

TUGAS AKHIR

**PENGENDALIAN KUALITAS PENGELASAN PADA Pengerjaan
Struktur Baja Modul Kompresor Utama Proyek FPSO P84-
ATAPU - PETROBRAS di PT. SEATRUM BATAM**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memenuhi Gelar Sarjana
Teknik Industri pada Jurusan Teknik Industri Universitas Bung Hatta

Oleh:

MAHYOUHENDRA KAMIL
NPM: 2410017311060



**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA
PADANG
2025**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PENGENDALIAN KUALITAS PENGELASAN PADA Pengerjaan
Struktur Baja Modul Kompresor Utama Proyek FPSO P84-
ATAPU - PETROBRAS DI PT. SEATRUM BATAM**

Oleh:

MAHYOUHENDRA KAMIL
NPM: 2410017311060

Padang, 13 Februari 2026

Disetujui Oleh:
Pembimbing

(DR. AIDIL IKHSAN, S.T, M.T, IPM)
NIDN : 1026126901

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENGENDALIAN KUALITAS PENGELASAN PADA Pengerjaan STRUKTUR BAJA MODUL KOMPRESSOR UTAMA PROYEK FPSO P84- ATAPU - PETROBRAS DI PT. SEATRUM BATAM

Oleh:

MAHYOUHENDRA KAMIL
NPM: 2410017311060

Padang, 13 Februari 2026

Disetujui Oleh:
Pembimbing

(DR. AIDIL IKHSAN, S.T, M.T, IPM)
NIDN : 1026126901

Diketahui Oleh:

Fakultas Teknologi Industri
Dekan,

Jurusan Teknik Industri
Ketua,

(Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti S.T., M.T)
NIK: 990500496

(Ayu Bidiawati JR, S.T., M. Eng)
NIDN: 1025116801

BIODATA



DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Mahyoudhendra Kamil
No. Buku Pokok : 2410017311060
Tempat/Tanggal Lahir : Simp.Kurai Taji/13 Februari 1977
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat Tetap : Perumahan Merapi Subur Blok J1 no 1, Kel.Tembesi,
Kec. Sagulung, Kota Batam, Kepri
Telp. : 081364696209
Email : hendra_kamil@yahoo.com
Nama Orang Tua :
Nama Ayah : Kamil
Nama Ibu : Chuzaimah(Almh)
Pekerjaan : Pensiun Guru
Alamat : Simpang Kr. Taji, Kec. Pariaman Selatan, Pariaman

PENDIDIKAN

Sekolah Dasar : SDN 2 Batang Tajongkek Kurai Taji
Sekolah Lanjutan Pertama : SMPN 3 Pariaman
Sekolah Lanjutan Atas : SMAN 1 Pariaman
Perguruan Tinggi I : Akademi Teknologi Industri Padang (ATIP)
Perguruan Tinggi II : Universitas Bung Hatta

KERJA PRAKTEK

Judul : Pengendalian Kualitas Pengelasan pada pengerjaan
Struktur Baja Modul Kompresor Utama Proyek FPSO
P84 ATAPU- Petrobras di PT. Seatrium Batam
Tempat Kerja Praktek : PT. Seatrium Batam
Tanggal Kerja Praktek : September 2026
Tanggal Seminar : 13 Februari 2026

TUGAS AKHIR

Judul : Pengendalian Kualitas Pengelasan pada pengerjaan
Struktur Baja Modul Kompresor Utama Proyek FPSO
P84 ATAPU- Petrobras di PT. Seatrium Batam
Tempat Penelitian : PT. Seatrium Batam
Tanggal Seminar Hasil : 13 Februari 2026

Padang, 26 Januari 2026

Penulis

MAHYOUEHENDRA KAMIL
NPM: 2410017311060

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mahyoudendra Kamil

NPM : 2410017311060

Menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Pengendalian Kualitas Pengelasan pada pengerjaan Struktur Baja Modul Kompresor Utama Proyek FPSO P84 ATAPU-Petrobras di PT. Seatrium Batam” merupakan hasil penelitian saya kecuali untuk rujukan dari referensi seperti yang di kutip dalam Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini tidak pernah diajukan pada universitas lain ataupun pada gelar sarjana yang lain.

Demikianlah surat ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Padang,

13 Februari 2026

Yang Menyatakan



(Mahyoudendra Kamil)

PERNYATAAN PEMBIMBING

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Pembimbing :

Nama : DR. Aidil Ikhsan, S.T, M.T

NIDN : 1026126901

Menyatakan bahwa Kami telah membaca Tugas Akhir dengan judul “**Pengendalian Kualitas Pengelasan pada pengerjaan Struktur Baja Modul Kompresor Utama Proyek FPSO P84 ATAPU- Petrobras di PT. Seatrium Batam**”. Dalam penilaian Kami, Tugas Akhir ini telah memenuhi kelayakan dalam hal ruang lingkup dan kualitas untuk menjadi persyaratan dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik (ST).

Dinyatakan di : Padang

Tanggal : 13 februari 2026

Pembimbing Nama: DR. Aidil Ikhsan S.T, M.T, IPM NIDN: 1026126901	
---	--

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan pengendalian kualitas pengelasan pada fabrikasi struktur baja modul kompresor proyek FPSO P84-ATAPU – Petrobras di PT Seatrium Batam. Cacat pengelasan teridentifikasi sebagai penyebab utama rework, peningkatan biaya produksi, dan potensi keterlambatan proyek, sehingga diperlukan pendekatan perbaikan kualitas yang sistematis dan berbasis data. Metodologi Six Sigma dengan pendekatan DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) diterapkan untuk mengevaluasi dan meningkatkan kinerja proses pengelasan. Pada tahap Measure, diperoleh nilai Defects Per Million Opportunities (DPMO) sebesar 57.000 dengan tingkat sigma sekitar 3,5, yang menunjukkan bahwa kapabilitas proses masih berada pada tingkat menengah dan memerlukan perbaikan. Analisis Pareto mengidentifikasi jenis cacat dominan, sedangkan diagram sebab-akibat menunjukkan bahwa faktor metode dan faktor manusia merupakan penyebab utama terjadinya cacat. Tahap Improve mencakup standarisasi Welding Procedure Specification (WPS), pengendalian parameter pengelasan yang lebih ketat, peningkatan pengawasan, serta pelatihan dan sertifikasi ulang welder. Tahap Control dilakukan melalui audit berkala dan pemantauan berkelanjutan terhadap nilai DPMO dan tingkat sigma.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Secara keseluruhan, penerapan metode Six Sigma dalam penelitian ini mampu memberikan pendekatan yang sistematis dan berbasis data dalam mengidentifikasi penyebab utama cacat serta merumuskan langkah-langkah perbaikan guna meningkatkan kualitas pengelasan pada proyek FPSO P84-ATAPU.

Kata kunci: Pengendalian kualitas, Six Sigma, Proses pengelasan, Defects Per Million Opportunities (DPMO), Struktur baja offshore

ABSTRACT

This study focuses on improving welding quality control in the fabrication of steel structures for the compressor module of the FPSO P84-ATAPU Project – Petrobras at PT Seatrium Batam. Welding defects were identified as a major cause of rework, cost escalation, and schedule risk, necessitating a structured quality improvement approach. The Six Sigma methodology with the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) framework was applied to evaluate and enhance process performance.

In the Measure phase, process capability analysis resulted in a Defects Per Million Opportunities (DPMO) value of 45,600, corresponding to a sigma level of approximately 3.2, indicating moderate process performance. Pareto analysis identified dominant defect types, while fishbone diagrams revealed that method-related and human factors were the primary root causes.

Improvement actions included standardization of Welding Procedure Specifications (WPS), tighter parameter control, enhanced supervision, and structured welder training and recertification. Sustainability was ensured through periodic audits and continuous monitoring of DPMO and sigma levels.

The findings confirm that Six Sigma provides an effective, data-driven framework for reducing process variation and improving welding quality performance in offshore fabrication projects.

Key words: *Quality Control, Six Sigma, DMAIC, Offshore structure*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: "PENGENDALIAN KUALITAS PENGELASAN PADA Pengerjaan Struktur Baja Modul Kompresor Utama Proyek FPSO P84-ATAPU – PETROBRAS DI PT. SEATRUM BATAM". Penulisan artikel ini disusun sebagai salah satu bentuk penyajian hasil penelitian mengenai penerapan metode Six Sigma dalam meningkatkan kualitas proses pengelasan pada industri konstruksi lepas Pantai sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta Padang.

Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Besar Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam, beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya hingga akhir zaman.

Penulis menyadari bahwa artikel ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga artikel ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi dalam pengembangan penelitian terkait pengendalian kualitas pengelasan di industri manufaktur dan konstruksi.

Batam, 2026

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur peneliti ucapkan kehadiran Allah SWT, atas segala berkah, rahmat, dan karunia-Nya yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, kekuatan, kesabaran, dan kesempatan kepada peneliti sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini. Akan tetapi sesungguhnya peneliti menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka penyusunan skripsi ini tidak dapat berjalan dengan baik. Hingga selesainya penulisan skripsi ini telah banyak menerima bantuan waktu, tenaga dan pikiran dari banyak pihak. Sehubungan dengan itu, maka pada kesempatan ini perkenankanlah peneliti menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda tercinta yang senantiasa mendo'akan, memberikan kasih sayang, serta menjadi sumber kekuatan dan motivasi terbesar bagi penulis.
2. Istriku Fransisca Dessy Afriana serta Anak-anakku tercinta, Mahira Adzra Mardhiyyah, Mahira Juhdatul Yusrah, Mahir Lathif Al-Muwaffaq, yang telah memberikan dorongan dan semangat selalu kepada penulis disela letih dan capek pulang bekerja untuk terus berjuang menyelesaikan proses penelitian dan penulisan karya tulis akhir ini.
3. Bapak DR. Aidil Ikhsan S.T, M.T, IPM selaku dosen pembimbing, atas semua bimbingan dan arahannya selama penyusunan tugas akhir ini
4. Ibu Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri,
5. Ibu Ayu Bidiawati JR, S.T., M. Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, atas dukungan dan support yang diberikan.
6. Keluarga, sahabat, dan rekan-rekan seperjuangan yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu yang telah memberikan semangat dan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Manajemen serta Kawan-kawan sesama Staff di Petrobras yang telah memberikan semangat, kesempatan serta bantuan dalam proses penelitian ini.

8. Manajemen dan seluruh karyawan PT. Seatrium Batam yang telah memberikan kesempatan, dukungan, dan bantuan dalam proses pengumpulan data penelitian.

Semoga Allah SWT, memberikan balasan dengan segala kebaikan dunia dan akhirat atas keikhlasan dan dan kebaikan semua pihak yang telah diberikan kepada penulis.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, perusahaan, serta pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pengendalian kualitas, dan semoga menjadi amal jariyah yang bernilai ibadah di sisi Allah Subhanahu wa Ta'ala. Aamiin ya Rabbal 'alamin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Batam, 13 Februari 2026

Penulis

(Mahyoudendra Kamil)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
BIODATA.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
PERNYATAAN PEMBIMBING	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN LITERATUR.....	8

2.1	Proses Produksi Struktur Baja Modul Kompresor	8
2.1.1.	Penerimaan material dan Verifikasi	8
2.1.2	Pemotongan dan Pembentukan	8
2.1.3.	Fit-Up dan Alignment	8
2.1.4.	Proses Pengelasan	9
2.1.5.	Inspeksi dan Pengujian.....	9
2.1.6.	Perbaikan dan Inspeksi ulang.....	9
2.1.7.	Persiapan permukaan dan Penyelesaian.....	9
2.2	Pengertian Kualitas	9
2.3	Bahan Baku	10
2.3.1	Baja Karbon	10
2.3.2	Kawat Las.....	14
2.4	Kualifikasi dan Kompetensi Personel Pengelasan.....	16
2.4.1	Welder	17
2.4.2	Welding Inspector	18
2.5	Proses Pengelasan.....	21
2.6	Cacat Pengelasan	23
2.7	Metode Inspeksi Pengelasan.....	25
2.7.1.	Inspeksi Visual (Visual Inspection)	25
2.7.2.	Pengujian Non-Destruktif (NDT - Non-Destructive Testing)	26
2.7.3.	Pengujian Destruktif (DT - Destructive Testing).....	26
2.8	Pengendalian Kualitas	27
2.8.1	WPS (Welding Procedure Specification/Spesifikasi Prosedur Pengelasan)	27

2.8.2 ITP (Inspection Test Plan)	28
2.9 Alat Bantu Pengendalian Kualitas	28
2.9.1 Six Sigma	28
2.9.2 Sigma Level	31
2.9.3 Diagram Pareto.....	31
2.9.4 Diagram Sebab-Akibat (Fishbone Chart).....	32
2.9.5 Matrix.....	33
2.10 Penelitian Terdahulu.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	43
3.1 Studi Pendahuluan	43
3.2 Studi Literatur	43
3.3 Identifikasi Masalah.....	44
3.4 Pengumpulan Data.....	44
3.4.1 Jenis-Jenis Pendekatan	44
3.4.2 Objek Penelitian	45
3.4.3 Jenis-Jenis Sumber Data	45
3.4.4 Teknik Pengumpulan Data.....	46
3.5 Pengolahan Data	46
3.5.1 <i>Define</i>	47
3.5.2 <i>Measure</i>	47
3.5.3 <i>Analyze</i>	47
3.5.4 <i>Improve</i>	47
3.5.5 <i>Control</i>	48
3.6 Analisis Data.....	48

