

	Material	Skala	S	O	D
Mode kegagalan	<ul style="list-style-type: none"> - Lokasi pekerjaan kotor, banyak kotoran berjatuh ke area pengelasan - Angin terlalu kencang di luar tangki 	1-2	Dampak sangat rendah, kegagalan hampir tidak terasa	Sangat jarang, hampir tidak pernah terjadi	Sangat mudah dideteksi
Akibat kegagalan	<ul style="list-style-type: none"> - Suhu didalam tangki terlalu panas - Hasil pengelasan tidak baik - Terjadi cacat pengelasan <i>porosity</i> 	3-4	Dampak kecil, sedikit mempengaruhi fungsi atau estetika	Jarang terjadi	Cukup mudah dideteksi
Nilai <i>severty</i> (S)	7				
Penyebab	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak memasang alat proteksi seperti fire blanket dll, untuk menghindari angin dan kotoran - Tidak ada blower untuk sirkulasi udara di dalam tangki 	5-6	Dampak sedang, mempengaruhi fungsi tetapi tidak menyebabkan kegagalan total	Kadang-kadang terjadi	Agak sulit dideteksi
Nilai <i>occorance</i> (O)	6				
Pengawasan	Supervisor dan QC				
Nilai <i>detection</i> (D)	4	7-8	Dampak besar, sangat	Sering terjadi	Sulit dideteksi

Nilai RPN	7 x 6 x 4 = 168				mempengaruhi fungsi dan dapat menyebabkan kegagalan signifikan.
Tindakan korektif mitigasi	<ul style="list-style-type: none"> - Supervisor dan QC memberi arahan kepada welder untuk memasang alat proteksi untuk menghindari angin - Memasang blower untuk welder yang mengelas di dalam tangki 				
Penanggung jawab	Supervisor, QC dan HSSE	9-10	Dampak sangat besar, menyebabkan kegagalan total atau membahayakan keselamatan	Sangat sering terjadi	Sangat sulit atau hampir tidak mungkin dideteksi

Faktor lingkungan merujuk pada potensi kegagalan yang dapat muncul akibat kondisi eksternal yang memengaruhi proses atau produk. Kegagalan ini sering disebabkan oleh variabel seperti suhu ekstrem, kelembaban, kontaminasi, atau fluktuasi tekanan lingkungan, sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 10. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang berkaitan dengan faktor lingkungan dan melakukan analisis terhadap dampaknya serta penilaian probabilitas terjadinya kegagalan tersebut. Dengan pemahaman yang mendalam mengenai faktor lingkungan, langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat diimplementasikan untuk meningkatkan ketahanan produk dan memastikan keberlangsungan proses produksi.

Control

Tahap control adalah langkah terakhir yang bertujuan untuk memastikan bahwa tindakan pencegahan dan perbaikan yang diidentifikasi dan diimplementasikan berjalan efektif dalam mengurangi atau menghilangkan risiko kegagalan. Tahap ini melibatkan pemantauan berkelanjutan, evaluasi, dan penyesuaian tindakan dengan melakukan

a) Kontraktor memastikan tindakan pencegahan yang telah direncanakan dalam FMEA dan diimplementasikan di lapangan, seperti material yang akan dilas selalu dibersihkan sebelum pengelasan, memastikan material dan kawat las tidak dalam keadaan basah, memasang alat proteksi pada saat melakukan pengelasan, memastikan hasil *fit up* material sudah dilakukan tepat.

b) Kontraktor memberikan *training* atau pelatihan kepada operator las untuk meningkatkan keterampilan dan pengetahuan teknik pengelasan yang benar.

c) Kontraktor memberikan *training* atau pelatihan kepada mekanik elektrik untuk meningkatkan keterampilan dan pengetahuan tentang barang / perlengkapan elektrik yang menunjang performa pengelasan.

d) Kontraktor melaporkan hasil pemeriksaan *fit up* dalam bentuk laporan ke user untuk dilakukan pemeriksaan dan persetujuan bahwa *fit up* sudah memenuhi standar.

e) Kontraktor melaporkan hasil visual pengelasan pengelasan dalam bentuk laporan ke *user* untuk dilakukan pemeriksaan dan sebagai persetujuan bahwa pengelasan secara visual sudah memenuhi standar dan dapat dilakukan *radiography test*.