3.7 Alur Penelitian	48
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	50
4.1 Pengumpulan Data	50
4.1.1 Proses Pengelasan	50
4.1.2 Jenis Cacat Pengelasan	51
4.1.3 Jumlah Cacat Pengelasan	52
4.2 Pengolahan Data	53
4.2.1 <i>Define</i>	53
A. SIPOC	53
B. Penetapan CTQ (Critical to Quality)	54
C. Diagram Pareto	55
4.2.2 Measure	56
A. <i>Defect Per Unit (DPU)</i>	57
B. Defects Per Million Opportunities (DPMO)	57
C. Perhitungan Sigma Level	58
4.2.3 Analyze	58
4.2.4 Improve	61
4.2.5 Control	62
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN	63
5.1 Analisis Tingkat Cacat Pengelasan	63
5.2 Analisis Diagram Pareto	63
5.3 Analisis Kinerja Proses Berdasarkan DPMO dan Sigma Level	64
5.4 Analisis Penyebab Cacat Pengelasan	64
1. Faktor Man (Manusia)	65

2. Faktor Machine (Mesin).....	65
3. Faktor Method (Metode).....	65
4. Faktor Material.....	65
5. Faktor Environment (Lingkungan)	66
5.5 Analisis Matrix Diagram	66
5.6 Usulan Perbaikan Kualitas.....	66
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	68
6.1 Kesimpulan.....	68
6.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
Sumber Literature: Buku(Book).....	70
Sumber Literature: Jurnal(Journal).....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis-Jenis Cacat Pengelasan.....	24
Tabel 2. 2 Matrix Diagram	34
Tabel 4. 1 Jumlah Cacat Pengelasan.....	53
Tabel 4. 2 SIPOC	54
Tabel 4. 3 Diagram Pareto Data	55
Tabel 4. 4 Check Sheet Cacat Pengelasan	56
Tabel 4. 5 Hubungan Matrix Data analisis	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal.....	11
Gambar 2. 2 Baja ASTM 131 atau ABS Grade.....	13
Gambar 2.3 Baja ASTM 131 atau ABS Grade utk Pipa Rolling	13
Gambar 2.4 Pipa API 5L GR X60	14
Gambar 2. 5 Kawat Las FCAW DW-55SH	15
Gambar 2. 6 Kawat Las FCAWDW-55SH	15
Gambar 2. 7 Pengelasan dengan FCAW	16
Gambar 2. 8 Verifikasi Kawat las SMAW.....	16
Gambar 2. 9 Pengelasan menggunakan SMAW	18
Gambar 4.1 Diagram Pareto.....	55
Gambar 4. 2 Fishbone Chart	59
Gambar 4. 3 Matrix Hubungan Penyebab Cacat ..	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri minyak dan gas bumi merupakan sektor strategis yang menuntut tingkat keandalan, keselamatan, dan konsistensi mutu yang tinggi pada setiap fasilitas produksinya. Kegagalan struktur atau komponen pada fasilitas produksi dapat berdampak serius terhadap keselamatan kerja, kelangsungan operasional, serta menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan. Oleh sebab itu, penerapan sistem pengendalian kualitas yang terencana dan terstruktur menjadi elemen penting dalam setiap tahapan proses fabrikasi.

Menurut *International Organization for Standardization (ISO 9000:2015, Clause 3.6.2)*, kualitas didefinisikan sebagai derajat kesesuaian karakteristik suatu produk atau jasa terhadap persyaratan yang telah ditentukan. Definisi ini menegaskan bahwa kualitas tidak hanya berkaitan dengan hasil akhir, tetapi juga mencakup kemampuan proses dalam memenuhi standar yang telah ditetapkan secara konsisten. Sejalan dengan hal tersebut, *Garvin (1987)* mengemukakan bahwa kualitas dapat dianalisis melalui beberapa dimensi, antara lain kinerja, keandalan, kesesuaian terhadap spesifikasi, daya tahan, serta persepsi pelanggan. Dengan demikian, pengendalian kualitas harus mencakup pengelolaan proses agar mampu menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi teknis secara berkelanjutan.

Dalam perspektif pengendalian proses, *Montgomery (2019)* menjelaskan bahwa variasi merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya ketidaksesuaian atau cacat dalam sistem manufaktur. Variasi yang tidak terkendali pada parameter proses dapat menurunkan stabilitas produksi dan meningkatkan probabilitas terjadinya

cacat. Oleh karena itu, pendekatan berbasis pengurangan variasi menjadi prinsip utama dalam manajemen kualitas modern.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam upaya peningkatan kualitas adalah *Six Sigma*. Antony (2004) menyatakan bahwa *Six Sigma* merupakan pendekatan sistematis berbasis data yang bertujuan untuk mengurangi tingkat cacat dan meningkatkan kapabilitas proses melalui tahapan *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control (DMAIC)*. Penelitian Kumar, Nowicki, dan Ramírez-Márquez (2008) dalam *International Journal of Quality & Reliability Management* juga menunjukkan bahwa implementasi *Six Sigma* mampu meningkatkan stabilitas proses serta menurunkan jumlah defect secara signifikan pada sektor manufaktur.

Dalam industri minyak dan gas, salah satu fasilitas penting dalam sistem produksi adalah modul kompresor utama yang berfungsi sebagai komponen inti dalam sistem penyaluran fluida bertekanan tinggi. Modul tersebut umumnya ditopang oleh struktur baja yang dirancang untuk menahan beban statis maupun dinamis selama masa operasi. Kekuatan dan integritas struktur baja sangat dipengaruhi oleh kualitas sambungan las yang digunakan dalam proses fabrikasi.

Penelitian yang dipublikasikan dalam *Journal of Materials Processing Technology* menyatakan bahwa kualitas hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti arus listrik, kecepatan pengelasan, teknik pengelasan, serta kompetensi operator. Ketidaksesuaian pada parameter tersebut dapat menimbulkan berbagai jenis cacat, antara lain retak (*crack*), porositas (*porosity*), *undercut*, *slag* dan *lack of fusion*. Apabila cacat-cacat tersebut tidak dikendalikan secara efektif, maka dapat menurunkan kekuatan struktur serta meningkatkan risiko kegagalan selama masa operasi. Petrobras sebagai perusahaan minyak dan gas nasional Brasil yang aktif dalam pengembangan proyek *Floating Production, Storage, and Offloading (FPSO)* menerapkan standar mutu yang ketat pada setiap tahapan fabrikasi. *FPSO* merupakan unit terapung yang berfungsi untuk memproduksi, menyimpan, dan menyalurkan minyak atau gas dari bawah laut. Pada proyek pengembangan ATAPU Field P84, Petrobras menunjuk PT Seatrium sebagai fabrikator modul kompresor utama, dengan

fasilitas produksi yang tersebar di beberapa negara seperti Brazil, China, Singapura , termasuk Seatrium Batam, Indonesia.

Penelitian ini dilaksanakan di Seatrium Batam, di mana peneliti bertugas sebagai perwakilan *Quality Department* Petrobras dalam melakukan pengawasan dan pemantauan kualitas pada proses pembuatan struktur baja, pemipaan, dan mekanikal modul kompresor utama. Berdasarkan observasi di lapangan, masih ditemukan beberapa jenis cacat pengelasan yang memerlukan evaluasi lebih lanjut guna mengidentifikasi faktor penyebab dominan serta merumuskan langkah perbaikan yang sistematis.

Mengingat pentingnya pengendalian variasi proses dalam meningkatkan mutu produk, maka diperlukan pendekatan yang berbasis data dan analisis kuantitatif untuk mengurangi tingkat cacat pengelasan. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan metode *Six Sigma* dengan pendekatan *DMAIC* untuk menganalisis kinerja proses pengelasan, mengidentifikasi akar penyebab permasalahan, serta merumuskan usulan perbaikan guna meningkatkan kapabilitas proses dan menurunkan tingkat defect pada pembuatan struktur baja modul kompresor utama proyek FPSO ATAPU Field P84/P85 di PT. Seatrium Batam

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, permasalahan utama dalam penelitian ini berkaitan dengan efektivitas penerapan pengendalian kualitas pada proses pengelasan struktur baja modul kompresor utama. Keberadaan berbagai jenis cacat pengelasan yang masih ditemukan selama proses fabrikasi mengindikasikan adanya ketidakkonsistenan proses yang memerlukan evaluasi dan analisis lebih mendalam.

Penelitian ini memusatkan perhatian pada kajian terhadap sistem pengendalian kualitas pengelasan yang diterapkan, identifikasi dan klasifikasi jenis cacat yang muncul selama proses produksi, serta analisis faktor-faktor yang berkontribusi terhadap timbulnya cacat tersebut. Selain itu, penelitian ini juga

diarahkan untuk menyusun rekomendasi perbaikan yang sistematis guna menekan tingkat cacat dan meningkatkan kinerja proses pengelasan secara berkelanjutan.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi penerapan pengendalian kualitas pada proses pengelasan struktur baja modul kompresor utama proyek FPSO ATAPU Field P84/P85 di Seatrium Batam. Secara khusus, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengkaji sistem pengendalian kualitas yang diterapkan pada proses pengelasan struktur baja modul kompresor utama.
2. Mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis-jenis cacat pengelasan yang terjadi selama proses fabrikasi.
3. Menganalisis faktor-faktor penyebab dominan terjadinya cacat pengelasan menggunakan pendekatan *Six Sigma* dan alat analisis kualitas.
4. Merumuskan usulan perbaikan yang sistematis untuk menurunkan tingkat cacat serta meningkatkan kapabilitas proses pengelasan berdasarkan hasil analisis yang dilakukan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pengendalian kualitas, khususnya terkait penerapan metode *Six Sigma* pada proses pengelasan struktur baja di industri minyak dan gas. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi

referensi tambahan bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan analisis cacat produksi dan peningkatan kapabilitas proses fabrikasi.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dan rekomendasi perbaikan bagi perusahaan dalam upaya meningkatkan efektivitas pengendalian kualitas proses pengelasan. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk menurunkan tingkat cacat pengelasan, meningkatkan konsistensi proses, serta mendukung pencapaian target kualitas proyek sesuai standar yang ditetapkan.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa aspek sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada analisis pengendalian kualitas proses pengelasan pada struktur baja modul kompresor utama proyek yang sedang diteliti.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada data hasil inspeksi pengelasan yang tersedia dan terdokumentasi di perusahaan selama periode pengamatan.
3. Penelitian ini tidak mencakup analisis perhitungan kekuatan struktur, desain sambungan las, maupun kajian teknis terkait perancangan konstruksi baja.

Pembahasan mengenai standar pengelasan mengacu pada spesifikasi dan persyaratan mutu yang berlaku pada proyek yang menjadi objek penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun berdasarkan pedoman penulisan skripsi yang ditetapkan oleh institusi. Adapun susunan penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan sebagai gambaran umum isi skripsi.

BAB II KAJIAN LITERATUR

Bab ini berisi landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep kualitas, pengendalian kualitas, variasi proses, metode *Six Sigma*, tahapan *DMAIC*, serta alat-alat pengendalian kualitas seperti *check sheet*, diagram Pareto, diagram sebab-akibat (*fishbone*), dan *matrix data analysis*. Selain itu, bab ini juga memuat penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar pengembangan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan pendekatan dan metode yang digunakan dalam penelitian, termasuk jenis penelitian, objek dan lokasi penelitian, teknik pengumpulan data, serta tahapan analisis berdasarkan metode *Six Sigma* dengan pendekatan *DMAIC*.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menyajikan data hasil inspeksi pengelasan yang diperoleh dari perusahaan serta proses pengolahan data menggunakan alat-alat pengendalian kualitas, seperti penyusunan *check sheet*, pembuatan diagram Pareto, perhitungan DPU dan DPMO, serta penentuan level sigma.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil pengolahan data secara lebih mendalam, termasuk analisis penyebab cacat menggunakan diagram sebab-akibat dan *matrix data analysis*,

serta evaluasi kinerja proses dan usulan perbaikan untuk meningkatkan kualitas pengelasan.

BAB VI KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan serta saran untuk perbaikan dan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN LITERATUR

2.1 Proses Produksi Struktur Baja Modul Kompresor

Proses produksi struktur baja pada modul kompresor utama merupakan rangkaian aktivitas fabrikasi yang terintegrasi dan dikendalikan melalui sistem manajemen mutu proyek. Dalam industri minyak dan gas lepas pantai, proses ini harus memenuhi standar klasifikasi seperti yang ditetapkan oleh American Bureau of Shipping (ABS), ASTM International, serta American Welding Society (AWS).

Secara umum, tahapan proses produksi struktur baja meliputi:

2.1.1. Penerimaan material dan Verifikasi

Material baja yang diterima diverifikasi berdasarkan Mill Test Certificate (MTC) untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi desain dan standar proyek. Parameter yang diperiksa meliputi komposisi kimia, kekuatan luluh (yield strength), kekuatan tarik, dan ketangguhan impak.

2.1.2 Pemotongan dan Pembentukan

Material dipotong menggunakan mesin CNC cutting atau oxy-fuel cutting sesuai dengan shop drawing. Proses ini harus memperhatikan toleransi dimensi dan kualitas tepi potong untuk menghindari cacat awal sebelum pengelasan.

2.1.3. Fit-Up dan Alignment

Tahap perakitan awal dilakukan untuk memastikan kesesuaian posisi dan celah sambungan (*root gap*). Ketidaktepatan pada tahap ini dapat menyebabkan cacat seperti *lack of fusion* atau *misalignment*.

2.1.4. Proses Pengelasan

Pengelasan dilaksanakan berdasarkan *Welding Procedure Specification (WPS)* yang telah dikualifikasi melalui *Procedure Qualification Record (PQR)*. Parameter penting seperti arus, tegangan, kecepatan pengelasan, dan suhu preheat harus dikontrol untuk menjaga stabilitas proses dan mencegah terbentuknya cacat.

Pada proyek modul kompresor, metode yang umum digunakan adalah:

1. *SMAW (Shield Manual Arc Welding)*
2. *FCAW (Flux Cored Arc Welding)*

2.1.5. Inspeksi dan Pengujian

Setelah proses pengelasan, dilakukan inspeksi visual serta Non-Destructive Testing (NDT) seperti UT, RT, dan MPI untuk memastikan tidak terdapat cacat yang melebihi batas penerimaan sesuai standar proyek sebagaimana juga dinyatakan dalam standar AWS D1.1/D1.1M Structural Welding Code–Steel, cacat pengelasan seperti porosity, crack, dan slag inclusion harus berada dalam batas toleransi tertentu agar sambungan las dinyatakan layak digunakan.

2.1.6. Perbaikan dan Inspeksi ulang

Jika ditemukan cacat, dilakukan proses repair welding sesuai prosedur yang telah disetujui, kemudian dilakukan inspeksi ulang hingga memenuhi kriteria acceptance.

2.1.7. Persiapan permukaan dan Penyelesaian

Tahap akhir meliputi grinding, blasting, dan coating sebagai perlindungan terhadap korosi sebelum pengiriman modul. Dengan memahami alur proses produksi tersebut, maka titik-titik kritis penyebab cacat pengelasan dapat diidentifikasi secara sistematis dalam penelitian ini, khususnya pada tahapan pengelasan dan inspeksi.

2.2 Pengertian Kualitas

Kualitas merupakan konsep utama dalam kegiatan industri yang berkaitan dengan tingkat kesesuaian produk terhadap spesifikasi dan kebutuhan pengguna.

Montgomery (2019) menyatakan bahwa kualitas adalah kemampuan suatu produk atau jasa untuk memenuhi karakteristik yang telah ditentukan secara konsisten. Sementara itu, menurut *American Society for Quality (ASQ)*, kualitas didefinisikan sebagai keseluruhan karakteristik suatu produk yang mampu memenuhi kebutuhan pelanggan.

Dalam industri fabrikasi, khususnya pada pembuatan struktur baja, kualitas memiliki peran penting karena berkaitan langsung dengan kekuatan, kehandalan, serta keselamatan struktur selama masa operasinya. Oleh karena itu, kualitas tidak hanya dinilai dari aspek visual, tetapi juga dari kesesuaian hasil produksi terhadap standar teknis dan persyaratan keselamatan yang berlaku.

2.3 Bahan Baku

Bahan baku struktur baja umumnya adalah logam paduan besi dan karbon dengan kadar karbon lebih rendah dibandingkan besi tuang, memberikan kekuatan dan kelenturan yang ideal untuk konstruksi. Menurut Setiawan (2008), karakteristik fisik dan mekanis baja sangat menentukan kinerja struktur. Baja digolongkan berdasarkan komposisi kimia, proses produksi, dan aplikasi, seperti baja karbon rendah, baja paduan, atau baja tahan korosi. Teori penggunaan baja dalam struktur juga mencakup pengaruh perlakuan panas, ketahanan terhadap beban, dan faktor lingkungan.

Jay Heizer dan Barry Render dalam bukunya *Operations Management – 2014*, hlm. 298 mengatakan bahwa “*Raw materials are basic materials that are transformed into finished products through the production process.*” Bahan baku merupakan material dasar yang digunakan dalam proses produksi dan akan diolah menjadi produk jadi melalui serangkaian proses manufaktur (Heizer & Render, 2014, hlm. 298).

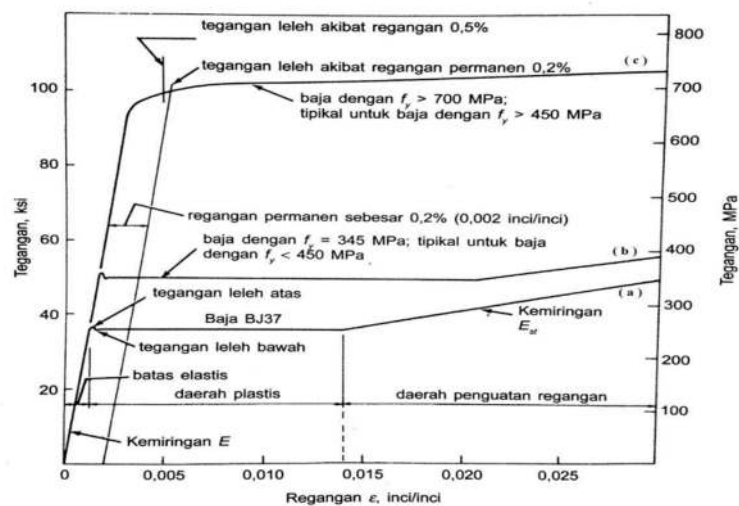
2.3.1 Baja Karbon

Bahan baku utama untuk pembuatan struktur baja main compressor biasanya melibatkan jenis-jenis baja struktural tertentu. Pemilihan bahan ini didasarkan pada kekuatan, ketahanan terhadap tekanan, dan kemampuan tahan terhadap kondisi operasional FPSO yang keras, termasuk getaran dan fluktuasi suhu.

Bahan baku yang umum digunakan meliputi:

1. Baja Karbon (*Carbon steel*)

Baja karbon dibagi menjadi 3 kategori tergantung dari presentase kandungan karbonnya, yaitu baja karbon rendah ($C = 0,03 - 0,035\%$), baja karbon medium ($C = 0,35 - 0,50\%$), dan baja karbon tinggi ($C = 0,55 - 1,70\%$). Baja yang sering digunakan dalam struktur adalah baja karbon medium, misalnya BJ 37. Kandungan karbon baja medium bervariasi dari $0,25 - 0,29\%$ tergantung ketebalan. Selain karbon, unsur lain yang juga terdapat dalam baja karbon adalah mangan ($0,25 - 1,50\%$), Silikon ($0,25 - 0,30\%$), fosfor (maksimal $0,40\%$) dan sulfur ($0,50\%$). Baja karbon menunjukkan peralihan leleh yang jelas, seperti nampak dalam Gambar 2.1, kurva a. Naiknya presentase karbon meningkatkan tegangan leleh namun menurunkan daktilitas, salah satu dampaknya adalah membuat pekerjaan las menjadi lebih sulit. Baja karbon umumnya memiliki tegangan leleh (f_y) antara $210 - 250$ MPa. Baja karbon Rendah seperti Baja karbon ASTM A36 merupakan baja karbon rendah ($0,1\% - 0,3\%$ karbon) yang umum digunakan untuk struktur umum dan memiliki sifat las yang baik, sering dipakai untuk main frame bangunan dan bodi kapal. Contoh spesifik: ASTM A36 banyak digunakan untuk komponen struktur umum.



Gambar 2.1 Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal

Sumber: Setiawan, A. Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, 2013

2. Baja Paduan (*Alloy Steel*):

Untuk aplikasi yang menuntut kekuatan ekstrem, ketahanan lelah yang lebih baik, atau ketahanan korosi, baja paduan dapat digunakan. Unsur paduan seperti nikel, kromium, dan molibdenum ditambahkan untuk meningkatkan sifat-sifat ini. Baja *ABS Grade D40* dapat diklasifikasikan sebagai baja paduan rendah berkekuatan tinggi (*High-Strength Low-Alloy/HSLA*), dan bukan baja karbon rendah biasa, karena kadar karbonnya biasanya berada di rentang yang sedikit lebih tinggi dari batas atas baja karbon rendah dan mengandung unsur paduan tambahan untuk kekuatan yang lebih baik. meskipun kadar karbonnya relatif rendah dibandingkan baja karbon tinggi, penambahan unsur paduan dan sifat mekanik yang tinggi menempatkannya dalam kategori baja paduan rendah berkekuatan tinggi.

3. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*):

Dalam lingkungan tertentu di mana korosi menjadi perhatian utama, seperti di instalasi lepas pantai atau industri kimia, baja tahan karat (seperti Tipe 304 atau 316) dapat digunakan, meskipun biayanya lebih tinggi.

Pemilihan kelas baja yang tepat sangat bergantung pada spesifikasi desain teknik (engineering design) dan standar industri yang berlaku, seperti yang ditetapkan oleh organisasi seperti *ASTM International* atau *American Welding Society (AWS)*, yang memastikan bahan tersebut memenuhi persyaratan keselamatan dan kinerja yang ketat.

Pada Proyek Pembuatan Struktur Baja Modul Kompresor Utama P84/P85 Petrobras ini, ada Beberapa Material yang digunakan yang mengacu kepada persyaratan dari ABS (*American Bureau of Shipping*) untuk Instalasi Bangunan Lepas pantai.

- 1) Untuk Struktur utama : ASTM 131 atau *ABS Grade* (AH40/DH40/EH40) yang merupakan Baja dengan Kekuatan luluh(*Yield strength*) dan ketangguhan benturan(*Impact toughness*) yang tinggi untuk pembuatan Kapal atau Bangunan lepas pantai yang berkinerja tinggi dan dirancang untuk kondisi yang berbeda.



Gambar 2. 2 Baja ASTM 131 atau ABS Grade

- 2) Untuk Struktur dari Plat yang digulung (*Rolled Plate structure*) : ASTM 131 atau *ABS Grade* (AH36/DH36/EH36), digunakan sebagai struktur penunjang dalam bangunan Modul dan *Grade* atau tingkatan Material yang lebih rendah.



Gambar 2.3 Baja ASTM 131 atau ABS Grade utk Pipa Rolling

- 3) Untuk Pipa Baja: API 5L GR X60, yaitu Pipa Baja karbon yang memiliki kekuatan tinggi untuk pipa oil & Gas untuk menyalurkan Fluida, gas dan minyak yang dalam kondisi lingkungan yang ekstrim.



Gambar 2.4 Pipa API 5L GR X60

Baja AH40, DH40, dan EH40 memiliki kekuatan tinggi dan ketahanan benturan yang baik, namun keterjangkauan proses pengelasan tergantung pada kondisi spesifik. Meskipun tidak secara eksplisit dikatakan 'gampang', baja-baja ini dapat dilas dengan teknik yang tepat, termasuk pembersihan mekanis untuk memastikan hasil las berkualitas. Penting untuk mengontrol suhu pra-pemanasan dan pendinginan agar menghindari retak. Dengan persiapan yang baik, pengelasan pada material ini dapat dilakukan secara efektif.

2.3.2 Kawat Las

Kawat las merupakan material pengisi (*filler metal*) yang digunakan dalam proses pengelasan untuk menyatukan dua bagian logam melalui proses pencairan dan pembekuan kembali. Dalam pengelasan busur listrik, kawat las berfungsi ganda, yaitu sebagai penghantar arus listrik untuk membentuk busur las dan sebagai logam tambahan yang akan mencair serta mengisi celah sambungan. Oleh karena itu, pemilihan kawat las harus disesuaikan dengan jenis material dasar dan spesifikasi teknis yang berlaku, karena komposisi kimia serta sifat mekanisnya akan mempengaruhi kekuatan, ketangguhan, dan kualitas akhir sambungan las. Selain itu, cara menyimpan dan memperlakukan kawat las juga akan sangat mempengaruhi kualitas pengelasan. Jeffus dalam bukunya *Welding: Principles and application* mengatakan bahwa Elektroda yang mengandung kelembapan dapat menyebabkan terbentuknya cacat pengelasan seperti porosity pada logam las (Jeffus, 2012, hlm. 94)

Kawat las yang digunakan pada pengelasan FCAW adalah Kawat Las A5.29 seperti CSF-81A1 (E8A11-B2(L)C) sangat cocok untuk pengelasan struktur baja FPSO karena memiliki tingkat ketangguhan tinggi, busur stabil, dan sedikit percikan (*splatter*). Dengan ukuran 1.2 mm dan berat 15 kg, kawat ini mendukung pengelasan di semua posisi menggunakan gas pelindung CO₂ dan polaritas DC+. *Fluks* dalam kawat melindungi sambungan dari kontaminasi, memastikan kualitas las yang andal untuk lingkungan maritim keras seperti *FPSO*.