f) Kontraktor membuat laporan berupa dokumentasi sebagai upaya pencegahan terjadinya *priority* cacat pengelasan.

g) Melakukan monitoring secara terus-menerus seperti melakukan visual check terkait persiapan pengelasan (*fit up*), visual pengelasan, dan *radiography test*.

h) Membuat *rejection rate* operator las sebagai motivasi dalam upaya mengurangi *defect* pengelasan dengan memberikan penghargaan berupa piagam penghargaan / sertifikasi gratis untuk operator las yang mendapatkan *rejection rate* yang paling rendah dan

peringatan keras ke pada operator yang mendapatkan *rejection rate* yang tinggi.

i) Membuat tindakan mitigasi jika hasil test radiografi mengalami penolakan/reject lebih dari dua kali, maka biaya radiografi test yang ke-3 tidak akan ditanggung oleh klien, tetapi akan ditanggung oleh kontraktor.

Simpulan

Hasil dari penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa faktor manusia dan metode adalah faktor yang sangat signifikan mempengaruhi terjadinya *defect* pada pengelasan, maka perlu adanya penanganan yang serius dan tindakan yang tepat pada faktor manusia dan metode untuk mengurangi tingkat *defect* yang melebihi batas toleransi sebesar 10 %. Hasil dari penelitian ini adalah perlu adanya rekomendasi perbaikan yang dapat diimplementasikan untuk mengurangi tingkat cacat pada proses pengelasan. Fokus utama dari perbaikan ini adalah pada aspek yang dianggap *critical* pada *table critical to quality* (CTQ). Secara lebih detail, hal-hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Hasil dari tahap *measure* dengan menghitung nilai DPMO mendapatkan nilai sigma level 3.18 (Tangki H 4), 2.76 (Tangki 18), dan 2.68 (Tangki B 67). Semakin tinggi nilai sigma yang didapat maka semakin sedikit sedikit jumlah cacat yang terjadi dalam pengelasan, sehingga 6-sigma otomatis lebih baik dari pada 4-sigma, 4-sigma lebih baik dari pada 3-sigma dan seterusnya.

b) Hasil dari analisis diagram pareto mendapatkan nilai persentase porosity sebesar 58 %, dari hasil tersebut menunjuk bahwa cacat *porosity* adalah prioritas permasalahan yang harus dilakukan penanganan.

c) Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa faktor manusia memiliki RPN (*Risk Priority Number*) sebesar 576, yang sangat signifikan dalam mempengaruhi terjadinya *defect*. Oleh karena itu, disarankan untuk mengambil

langkah-langkah yang tepat dalam menangani faktor manusia ini dengan tujuan meningkatkan kualitas hasil pengelasan secara efektif.

d) Faktor Metode juga memiliki dampak besar terhadap terjadinya *defect* dengan RPN (*Risk Priority Number*) sebesar 378. Oleh karena itu, disarankan untuk mengimplementasikan tindakan yang signifikan untuk mengurangi dampak dari faktor metode ini.

Sedangkan beberapa saran dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Menerapkan *Six Sigma* secara berkelanjutan sebagai metode untuk mengontrol kualitas pengelasan dan mengurangi *defect rate* sampai dibawah batas toleransi 10 %.

b) Melakukan pengukuran ulang *six sigma* setelah memperbaiki faktor-faktor penyebab yang mempengaruhi *defect rate* yang tinggi dan *six sigma* dilakukan terus-menerus untuk menekan angka *defect* agar tidak sampai melewati batas toleransi bahkan jauh di bawah batas toleransi.

c) Agar perusahaan dapat lebih efektif dalam melakukan perbaikan, disarankan untuk prioritaskan tindakan perbaikan berdasarkan hasil analisis pareto yang paling tinggi/signifikan. Selain itu, dalam pembuatan diagram *fishbone*, perhatikan faktor-faktor *Critical to Quality* (CTQ) yang memiliki dampak besar terhadap jumlah *defect*.