Gambar 2. 5 Kawat Las FCAW DW-55SH



Gambar 2. 6 Kawat Las FCAWDW-55SH



Gambar 2. 7 Pengelasan dengan FCAW

Selain itu, juga digunakan Pengelasan SMAW dengan menggunakan kawat las E-8016. Elektroda ini juga memiliki stabilitas busur yang baik, kecepatan pengelasan tinggi, dan ketahanan terhadap retak pada suhu rendah—kritis untuk lingkungan maritim. Material baja dengan kekuatan tarik 42–54 kgf/mm² (seperti ST.41) umum digunakan di struktur *FPSO*, sehingga elektroda dengan YP 44,8 kgf/mm² dan CIV (0°C) yang baik sangat ideal. Juga, kualitas salutan yang stabil memastikan kualitas sambungan yang andal dalam kondisi lapangan ekstrem



Gambar 2. 8 Verifikasi Kawat las SMAW

2.4 Kualifikasi dan Kompetensi Personel Pengelasan

Dalam proyek fabrikasi struktur baja, kualitas hasil pengelasan tidak hanya ditentukan oleh material dan metode yang digunakan, tetapi juga oleh kompetensi

personel yang melaksanakan pekerjaan tersebut. Oleh karena itu, setiap tenaga kerja yang terlibat dalam proses pengelasan wajib memenuhi persyaratan kualifikasi yang telah ditetapkan dalam sistem manajemen proyek serta standar internasional yang berlaku.

2.4.1 Welder

Welder sebagai pelaksana utama proses pengelasan harus memiliki sertifikasi kompetensi yang diperoleh melalui *Welding Qualification Test (WQT)*. Uji kualifikasi ini dilaksanakan berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh organisasi profesi dan badan klasifikasi internasional seperti *American Welding Society (AWS)* maupun *American Bureau of Shipping (ABS)*.

Untuk menjadi *welder* di Proyek P84 ATAPU Petrobras, ada beberapa kualifikasi yang perlu dimiliki. Dari segi pendidikan, biasanya minimal lulusan SMA atau SMK, terutama jurusan teknik pengelasan atau teknik mesin. Lulusan pelatihan kerja atau BLK juga memiliki peluang yang baik. Sertifikasi menjadi nilai penting, seperti sertifikat posisi pengelasan (3G, 4G, atau 6G) dan lulus *Welding Qualification Test (WQT)* yang diadakan oleh PT. Seatrium yang kemudian akan disertifikasi oleh Pihak ketiga dalam hal ini dari Grup ABS dan disnaker .

Kualifikasi *welder* mencakup beberapa aspek penting, antara lain:

1. Posisi pengelasan (misalnya 1G, 2G, 3G, 4G, atau 6G),
2. Jenis proses pengelasan yang digunakan (SMAW, FCAW, GTAW, dan lainnya),
3. Jenis material dan rentang ketebalan tertentu.

Sertifikasi tersebut bersifat terbatas pada ruang lingkup yang diuji. Dengan demikian, seorang *welder* hanya diperkenankan melakukan pekerjaan sesuai dengan posisi, proses, dan material yang tercantum dalam sertifikatnya. Apabila terdapat perubahan variabel esensial, maka diperlukan pengujian ulang untuk memastikan kompetensi tetap sesuai dengan persyaratan.

Selain itu, *welder* harus memiliki kemampuan teknis seperti membaca gambar teknik, memahami simbol pengelasan, mengetahui prosedur pengelasan (WPS), serta menguasai beberapa metode las seperti SMAW, GTAW (TIG), FCAW, dan GMAW (MIG).

Dari sisi fisik dan sikap kerja, *welder* dituntut memiliki kondisi tubuh yang baik, penglihatan yang jelas, tidak buta warna, serta mampu bekerja di lingkungan panas dan posisi sulit. Kedisiplinan, ketelitian, dan kepatuhan terhadap standar keselamatan kerja juga sangat diperlukan.



Gambar 2. 9 Pengelasan menggunakan SMAW

2.4.2 Welding Inspector

Welding Inspector merupakan personel yang bertanggungjawab dalam melakukan pengawasan dan verifikasi terhadap seluruh tahapan proses pengelasan guna memastikan kesesuaian dengan standar, spesifikasi teknis, serta prosedur yang telah ditetapkan. Peran ini sangat penting dalam proyek fabrikasi struktur baja karena hasil pengelasan secara langsung mempengaruhi integritas dan keselamatan struktur. Dalam proyek fabrikasi struktur baja, khususnya pada industri minyak dan gas lepas pantai, fungsi inspector menjadi sangat krusial karena kualitas sambungan las berpengaruh langsung terhadap integritas struktural dan keselamatan operasional.

Menurut standar yang diterbitkan oleh *American Welding Society*, fungsi inspeksi pengelasan mencakup pemeriksaan pra-pengelasan, pengawasan selama proses pengelasan, serta evaluasi pasca-pengelasan melalui metode inspeksi visual dan non-destruktif. Inspector harus memastikan bahwa seluruh variabel esensial yang tercantum dalam *Welding Procedure Specification (WPS)* dipatuhi secara konsisten.

Secara umum, tugas dan tanggung jawab *Welding Inspector* meliputi pengawasan terhadap tahapan pra-pengelasan, selama proses pengelasan, hingga pasca-pengelasan. Pada tahap pra-pengelasan, *Welding Inspector* melakukan verifikasi terhadap:

1. Kesesuaian material dengan spesifikasi yang telah ditetapkan dan tercantum dalam Gambar yang sudah disetujui oleh Pihak *Engineering*.
2. Validitas sertifikat *welder* untuk memastikan *welder* telah melewati uji pengelasan dan sertifikat yang dimiliki *welder* tersebut masih dalam batas aktif sertifikat.
3. Persetujuan prosedur pengelasan (WPS)

Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh persyaratan teknis telah dipenuhi sebelum proses pengelasan dimulai.

Selama proses pengelasan berlangsung, *Welding Inspector* melakukan pemantauan terhadap parameter pengelasan seperti arus, tegangan, jenis elektroda atau kawat las, suhu material ketika sedang di las (*Interpass temperature*) serta posisi pengelasan yang digunakan. Pengawasan ini dilakukan untuk memastikan kesesuaian dengan variabel esensial yang tercantum dalam WPS. Ketidaksesuaian terhadap variabel tersebut dapat berpotensi menimbulkan cacat seperti *undercut*, *slag*, *porosity*, *lack of fusion*, atau retak.

Pada tahap pasca-pengelasan, *Welding Inspector* melakukan inspeksi visual serta mengoordinasikan pelaksanaan pengujian non-destruktif (*Non-Destructive Testing/NDT*). Evaluasi hasil pengujian dilakukan berdasarkan kriteria penerimaan yang mengacu pada standar yang berlaku, seperti yang ditetapkan oleh *American*

Welding Society (AWS) atau badan klasifikasi seperti *American Bureau of Shipping (ABS)* juga mengacu kepada ITP proyek..

Untuk dapat menjalankan fungsi tersebut secara profesional, seorang *Welding Inspector* diwajibkan memiliki kompetensi yang dibuktikan melalui sertifikasi yang diakui secara internasional. Salah satu sertifikasi yang digunakan dalam proyek P84 ATAPU-Petrobras proyek ini adalah *CSWIP 3.1 Welding Inspector*, yang juga banyak digunakan dalam industri konstruksi dan fabrikasi yang diterbitkan oleh *The Welding Institute (TWI)* yang berbasis di Negara Inggris. Sertifikasi ini menunjukkan bahwa pemegangnya telah memenuhi persyaratan kompetensi dalam memahami kode dan standar pengelasan, melakukan inspeksi visual, menginterpretasikan hasil pengujian, serta menyusun laporan inspeksi secara sistematis.

Selain CSWIP, terdapat pula sertifikasi lain yang diakui secara internasional seperti *Certified Welding Inspector (CWI)* yang diterbitkan oleh *AWS (American Welding Society)* yang berbasis di Amerika.. Kepemilikan sertifikasi tersebut memastikan bahwa *inspector* memiliki kemampuan analitis dan teknis dalam mengevaluasi kualitas hasil pengelasan sesuai standar global.

Dalam sistem manajemen proyek, *Welding Inspector* juga berperan dalam memastikan kepatuhan terhadap *Inspection Test Plan (ITP)* serta mendokumentasikan seluruh hasil pemeriksaan sebagai bagian dari *quality record* proyek. Dokumentasi ini menjadi bukti bahwa proses fabrikasi telah dilaksanakan sesuai prosedur dan menjadi referensi apabila terjadi audit maupun evaluasi teknis di kemudian hari.

Dengan adanya *Welding Inspector* yang kompeten dan tersertifikasi, sistem pengendalian kualitas pengelasan dapat berjalan secara efektif. Hal ini tidak hanya berfungsi untuk mendeteksi cacat, tetapi juga sebagai mekanisme pencegahan (*preventive control*) guna meminimalkan potensi kegagalan struktur yang dapat menimbulkan risiko keselamatan maupun kerugian ekonomi.

Penerapan sistem kualifikasi personel ini merupakan bagian dari upaya pengendalian mutu yang bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh tahapan

pengelasan dilaksanakan oleh tenaga kerja yang kompeten, sehingga potensi terjadinya cacat dapat diminimalkan secara sistematis.

Penelitian yang dipublikasikan dalam *International Journal of Pressure Vessels and Piping* menunjukkan bahwa penerapan sistem inspeksi yang dilakukan oleh inspector tersertifikasi secara signifikan meningkatkan acceptance rate hasil las dan menurunkan tingkat rework pada proyek industri berat. Studi lain dalam *Engineering Failure Analysis* juga menyimpulkan bahwa kurangnya pengawasan inspeksi merupakan salah satu faktor utama penyebab kegagalan sambungan las pada struktur industri.

2.5 Proses Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan dua material atau lebih dengan menggunakan panas, tekanan, atau kombinasi keduanya sehingga terbentuk ikatan metalurgi. Jeffus (2012) menyatakan bahwa kualitas hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti arus pengelasan, tegangan, kecepatan pengelasan, serta keterampilan juru las.

Dalam pembuatan struktur baja untuk modul industri, pengelasan merupakan proses utama yang menentukan kekuatan dan keandalan struktur. Oleh karena itu, proses pengelasan harus dilaksanakan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh bagian *Welding Engineering* yang dituangkan dalam sebuah prosedur yang dikenal dengan istilah *Welding Procedure Specification (WPS)* yang telah disetujui, serta dilakukan oleh juru las yang memiliki kualifikasi sesuai standar.

Proses Pengelasan tergantung pada teknik pengelasan yang digunakan. Teknik pengelasan ini terbagi atas beberapa teknik:

1. *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)*: Menggunakan elektroda berlapis fluks berbentuk stik; populer, sederhana, cocok untuk baja berat, tapi lebih lambat.

2. *GMAW (Gas Metal Arc Welding/MIG)*: Menggunakan kawat elektroda kontinu dan gas pelindung; cepat, efisien, hasil halus, baik untuk produksi massal.
3. *GTAW (Gas Tungsten Arc Welding/TIG)*: Menggunakan elektroda tungsten non-konsumsi dan gas pelindung; menghasilkan las sangat akurat, halus, bagus untuk logam tipis dan estetika (perhiasan).
4. *FCAW (Flux-Cored Arc Welding)*: Mirip GMAW tapi kawatnya berisi fluks; digunakan di luar ruangan karena fluks memberikan perlindungan tambahan.
5. *SAW (Submerged Arc Welding)*: Busur listrik terendam di bawah lapisan fluks padat, biasanya otomatis.

Pada pekerjaan fabrikasi struktur baja berskala besar, seperti modul kompresor pada proyek FPSO P84/P85 Petrobras ini, salah satu metode pengelasan yang diterapkan adalah *Flux Cored Arc Welding (FCAW)*. Proses FCAW menggunakan elektroda berbentuk kawat *tubular* yang di dalamnya mengandung fluks. Selama proses pengelasan berlangsung, fluks tersebut akan menghasilkan gas pelindung dan terak (*slag*) yang berfungsi melindungi logam cair dari pengaruh atmosfer, sehingga meminimalkan terjadinya oksidasi dan kontaminasi.

Flux Cored Arc Welding (FCAW) merupakan salah satu proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda berbentuk kawat tubular berisi fluks. Proses ini dikembangkan sebagai kombinasi antara keunggulan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* dan *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*, sehingga mampu memberikan produktivitas tinggi dengan kualitas sambungan yang baik.

Menurut *American Welding Society (AWS)*, *FCAW* termasuk dalam proses pengelasan semi-otomatis atau otomatis yang memanfaatkan busur listrik antara kawat elektroda kontinu dan logam dasar. Fluks di dalam kawat akan menghasilkan gas pelindung dan slag yang berfungsi melindungi logam cair dari kontaminasi atmosfer.

FCAW banyak digunakan dalam industri konstruksi berat, galangan kapal, serta proyek minyak dan gas lepas pantai karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

1. Tingkat deposisi logam tinggi
2. Penetrasi yang baik pada material tebal
3. Produktivitas tinggi dibandingkan *SMAW*
4. Cocok untuk posisi vertikal dan overhead
5. Lebih toleran terhadap kondisi lapangan dibanding *GMAW*

Penelitian dalam jurnal *Welding Journal* menunjukkan bahwa pada proses *FCAW*, cacat yang umum terjadi meliputi:

1. *Porosity* akibat kelembaban fluks atau gas shielding tidak stabil
2. *Slag inclusion* akibat teknik pembersihan antar lapisan yang tidak optimal
3. *Lack of fusion* akibat parameter arus yang tidak sesuai
4. *Undercut* akibat kecepatan pengelasan terlalu tinggi

Studi yang dipublikasikan dalam jurnal *open access Materials (MDPI)* juga menjelaskan bahwa variasi arus dan tegangan pada *FCAW* berpengaruh signifikan terhadap pembentukan *bead geometry* dan potensi cacat internal.

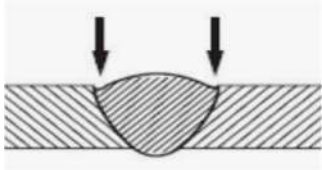
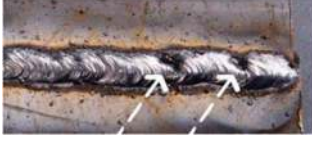
2.6 Cacat Pengelasan

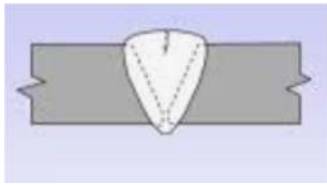
Cacat pengelasan merupakan ketidaksesuaian hasil pengelasan terhadap kriteria penerimaan yang telah ditetapkan dalam standar. Menurut *American Welding Society*, cacat pengelasan dapat terjadi akibat kesalahan prosedur, keterampilan operator, kondisi material, maupun pengaruh lingkungan kerja.

Beberapa jenis cacat pengelasan yang umum ditemukan pada struktur baja antara lain *undercut*, *porosity*, *slag inclusion*, *lack of fusion*, dan retak. Keberadaan cacat tersebut dapat menurunkan kekuatan sambungan las dan berpotensi

menyebabkan kegagalan struktur apabila tidak terdeteksi dan dikendalikan dengan baik.

Tabel 2. 1 Jenis-Jenis Cacat Pengelasan

Jenis Cacat	Penjelasan	Bentuk Cacat	Aktual Bentuk cacat
<i>Under Cut</i> (Takik Cekung)	Alur atau takik yang terbentuk padaMaterial induk di tepi lasan		
<i>Porosity</i>	Lubang-lubang kecil seperti sarang semut akibat gas yang terperangkap dalam logam las.		
<i>Slag Inclusion</i> (Inklusi Terak)	Terak (slag) padat terperangkap di dalam logam las.		
<i>Lack of Fusion</i>	cacat pengelasan di mana logam las gagal menyatu sepenuhnya dengan logam induk atau antar lapisan las		

<i>Crack/ Retak</i>	Retakan pada logam las, HAZ (Heat Affected Zone), atau logam dasar, bisa panas (saat panas) atau dingin (setelah membeku).		
---------------------	--	--	---

Sumber: AWS D1.1:2020

2.7 Metode Inspeksi Pengelasan

Metode inspeksi pengelasan meliputi tiga tahap (sebelum, selama, sesudah) dan dibagi menjadi inspeksi visual, Pengujian Non-Destruktif (NDT) seperti penetrasi, partikel magnetik, ultrasonik, dan radiografi untuk cacat internal, serta Pengujian Destruktif (DT) seperti uji tarik, impak, dan bending untuk menguji kekuatan fisik las, dengan tujuan memastikan kualitas, integritas struktural, dan keamanan sambungan las.

Inspeksi pengelasan merupakan bagian dari sistem pengendalian kualitas yang bertujuan untuk memastikan bahwa hasil pengelasan memenuhi persyaratan standar dan spesifikasi teknis. *Hellier (2013)* menyatakan bahwa inspeksi pengelasan dapat dilakukan melalui metode inspeksi tidak merusak (*Non-Destructive Testing/NDT*) untuk mendeteksi cacat tanpa merusak material.

2.7.1. Inspeksi Visual (Visual Inspection)

Inspeksi visual Ini adalah metode paling umum, dilakukan secara langsung atau dengan bantuan alat bantu visual (seperti mikroskop atau pemindai laser), untuk memeriksa:

- 1) Pra-pengelasan: Kesiapan bahan, desain, dan area kerja.
- 2) Selama pengelasan: Parameter proses, ukuran, dan keselarasan las.

- 3) Pasca-pengelasan: Geometri (ukuran, rata-rata, kelengkungan), kebersihan, dan adanya cacat permukaan.

2.7.2. Pengujian Non-Destruktif (NDT - Non-Destructive Testing)

Tidak merusak komponen, umum digunakan untuk deteksi cacat internal:

- a) Cairan Penetran (*Liquid Penetrant Testing*): Menemukan retakan atau pori permukaan dengan penetran berwarna yang meresap, lalu developer yang menariknya keluar menjadi indikasi.
- b) Partikel Magnetik (*Magnetic Particle Testing - MPI*): Untuk material feromagnetik, mendeteksi cacat permukaan/sub-permukaan dengan partikel magnetik yang tertarik pada kebocoran fluks magnetik.
- c) Ultrasonik (*Ultrasonic Testing - UT*): Menggunakan gelombang suara untuk mendeteksi cacat internal atau mengukur ketebalan.
- d) Radiografi (*Radiography Testing - RT*): Menggunakan sinar-X atau sinar gamma untuk melihat cacat internal, seperti porositas atau inklusi.
- e) *Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT)*: Menggunakan gelombang suara untuk mendeteksi cacat internal atau mengukur ketebalan dan hasil pengujian langsung tercatat secara dalam sistem mesin.

2.7.3. Pengujian Destruktif (DT - Destructive Testing)

Pengujian dengan memotong bahan las sebagai sampel las untuk menguji batas kekuatannya:

- a. Uji Tarik (*Tensile Test*): Mengukur kekuatan tarik las.
- b. Uji Bending (*Bend Test*): Mengevaluasi keuletan dan kekuatan tekuk las (bengkokkan sampel).
- c. Uji Impak (*Impact Test*): Mengukur ketahanan las terhadap benturan mendadak.

- d. *Macro Etching*: Menampilkan struktur mikro las pada potongan sampel setelah diberi etsa kimia.

2.8 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan serangkaian aktivitas terencana yang dilakukan untuk memastikan bahwa proses produksi berjalan sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan. Menurut Duncan (2001), pengendalian kualitas meliputi kegiatan pengukuran, evaluasi, dan tindakan korektif terhadap proses produksi guna mencegah terjadinya penyimpangan mutu.

Pengendalian kualitas bertujuan untuk meminimalkan jumlah cacat, meningkatkan konsistensi hasil produksi, serta mengurangi biaya yang timbul akibat rework dan kegagalan produk. Dalam proses pengelasan struktur baja, pengendalian kualitas menjadi aspek yang sangat krusial karena kegagalan sambungan las dapat menimbulkan risiko keselamatan dan kerugian operasional yang signifikan.

Kegagalan produk yang terjadi Ketika proses pengelasan ini dipengaruhi oleh berbagai macam faktor baik secara material, personel yang melakukan kegiatan produksi, metode dan lingkungan sekitarnya. Nancy R-Tague dalam bukunya yang berjudul *The Quality Toolbox* mengatakan bahwa Permasalahan kualitas dalam proses produksi umumnya disebabkan oleh beberapa faktor utama seperti manusia, mesin, metode kerja, material, dan lingkungan kerja (Tague, 2005, hlm. 247).

2.8.1 WPS (Welding Procedure Specification/Spesifikasi Prosedur Pengelasan)

Adalah Spesifikasi Prosedur Pengelasan (WPS) adalah dokumen formal yang merinci bagaimana pengelasan tertentu harus dilakukan, mencakup segala hal mulai dari logam dasar/pengisi, proses pengelasan, desain sambungan, dan pengaturan listrik hingga suhu pemanasan awal/antar-lintasan, memungkinkan prosedur Pra-kualifikasi (mengikuti tabel kode tanpa pengujian) atau Kualifikasi melalui pengujian (memerlukan Catatan Kualifikasi Prosedur - PQR) untuk memastikan integritas struktural sehingga bisa mengendalikan Kualitas sesuai dengan yang diinginkan.

2.8.2 ITP (Inspection Test Plan)

ITP (Inspection and Test Plan) adalah dokumen penting yang menguraikan langkah-langkah pengendalian mutu, mendefinisikan titik inspeksi, tanggung jawab, dan kriteria penerimaan untuk proyek pengelasan struktural, memastikan kepatuhan terhadap kode dengan merinci apa, kapan, dan bagaimana memeriksa dan menguji material, prosedur, dan hasil pengelasan yang telah selesai, bertindak sebagai peta jalan untuk jaminan mutu selama tahap fabrikasi dan pemasangan.

2.9 Alat Bantu Pengendalian Kualitas

Dalam disiplin Teknik Industri, pengendalian kualitas didukung oleh berbagai alat bantu analisis yang bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan dan menentukan prioritas perbaikan. *Montgomery (2019)* menyatakan bahwa alat bantu pengendalian kualitas memungkinkan analisis yang sistematis terhadap data cacat dan variasi proses.

Dalam penelitian ini, alat bantu pengendalian kualitas tidak digunakan secara terpisah, melainkan diposisikan sebagai bagian integral dari penerapan metode *Six Sigma*. *Six Sigma* digunakan sebagai metode pengendalian dan peningkatan kualitas, sedangkan alat bantu pengendalian kualitas berperan sebagai instrumen analisis yang mendukung setiap tahapan dalam siklus DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*).

Adapun alat bantu pengendalian kualitas yang digunakan dalam penelitian ini diposisikan sebagai bagian dari penerapan metode *Six Sigma* melalui tahapan DMAIC, yaitu sebagai berikut:

2.9.1 Six Sigma

Six Sigma, digunakan sebagai alat bantu pengendalian dan peningkatan kualitas yang berfokus pada pengurangan variasi proses dan jumlah cacat pengelasan. Dalam penelitian ini, pendekatan *Six Sigma* diterapkan melalui tahapan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*) untuk mengukur tingkat kinerja proses pengelasan, menganalisis akar penyebab cacat, serta merumuskan usulan

perbaikan dan pengendalian kualitas secara berkelanjutan guna meningkatkan kualitas hasil pengelasan.

Tahapan *Six Sigma* (DMAIC) sebagai Alat Bantu Penelitian adalah sebagai berikut:

1. Define

Menentukan:

- a) Karakteristik kualitas kritis (CTQ) pada hasil pengelasan
- b) Jenis cacat pengelasan yang sering terjadi
- c) Standar kualitas yang digunakan (misalnya standar AWS/ASME)

2. Measure

Melakukan pengukuran terhadap:

- a) Jumlah sambungan las yang diperiksa
- b) Jumlah dan jenis cacat las berdasarkan hasil inspeksi (VT, RT, UT, PT)
- c) Nilai *Defect Per Unit (DPU)* dan *Defects Per Million Opportunities (DPMO)*

Defects Per Million Opportunities (DPMO) merupakan salah satu ukuran yang digunakan dalam metode *Six Sigma* untuk mengukur tingkat kecacatan dalam suatu proses produksi. DPMO menunjukkan jumlah cacat yang terjadi dalam satu juta peluang terjadinya cacat.

Perhitungan DPMO dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DPMO = \frac{\text{Jumlah cacat}}{\text{Jumlah unit} \times \text{Peluang Cacat}} \times 1.000.000$$

Nilai DPMO yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan tingkat Sigma Level dari proses yang dianalisis. Semakin kecil nilai DPMO, maka semakin baik kualitas proses yang dihasilkan.

Pada tahap Measure ini, digunakan *Check Sheet* dalam siklus DMAIC sebagai alat pencatatan data hasil inspeksi pengelasan untuk mengelompokkan jenis dan jumlah cacat secara sistematis. Data yang diperoleh dari *check sheet* menjadi dasar dalam pengukuran kinerja proses pengelasan.

3. Analyze

Menganalisis:

- a) Penyebab utama cacat pengelasan menggunakan diagram Pareto dan *fishbone*
- b) Faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan yang mempengaruhi kualitas las

4. Improve

Tahap *Improve* merupakan tahap keempat dalam metodologi DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) pada pendekatan *Six Sigma*. Menurut George (2002), tahap *Improve* bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan solusi yang dapat menghilangkan akar penyebab masalah sehingga variasi proses dapat ditekan dan kinerja kualitas meningkat secara signifikan. Pada tahap ini dilakukan perancangan tindakan korektif berdasarkan hasil identifikasi akar penyebab pada tahap *Analyze*.

Berdasarkan hasil analisis Pareto, diketahui bahwa sebagian besar cacat pengelasan disebabkan oleh beberapa jenis cacat dominan. Selanjutnya melalui diagram *fishbone* (*Ishikawa*) diperoleh faktor-faktor penyebab yang berasal dari aspek *Man* (manusia), *Method* (metode), *Machine* (mesin), dan *Material* (material). Hasil *Matrix Data Analysis* menunjukkan bahwa faktor metode dan manusia memiliki skor pengaruh tertinggi sehingga menjadi prioritas utama dalam perancangan tindakan perbaikan.

Menurut Pande, Neuman, & Cavanagh (2000), perbaikan dalam *Six Sigma* harus bersifat:

1. Berbasis data (*data-driven*)
2. Terukur (*measurable*)

3. Berkelanjutan (*sustainable*)

4. Berorientasi pada pengurangan variasi

5. *Control*

Melakukan pengendalian melalui:

- a) Penerapan checklist inspeksi pengelasan
- b) Monitoring hasil NDT secara berkala
- c) Evaluasi berkelanjutan terhadap kualitas hasil las

Penggunaan alat-alat tersebut diharapkan mampu memberikan dasar yang kuat dalam penyusunan usulan perbaikan sistem pengendalian kualitas pengelasan.