Daftar Pustaka

- [1] API, *Services Aboveground Storage Tanks*: Matrix Service, 2013.
- [2] Kasda, "Analisis Distribusi Tegangan Pada Dinding Tangki Penyimpan Akibat Cacat Ketidakbulatan (Out of Roundness)," Jurnal Mesa Fakultas Teknik Universitas Subang, 2016.
- [3] Stenberg, "*Quality control and assurance in fabrication of welded structures subjected to fatigue*

- loading,” *Welding in the World*, 61(5), 1003–1015, 2017.
- [4] ASME, “ASME,” 2020. [Online]. Available: <https://www.asme.org/cd/esstandards/findcodesstandards/bpvcixbpvcsectionixweldinbrazingfusi ngqualification/2023/print-book>.
- [5] Sarvestani, “LPG Storage Tank Accidents: Initiating Events, Causes, Scenarios, and Consequences,” *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 21(4), 1305–1314, 2021.
- [6] Movafeghi, “Defect Measurement in Welded Objects by Radiography Testing and Chambolle’s Image Processing Method,” *Journal of Nondestructive Evaluation*, 40(2), 1–9, 2021.
- [7] Tyystjärvi, “Automated defect detection in digital radiography of aerospace welds using deep learning,” *Welding in the World*, 66(4), 643–671, 2022.
- [8] Rohimudin, “Analisis Defect pada Hasil Pengelasan Plate Konstruksi Baja dengan Metode Six Sigma,” *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 2(1), 1–10, 2016.
- [9] N. A. Harsono dan G. P. Liansari, “Usulan Perbaikan Untuk Mengurangi Jumlah Cacat pada Produk Sandal Eiger S-101 Lightspeed dengan menggunakan metode six sigma,” *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 2014.
- [10] A. Waruwu, V. R. Tampubolon, M. A. Pratama dan D. Putri, “Pengendalian Kualitas Metode Six Sigma Untuk Mengurangi Tingkat Kerusakan Produk Kalender di PT. KLM,” *Journal of industrial Management and technology*, 2022.
- [11] F. Kurniadi, F. Handoko och T. Priyasmanu, “Analisis *Welding Defect Rate* dan Penanganannya dengan Metode Six Sigma dan FMEA (Studi kasus: PT. Meindo Elang Indah, Muara Jawa, Kutai Kartanegara, Kaltim),” *Jurnal Valtech (Jurnal Mahasiswa Teknik Industri)*, 2022.
- [12] Sugiyono, “Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D,” 2013.
- [13] Schaleger, “HSE Procedure PDF PDF Welding Construction,” 2024. [Online]. Available: <https://id.scribd.com/document/411039987/HSE-Procedure-pdf>.
- [14] P. Andriani, “Analisis Pengendalian Kualitas Persentase Kadar Air Produk *Wafer Stick* Pada Industri Makanan Ringan,” *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 8(2), 10–17, 2019.
- [15] A. Khatammi. dan A. W. Rizqi, “Analisis Kecacatan Produk Pada Hasil Pengelasan Dengan Menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*),” *Jurnal Serambi Engineering*, 7(2), 2022.
- [16] N. A. C. Mulia dan R., “Pengendalian Kualitas Pengelasan Menggunakan Metode *Statistical Quality Control* (SQC) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) di PT. PAL Indonesia,” *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, 2021.
- [17] Y. Hisprasin dan I. Musfiroh, “Istikawa Diagram dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) sebagai metode yang sering digunakan dalam Manajemen Risiko Mutu di Industri,” *Majalah Farmasetika*, 2021.
- [18] W.A.S. Putra, E. M. Saputra, M. Miftakhurrohman, dan W. D. Lestari. “Analisa Kecacatan pada produk hasil pengelasan dengan metode FMEA dan diagram Pareto Studi Kasus di Perusahaan PT. Aneka Jasa Teknik Gresik,” *Jurnal Teknik Mesin*, 2024.

- [19]R. Y. Hanif, H. S. Rukmi dan S. Susanty, “Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury di PT.X dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA),” Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, 2015.
- [20]J. Elbert, A. B. Setyawan dan S. B. Widjaja, “Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) di PT. Asia Mandiri Lines Surabaya,” Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya, 2019.
- [21]A. S. Cahyadi dan D. Andesta, “Analisis Pengendalian Kualitas Produk Kanopi di Bengkel Las Purnama Karya,” Serambi Engineering, 2022.