2.9.2 Sigma Level

Sigma Level merupakan indikator yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kapabilitas suatu proses dalam menghasilkan produk yang bebas dari cacat. Dalam metode Six Sigma, tingkat kualitas proses dinyatakan dalam skala sigma yang berkisar antara satu hingga enam sigma.

Proses yang memiliki nilai sigma yang tinggi menunjukkan bahwa tingkat kecacatan dalam proses tersebut relatif rendah. Oleh karena itu, peningkatan sigma level menjadi salah satu tujuan utama dalam penerapan metode Six Sigma dalam pengendalian kualitas.

2.9.3 Diagram Pareto

Diagram Pareto merupakan salah satu alat analisis yang digunakan dalam pengendalian kualitas untuk mengidentifikasi jenis masalah yang paling dominan terjadi dalam suatu proses produksi. Prinsip dasar diagram Pareto didasarkan pada konsep 80/20, yaitu sekitar 80% permasalahan biasanya disebabkan oleh 20% faktor penyebab utama.

Dalam penelitian ini, diagram Pareto digunakan untuk mengidentifikasi jenis cacat pengelasan yang paling sering terjadi selama proses fabrikasi struktur baja. Dengan menggunakan diagram ini, peneliti dapat menentukan jenis cacat yang perlu diprioritaskan dalam upaya perbaikan kualitas.

Diagram Pareto digunakan pada tahap Analyze untuk mengidentifikasi jenis cacat pengelasan yang paling dominan berdasarkan data hasil pengukuran. Diagram ini membantu dalam penentuan prioritas permasalahan yang perlu mendapatkan perhatian utama dalam upaya perbaikan kualitas.

2.9.4 Diagram Sebab-Akibat (Fishbone Chart)

Fishbone diagram atau diagram sebab akibat merupakan alat analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi berbagai faktor yang dapat menyebabkan terjadinya suatu permasalahan. Diagram ini sering disebut juga sebagai Ishikawa Diagram.

Dalam penelitian ini, fishbone diagram digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya cacat pengelasan. Faktor penyebab tersebut umumnya dikelompokkan ke dalam beberapa kategori utama, antara lain:

1. Man (tenaga kerja)
2. Machine (peralatan)
3. Method (metode kerja)
4. Material
5. Environment (lingkungan kerja)

Dengan menggunakan fishbone diagram, peneliti dapat mengidentifikasi hubungan antara faktor-faktor tersebut dengan jenis cacat pengelasan yang terjadi.

Fishbone diagram digunakan pada tahap Analyze sebagai alat bantu untuk menganalisis akar penyebab terjadinya cacat pengelasan. Analisis dilakukan dengan

mengelompokkan faktor penyebab ke dalam kategori manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan kerja.

2.9.5 Matrix

Matrix diagram merupakan salah satu alat analisis yang digunakan dalam manajemen kualitas untuk menunjukkan hubungan antara dua atau lebih kelompok faktor yang saling berkaitan. Alat ini membantu peneliti dalam memahami keterkaitan antar variabel yang mempengaruhi suatu permasalahan kualitas secara sistematis dan terstruktur. Dengan menggunakan matrix diagram, hubungan antara penyebab masalah dan dampak yang ditimbulkan dapat dianalisis dengan lebih jelas sehingga memudahkan dalam menentukan prioritas tindakan perbaikan.

Menurut Vincent Gaspersz, matrix diagram merupakan metode yang digunakan untuk menggambarkan keterkaitan logis antara beberapa elemen dalam suatu sistem. Melalui penyusunan matrix, hubungan antar faktor dapat diidentifikasi secara lebih terstruktur sehingga membantu dalam proses analisis masalah serta penentuan strategi peningkatan kualitas.

Dalam praktik pengendalian kualitas modern, khususnya dalam pendekatan Six Sigma, matrix diagram sering dimanfaatkan sebagai alat bantu analisis pada tahap Analyze. Pada tahap ini, matrix diagram digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara berbagai faktor penyebab dengan jenis cacat atau permasalahan yang muncul dalam proses produksi. Dengan adanya pemetaan hubungan tersebut, faktor yang memiliki pengaruh paling besar terhadap terjadinya cacat dapat diidentifikasi sehingga upaya perbaikan dapat difokuskan pada aspek yang paling signifikan.

Pada kegiatan fabrikasi struktur baja, penggunaan matrix diagram dapat membantu dalam menganalisis hubungan antara beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas pengelasan, seperti faktor manusia (kompetensi welder), metode kerja, kondisi peralatan, karakteristik material, serta kondisi lingkungan kerja. Faktor-faktor tersebut kemudian dikaitkan dengan jenis cacat pengelasan yang ditemukan selama proses inspeksi.

Dalam penelitian ini, matrix diagram digunakan sebagai salah satu alat bantu analisis untuk mengidentifikasi hubungan antara faktor-faktor penyebab dengan jenis cacat pengelasan yang terjadi pada proses pembuatan struktur baja modul kompresor. Hasil analisis tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap terjadinya cacat pengelasan, sehingga dapat dijadikan dasar dalam merumuskan langkah-langkah perbaikan dan peningkatan kualitas proses pengelasan.

Tabel 2. 2 Matrix Diagram

Faktor Penyebab	Porosity	Undercut	Slag Inclusion	Lack of Fusion
Keterampilan Welder	●●●	●●	●	●●
Parameter Pengelasan	●●	●●●	●	●●
Material	●●	●	●●	●
Metode Kerja	●	●●	●●●	●●
Lingkungan Kerja	●●	●	●	●

Keterangan:

- = hubungan rendah
- = hubungan sedang
- = hubungan kuat

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi dasar teoritis dalam memperkuat relevansi penggunaan metode Six Sigma dan alat bantu pengendalian kualitas dalam penelitian ini. Beberapa penelitian yang relevan antara lain:

1. *Antony (2004)* dalam artikelnya di *The TQM Magazine* menyatakan bahwa implementasi Six Sigma melalui pendekatan DMAIC mampu meningkatkan kapabilitas proses dan menurunkan tingkat defect secara signifikan dalam industri manufaktur.
2. Penelitian oleh *Kumar, Nowicki, dan Ramírez-Márquez (2008)* menunjukkan bahwa penerapan *Six Sigma* pada industri teknik mampu mengurangi variasi proses dan meningkatkan stabilitas kualitas produksi.
3. Studi yang dipublikasikan dalam *Elsevier* melalui jurnal *Journal of Materials Processing Technology* menjelaskan bahwa variasi parameter pengelasan seperti arus dan kecepatan pengelasan berpengaruh signifikan terhadap terbentuknya *porosity* dan *lack of fusion* pada baja struktural.

Kerangka teori dan hasil kajian penelitian terdahulu yang telah diuraikan pada Bab II ini menjadi dasar dalam penyusunan metodologi penelitian yang akan dijelaskan pada Bab III, khususnya dalam penerapan metode Six Sigma melalui tahapan DMAIC untuk menganalisis dan meningkatkan kualitas proses pengelasan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan merupakan tahap awal dalam pelaksanaan penelitian yang bertujuan untuk memperoleh gambaran umum mengenai kondisi objek penelitian serta permasalahan yang terjadi di lapangan. Pada tahap ini peneliti melakukan pengamatan awal terhadap proses fabrikasi struktur baja, khususnya pada proses pengelasan yang digunakan dalam pembuatan modul main compressor.

Kegiatan studi pendahuluan dilakukan melalui observasi langsung di lingkungan perusahaan, diskusi dengan pihak terkait seperti *welding engineer*, *welding inspector*, dan *personel quality control*, serta penelaahan dokumen inspeksi pengelasan yang tersedia. Dari hasil pengamatan awal tersebut diperoleh informasi mengenai jenis proses pengelasan yang digunakan, standar kualitas yang diterapkan, serta jenis cacat pengelasan yang sering muncul selama proses fabrikasi.

Melalui tahap ini peneliti dapat mengidentifikasi kondisi nyata di lapangan sehingga penelitian yang dilakukan memiliki dasar yang jelas dan relevan dengan permasalahan yang terjadi pada proses pengendalian kualitas pengelasan.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori yang mendukung penelitian. Tahap ini dilakukan dengan mempelajari berbagai sumber ilmiah seperti buku teks, jurnal ilmiah, standar industri, serta referensi lain yang berkaitan dengan pengendalian kualitas, proses pengelasan, serta metode analisis kualitas.

Literatur yang dikaji meliputi teori mengenai pengendalian kualitas, konsep Six Sigma, metode DMAIC, jenis-jenis cacat pengelasan, serta teknik analisis kualitas yang digunakan dalam industri manufaktur dan fabrikasi. Selain itu, peneliti juga

mempelajari beberapa penelitian terdahulu yang membahas mengenai pengendalian kualitas pengelasan menggunakan berbagai pendekatan analisis kualitas.

Melalui studi literatur ini, peneliti memperoleh dasar teoritis yang kuat untuk mendukung analisis permasalahan serta menentukan metode yang tepat dalam menyelesaikan masalah kualitas pengelasan yang terjadi pada objek penelitian.

3.3 Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah dilakukan untuk menentukan permasalahan utama yang menjadi fokus penelitian. Identifikasi masalah dilakukan berdasarkan hasil studi pendahuluan, observasi lapangan, serta analisis terhadap data inspeksi pengelasan yang tersedia di perusahaan.

Permasalahan yang ditemukan berkaitan dengan masih ditemukannya cacat pengelasan pada proses fabrikasi struktur baja modul main compressor yang berpotensi mempengaruhi kualitas produk serta dapat menyebabkan pekerjaan perbaikan (repair welding). Kondisi tersebut dapat berdampak pada peningkatan biaya produksi, keterlambatan penyelesaian proyek, serta menurunnya efisiensi proses fabrikasi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis penyebab terjadinya cacat pengelasan serta upaya perbaikan pengendalian kualitas guna meminimalkan terjadinya cacat selama proses pengelasan.

3.4 Pengumpulan Data

3.4.1 Jenis-Jenis Pendekatan

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif kuantitatif. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi proses pengelasan serta jenis cacat yang terjadi selama proses fabrikasi struktur baja. Sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data hasil inspeksi pengelasan secara numerik sehingga dapat diketahui tingkat kecacatan serta faktor penyebab yang paling dominan.

Melalui pendekatan ini, data yang diperoleh akan diolah menggunakan metode analisis kualitas sehingga dapat menghasilkan informasi yang akurat mengenai kondisi pengendalian kualitas pengelasan yang terjadi di Perusahaan PT. Seatrium Batam.

3.4.2 Objek Penelitian

Objek penelitian dalam penelitian ini adalah proses pengendalian kualitas pengelasan pada pembuatan struktur baja modul kompresor utama proyek FPSO P84/P85 Petrobras yang dilaksanakan di PT Seatrium Batam. Proses pengelasan yang digunakan dalam kegiatan fabrikasi tersebut meliputi proses *Flux Cored Arc Welding (FCAW)* dan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*.

Penelitian difokuskan pada proses inspeksi hasil pengelasan yang dilakukan oleh bagian *quality control* guna memastikan bahwa hasil pengelasan memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan oleh perusahaan maupun oleh pihak klien proyek.

3.4.3 Jenis-Jenis Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis sumber data, yaitu data primer dan data sekunder.

a) Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari sumber pertama melalui kegiatan observasi lapangan, wawancara dengan personel terkait, serta pengamatan terhadap proses pengelasan yang dilakukan di area fabrikasi.

b) Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari dokumen perusahaan yang berkaitan dengan kegiatan pengendalian kualitas pengelasan. Data tersebut meliputi laporan inspeksi pengelasan, data cacat pengelasan, standar

prosedur pengelasan (WPS), serta dokumen *quality control* lainnya yang mendukung kegiatan penelitian.

3.4.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa metode sebagai berikut:

1. Observasi Lapangan

Observasi dilakukan dengan mengamati secara langsung proses pengelasan yang berlangsung di area fabrikasi guna memahami kondisi kerja, metode pengelasan yang digunakan, serta prosedur inspeksi yang diterapkan.

2. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan personel yang terlibat dalam proses pengelasan seperti welding inspector, welding engineer, serta operator pengelasan untuk memperoleh informasi mengenai prosedur kerja dan kendala yang terjadi selama proses pengelasan.

3. Dokumentasi

Metode dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan berbagai dokumen yang berkaitan dengan kegiatan pengelasan dan inspeksi kualitas seperti laporan inspeksi, data cacat pengelasan, serta standar prosedur yang digunakan dalam proses fabrikasi.

3.5 Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, pengolahan data dilakukan menggunakan metode *Six Sigma* dengan pendekatan DMAIC, yaitu *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi masalah kualitas, menganalisis penyebab terjadinya cacat, serta merumuskan langkah-langkah perbaikan yang dapat meningkatkan kualitas proses pengelasan.

3.5.1 *Define*

Tahap *Define* merupakan tahap awal dalam metode DMAIC yang bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan utama yang terjadi dalam proses pengelasan. Pada tahap ini dilakukan penentuan ruang lingkup penelitian, identifikasi jenis cacat pengelasan yang terjadi, serta penentuan tujuan perbaikan kualitas yang ingin dicapai.

3.5.2 *Measure*

Tahap *Measure* bertujuan untuk mengukur tingkat kualitas proses pengelasan berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan pengolahan data cacat pengelasan untuk mengetahui tingkat kecacatan yang terjadi selama proses fabrikasi.

Data tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui jumlah cacat, jenis cacat yang paling sering terjadi, serta tingkat kualitas proses pengelasan yang berlangsung.

3.5.3 *Analyze*

Tahap *Analyze* dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab utama terjadinya cacat pengelasan. Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap data cacat yang telah diperoleh menggunakan berbagai alat analisis kualitas seperti diagram pareto dan diagram sebab akibat (fishbone diagram).

Melalui analisis ini dapat diketahui faktor-faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya cacat pengelasan, baik yang berasal dari faktor manusia, metode kerja, material, maupun lingkungan kerja.

3.5.4 *Improve*

Tahap *Improve* merupakan tahap yang bertujuan untuk merumuskan langkah-langkah perbaikan yang dapat dilakukan guna mengurangi atau menghilangkan penyebab terjadinya cacat pengelasan. Usulan perbaikan dapat berupa peningkatan prosedur kerja, peningkatan keterampilan operator

pengelasan, perbaikan metode inspeksi, serta peningkatan pengawasan terhadap proses pengelasan.

3.5.5 Control

Tahap Control dilakukan untuk memastikan bahwa perbaikan yang telah dilakukan dapat berjalan secara konsisten dan mampu mempertahankan kualitas proses pengelasan dalam jangka waktu yang lebih lama. Pada tahap ini dilakukan pemantauan terhadap proses pengelasan serta penerapan standar pengendalian kualitas yang lebih efektif.

3.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk menginterpretasikan hasil pengolahan data yang telah diperoleh melalui metode DMAIC. Data yang telah diolah kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara faktor penyebab dengan jenis cacat pengelasan yang terjadi.

Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam menyusun rekomendasi perbaikan terhadap sistem pengendalian kualitas pengelasan sehingga dapat meminimalkan terjadinya cacat pada proses fabrikasi struktur baja.

Dengan adanya analisis data yang sistematis, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan kualitas proses pengelasan serta mendukung tercapainya standar kualitas yang ditetapkan dalam proyek fabrikasi.

3.7 Alur Penelitian

Alur penelitian menggambarkan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian secara sistematis mulai dari tahap awal hingga penarikan kesimpulan. Penyusunan alur penelitian bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai langkah-langkah penelitian yang dilakukan sehingga penelitian dapat berjalan secara terarah dan terstruktur.

Penelitian ini diawali dengan kegiatan studi pendahuluan untuk memahami kondisi proses pengelasan yang berlangsung di perusahaan. Selanjutnya dilakukan studi literatur untuk memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan pengendalian kualitas, metode Six Sigma, serta proses pengelasan yang digunakan dalam fabrikasi struktur baja.

Setelah memperoleh dasar teori yang memadai, tahap berikutnya adalah melakukan identifikasi masalah yang terjadi pada proses pengelasan. Permasalahan yang telah diidentifikasi kemudian menjadi fokus utama dalam penelitian.

Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data yang dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara dengan personel terkait, serta pengumpulan dokumen inspeksi pengelasan. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan metode Six Sigma dengan pendekatan DMAIC yang meliputi tahap *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*, dan *Control*.

Hasil dari proses pengolahan data selanjutnya dianalisis untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya cacat pengelasan serta menentukan langkah-langkah perbaikan yang dapat dilakukan. Tahap terakhir dari penelitian ini adalah penyusunan kesimpulan dan rekomendasi yang diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan kualitas proses pengelasan di PT.Seatrium Batam

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan langkah awal dalam penelitian yang bertujuan untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan proses produksi serta permasalahan kualitas yang terjadi. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini berasal dari hasil inspeksi pengelasan pada proses fabrikasi struktur baja modul kompresor utama proyek FPSO P84/P85 Petrobras yang dilaksanakan di PT Seatrium Batam.

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari laporan inspeksi pengelasan, laporan NonDestructive Test (NDT), serta catatan hasil pemeriksaan kualitas (Visual inspection) yang dilakukan oleh tim Quality Control selama proses fabrikasi berlangsung. Inspeksi dilakukan terhadap 500 sambungan las yang diperiksa dalam periode pengamatan tertentu. Dari hasil inspeksi tersebut ditemukan berbagai jenis cacat pengelasan dengan jumlah total 114 cacat. Data tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis pengendalian kualitas menggunakan metode Six Sigma.

Proses pengelasan struktur baja pada modul kompresor Utama merupakan tahapan kritis dalam kegiatan fabrikasi. Seluruh aktivitas pengelasan dilaksanakan berdasarkan *Welding Procedure Specification (WPS)* yang telah disetujui. Pengendalian kualitas dilakukan secara berlapis melalui inspeksi visual serta pengujian non-destruktif (NDT) untuk memastikan hasil pengelasan memenuhi persyaratan mutu proyek.

4.1.1 Proses Pengelasan

Proses pengelasan merupakan tahapan utama dalam kegiatan fabrikasi struktur baja karena berfungsi untuk menyambungkan berbagai komponen struktur menjadi satu kesatuan yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang sesuai dengan spesifikasi desain.

Pada proyek pembuatan struktur baja modul kompresor utama FPSO P84-ATAPU-Petrobras, metode pengelasan yang digunakan meliputi:

1. *Flux Cored Arc Welding (FCAW)*

Metode ini menggunakan elektroda berbentuk kawat tubular yang berisi fluks di bagian dalamnya. Selama proses pengelasan berlangsung, fluks akan menghasilkan gas pelindung yang berfungsi melindungi logam cair dari kontaminasi udara luar. Metode FCAW banyak digunakan pada fabrikasi struktur baja karena memiliki tingkat produktivitas yang tinggi serta mampu menghasilkan penetrasi yang baik.

2. *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

Metode SMAW merupakan proses pengelasan yang menggunakan elektroda berlapis fluks berbentuk batang. Elektroda ini akan mencair selama proses pengelasan dan berfungsi sebagai logam pengisi sambungan. Metode ini sering digunakan untuk pekerjaan perbaikan (*repair welding*) maupun pengelasan pada area yang sulit dijangkau.

Selama proses pengelasan berlangsung, parameter pengelasan seperti arus listrik, tegangan, kecepatan pengelasan, serta teknik pengelasan harus mengikuti prosedur yang telah ditetapkan dalam dokumen *Welding Procedure Specification (WPS)*.

4.1.2 Jenis Cacat Pengelasan

Cacat pengelasan merupakan ketidaksesuaian hasil pengelasan terhadap standar kualitas yang telah ditetapkan. Cacat tersebut dapat terjadi akibat berbagai

faktor seperti kesalahan parameter pengelasan, kondisi material, keterampilan welder, maupun kondisi lingkungan kerja.

Berdasarkan hasil inspeksi visual dan pengujian *NonDestructive Testing (NDT)*, beberapa jenis cacat pengelasan yang ditemukan pada proses fabrikasi struktur baja antara lain:

1. *Porosity*

Porosity merupakan cacat berupa lubang-lubang kecil pada logam las yang terbentuk akibat gas yang terperangkap selama proses pembekuan logam cair.

2. *Undercut*

Undercut merupakan alur atau cekungan yang terbentuk pada bagian tepi logam induk di sepanjang garis las.

3. *Slag Inclusion*

Slag inclusion adalah cacat berupa terperangkapnya terak (slag) di dalam logam las yang dapat terjadi akibat pembersihan terak yang tidak sempurna antar lapisan las.

4. *Lack of Fusion*

Lack of fusion terjadi ketika logam las tidak menyatu secara sempurna dengan logam induk atau dengan lapisan las sebelumnya.

5. *Crack*

Retakan pada logam las, HAZ (Heat Affected Zone), atau logam dasar, bisa panas (saat panas) atau dingin (setelah membeku).

4.1.3 Jumlah Cacat Pengelasan

Data jumlah cacat pengelasan diperoleh dari laporan inspeksi yang dilakukan selama proses fabrikasi berlangsung. Data tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis cacat yang ditemukan.

Tabel 4. 1 Jumlah Cacat Pengelasan

No	Jenis Cacat	Jumlah
1	<i>Porosity</i>	42
2	<i>Undercut</i>	31
3	<i>Slag Inclusion</i>	18
4	<i>Lack of Fusion</i>	14
5	<i>Crack</i>	9
	Total	114

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk menganalisis tingkat kualitas proses pengelasan serta mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya cacat. Dalam penelitian ini, pengolahan data dilakukan menggunakan pendekatan Six Sigma melalui tahapan DMAIC yang meliputi *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*.

4.2.1 Define

Tahap Define bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan kualitas yang terjadi pada proses pengelasan serta menentukan karakteristik kualitas utama yang menjadi fokus penelitian. Karakteristik kualitas kritis (Critical to Quality/CTQ) pada penelitian ini difokuskan pada jumlah dan jenis cacat pengelasan yang ditemukan pada sambungan las struktur baja.

A. SIPOC

SIPOC merupakan alat yang digunakan untuk menggambarkan alur proses produksi secara umum mulai dari pemasok hingga pelanggan.

Tabel 4. 2 SIPOC

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Supplier Material	Plat Baja	Proses Pengelasan	Sambungan Las	QC Inspector
Supplier Consumable	Elektroda dan Gas	Inspeksi Las	Laporan Inspeksi	Client Petrobras

Diagram SIPOC membantu dalam memahami hubungan antara pihak yang terlibat dalam proses produksi serta alur kegiatan yang terjadi selama proses fabrikasi berlangsung.

B. Penetapan CTQ (Critical to Quality)

Critical to Quality (CTQ) merupakan karakteristik kualitas yang harus dipenuhi agar suatu produk dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini, CTQ yang digunakan berkaitan dengan kualitas sambungan las, yaitu:

1. Tidak terdapat cacat porosity
2. Tidak terdapat cacat undercut
3. Tidak terdapat slag inclusion
4. Tidak terdapat lack of fusion
5. Tidak terdapat crack

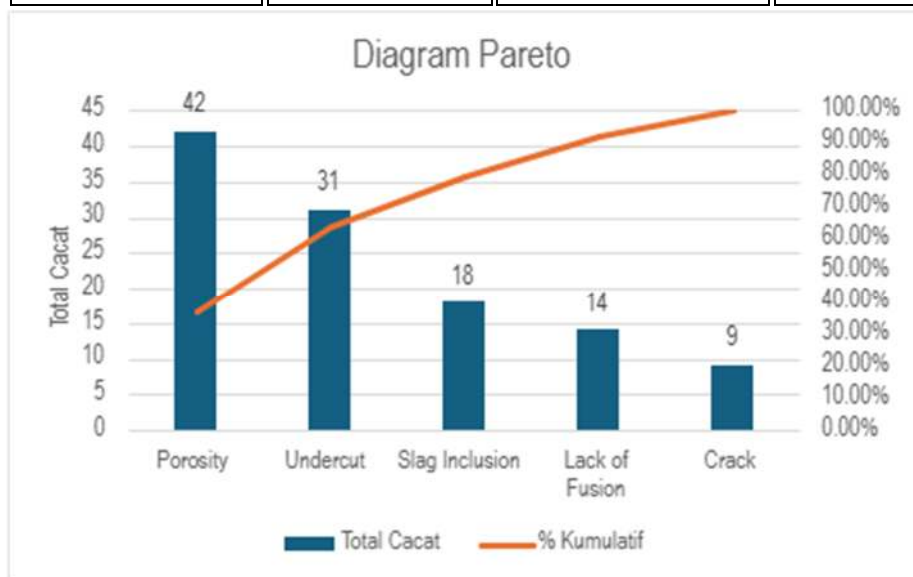
Karakteristik tersebut digunakan sebagai indikator dalam menilai kualitas hasil pengelasan.

C. Diagram Pareto

Diagram Pareto digunakan untuk mengidentifikasi jenis cacat yang paling dominan terjadi pada proses pengelasan.

Tabel 4. 3 Diagram Pareto Data

Jenis Cacat	Jumlah	Persentase	Kumulatif
<i>Porosity</i>	42	36.84%	36.84%
<i>Undercut</i>	31	27.19%	64.03%
<i>Slag Inclusion</i>	18	15.79%	79.82%
<i>Lack of Fusion</i>	14	12.28%	92.10%
<i>Crack</i>	9	7.89%	100%



Gambar 4.1 Diagram Pareto

Berdasarkan data pada Tabel 4.3, diagram Pareto menunjukkan bahwa:

1. Cacat porosity dan undercut menyumbang lebih dari 65% dari total cacat pengelasan.
2. Cacat lainnya memberikan kontribusi yang relatif lebih kecil.

Hasil ini menunjukkan bahwa upaya perbaikan sebaiknya diprioritaskan pada cacat porosity dan undercut karena akan memberikan dampak paling signifikan dalam menurunkan jumlah cacat secara keseluruhan

4.2.2 Measure

Pada tahap *Measure* dilakukan pengumpulan dan pengukuran data cacat pengelasan berdasarkan hasil inspeksi visual dan pengujian NDT. Data dicatat secara sistematis menggunakan check sheet sebagai dasar evaluasi kinerja proses.

Check sheet digunakan sebagai alat bantu awal untuk mengumpulkan dan mengelompokkan data cacat pengelasan berdasarkan jenisnya. Berdasarkan hasil pencatatan, diperoleh rekapitulasi jumlah cacat sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Check Sheet Cacat Pengelasan

Bulan ke-	Jenis Sambungan	<i>Undercut</i>	<i>Porosity</i>	<i>Slag Inclusion</i>	<i>Lack of Fusion</i>	<i>Crack</i>	Total Jumlah Cacat
1	Butt / Fillet	10	8	4	3	2	27
2	Butt / Fillet	12	9	5	4	2	32
3	Butt / Fillet	11	7	5	4	3	30
4	Butt / Fillet	9	7	4	3	2	25
Total		42	31	18	14	9	114

Berdasarkan data check sheet tersebut, dilakukan perhitungan kinerja proses melalui indikator *Defect Per Unit* (DPU) dan *Defects Per Million Opportunities* (DPMO).

A. *Defect Per Unit* (DPU)

Defect Per Unit (DPU) digunakan untuk mengetahui rata-rata jumlah cacat yang terjadi pada setiap unit yang diperiksa. DPU dihitung menggunakan rumus:

Rumus yang digunakan:

$$DPU = \frac{\text{Jumlah cacat}}{\text{Jumlah sambungan}}$$

Berdasarkan data penelitian:

Jumlah cacat = 114

Jumlah sambungan las = 500

$$DPU = 114/500 = 0,228$$

Nilai DPU sebesar **0,228** menunjukkan bahwa setiap satu sambungan las rata-rata memiliki 0,228 cacat.

B. *Defects Per Million Opportunities* (DPMO)

Defects per Million Opportunities (DPMO) digunakan untuk mengukur tingkat kegagalan proses produksi dalam satu juta peluang cacat.

Jumlah peluang cacat = 5 jenis cacat

Rumus:

$$DPMO = \frac{\text{Jumlah cacat}}{\text{Jumlah unit} \times \text{Peluang Cacat}} \times 1.000.000$$

Perhitungan DPMO:

$$DPMO = \frac{114}{500 \times 5} \times 1.000.000$$

$$DPMO = 45.600$$

Artinya, proses pengelasan menghasilkan 45.600 cacat dari setiap 1 juta kesempatan (45.600 DPMO).

C. Perhitungan Sigma Level

Berdasarkan tabel konversi Six Sigma, nilai DPMO sebesar 45.600 berada pada kisaran tingkat sigma:

Sigma Level $\approx 3.1 - 3.2$

Hal ini menunjukkan bahwa proses pengelasan pada fabrikasi struktur baja masih berada pada tingkat kualitas sekitar 3.2 sigma, sehingga masih terdapat peluang perbaikan untuk menurunkan jumlah cacat yang terjadi.

4.2.3 Analyze

Tahap Analyze dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab utama terjadinya cacat pengelasan.

1). Fishbone Diagram

Karena *Porosity* merupakan cacat terbesar (36,84%), maka analisis akar penyebab difokuskan pada cacat tersebut.

A. Faktor Man (Manusia)

1. Welder kelelahan
2. Teknik pengelasan tidak konsisten
3. Kurangnya pengalaman pengelasan FCAW

B. Faktor Mesin (Machine)

1. Kondisi mesin las tidak stabil
2. Setting arus dan tegangan tidak sesuai
3. Perawatan mesin kurang optimal

C. Faktor Metode (Method)

1. Parameter pengelasan tidak sesuai WPS
2. Persiapan material dan sambungan yang kurang baik

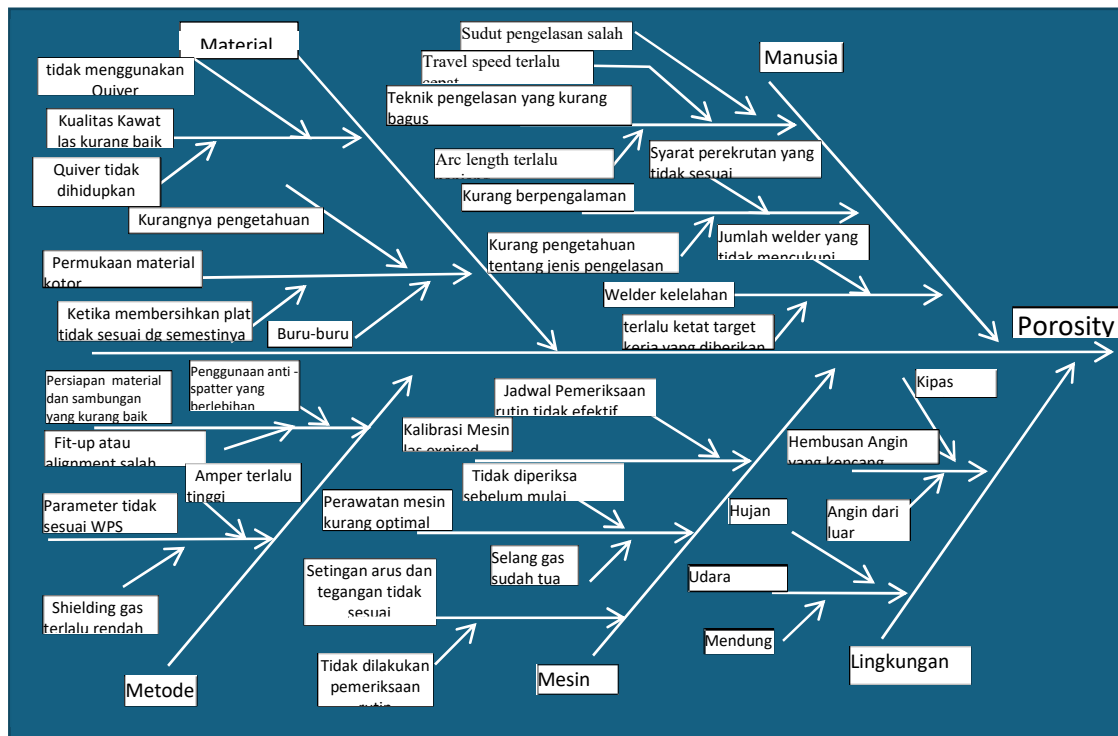
D. Faktor Material

1. Permukaan material kotor
2. Kualitas kawat las kurang baik

E. Faktor Lingkungan

1. Area pengelasan berangin
2. Kelembaban tinggi
3. Perlindungan gas tidak optimal

Hasil analisis menunjukkan bahwa cacat porosity merupakan cacat yang paling dominan terjadi pada proses pengelasan struktur baja modul kompresor utama pada proyek FPSO P84-ATAPU- Petrobras ini. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengendalian kualitas pada proses pengelasan perlu difokuskan pada parameter pengelasan dan kondisi material sebelum proses pengelasan dilakukan.



Gambar 4.2 Fishbone chart

2). Matrix Relationship Diagram (*Matrix data analysis*)

Matrix data analysis digunakan untuk mengetahui tingkat hubungan antara faktor penyebab dengan jenis cacat pengelasan yang telah diidentifikasi pada diagram *fishbone*. Analisis ini bertujuan untuk menentukan penyebab utama cacat pengelasan secara kuantitatif.

Tabel 4. 5 Hubungan Matrix Data analisis

Faktor	<i>Porosity</i>	<i>Undercut</i>	<i>Slag</i>	<i>Lack of Fusion</i>	<i>Crack</i>	Total
Manusia	9	6	3	6	3	27
Mesin	6	6	3	3	3	21
Metode	3	9	6	3	3	24
Material	6	6	6	3	3	24
Lingkungan	6	3	3	3	3	18

Keterangan:

9 = hubungan kuat

6 = hubungan sedang

3 = hubungan lemah

Faktor penyebab dengan total skor tertinggi menunjukkan penyebab utama cacat pengelasan yang memerlukan prioritas perbaikan. Hasil analisis ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan usulan perbaikan pada tahap Improve.

Berdasarkan hasil matrix tersebut dapat diketahui bahwa faktor yang memiliki pengaruh terbesar terhadap cacat pengelasan adalah:

- 1) faktor *welder*
- 2) faktor metode pengelasan
- 3) faktor material

4.2.4 Improve

Tahap *Improve* bertujuan untuk merumuskan langkah-langkah perbaikan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.

A. Penyebab Dominan

Berdasarkan hasil analisis Pareto, *Fishbone*, dan *Matrix Diagram*, diketahui bahwa beberapa faktor dominan yang menyebabkan cacat pengelasan antara lain:

1. Keterampilan *welder* yang belum merata
2. Parameter pengelasan yang tidak sesuai dengan WPS
3. Kebersihan material sebelum pengelasan yang kurang optimal
4. Pengawasan kualitas yang belum maksimal

B. Usulan perbaikan yang dapat dilakukan antara lain:

1. Pelatihan tambahan bagi *welder*
2. Peningkatan pengawasan parameter pengelasan
3. Peningkatan prosedur pembersihan material sebelum pengelasan
4. Peningkatan frekuensi inspeksi kualitas

4.2.5 Control

Tahap *Control* bertujuan untuk memastikan bahwa perbaikan yang telah dilakukan dapat dipertahankan secara berkelanjutan.

Beberapa langkah pengendalian yang dapat diterapkan antara lain:

1. Penerapan checklist inspeksi pengelasan secara rutin
 2. Monitoring hasil pengujian NDT secara berkala
 3. Evaluasi kinerja *welder* secara periodik
 4. Penerapan standar *Welding Procedure Specification (WPS)* secara konsisten
- Dengan adanya tahap pengendalian ini diharapkan kualitas proses pengelasan dapat terus dipertahankan serta jumlah cacat pengelasan dapat diminimalkan.

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Tingkat Cacat Pengelasan

Berdasarkan hasil pengumpulan data yang telah dilakukan pada proses fabrikasi struktur baja modul kompresor utama, ditemukan lima jenis cacat pengelasan yang terjadi selama proses produksi. Jenis cacat tersebut meliputi porosity, undercut, slag inclusion, lack of fusion, dan crack.

Jumlah total cacat yang ditemukan adalah sebanyak 114 cacat. Dari data tersebut diketahui bahwa cacat yang paling dominan adalah porosity dengan jumlah 42 cacat atau sebesar 36,84% dari total cacat yang terjadi. Selanjutnya diikuti oleh cacat undercut sebesar 27,19%, slag inclusion sebesar 15,79%, lack of fusion sebesar 12,28%, serta crack sebesar 7,89%.

Berdasarkan distribusi tersebut dapat diketahui bahwa cacat porosity memiliki kontribusi terbesar terhadap total cacat yang terjadi selama proses pengelasan. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengendalian kualitas pada proses pengelasan perlu difokuskan pada upaya pengurangan cacat porosity.

5.2 Analisis Diagram Pareto

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada BAB IV menggunakan diagram Pareto, diketahui bahwa dua jenis cacat utama yaitu porosity dan undercut menyumbang sekitar 64,03% dari total cacat pengelasan yang terjadi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar permasalahan kualitas pada proses pengelasan disebabkan oleh dua jenis cacat tersebut.

Dengan demikian, upaya perbaikan kualitas proses pengelasan pada proyek Pembuatan struktur Baja Kompresor utama P84 ini difokuskan pada pengendalian

cacat porosity dan undercut karena kedua jenis cacat tersebut memberikan kontribusi paling besar terhadap penurunan kualitas sambungan las.

Analisis Pareto ini juga bisa membantu PT. Seatrium Batam dalam menentukan prioritas perbaikan sehingga sumber daya yang tersedia dapat dimanfaatkan secara lebih efektif untuk meningkatkan kualitas proses produksi.

5.3 Analisis Kinerja Proses Berdasarkan DPMO dan Sigma Level

Pengukuran kinerja proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan indikator Six Sigma yaitu Defects Per Million Opportunities (DPMO) dan Sigma Level. Berdasarkan hasil perhitungan pada Bab IV diperoleh nilai DPMO sebesar 45.600.

Nilai tersebut menunjukkan bahwa dalam satu juta peluang terjadinya cacat, terdapat sekitar 45.600 cacat yang berpotensi muncul pada proses pengelasan. Berdasarkan tabel konversi Six Sigma, nilai tersebut berada pada kisaran tingkat sigma sekitar 3.2 sigma. Tingkat sigma sebesar 3.2 menunjukkan bahwa proses pengelasan yang dilakukan pada proyek ini masih berada pada tingkat kualitas yang cukup baik, namun masih memiliki peluang untuk ditingkatkan. Dalam praktik industri manufaktur dan fabrikasi, perusahaan umumnya berupaya meningkatkan kualitas proses hingga mencapai tingkat sigma yang lebih tinggi untuk meminimalkan jumlah cacat yang terjadi.

Dengan demikian, diperlukan upaya peningkatan kualitas proses pengelasan agar tingkat cacat yang terjadi dapat dikurangi sehingga kinerja proses produksi menjadi lebih optimal.

5.4 Analisis Penyebab Cacat Pengelasan

Analisis penyebab cacat pengelasan dilakukan menggunakan *fishbone* diagram untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya cacat pada proses pengelasan struktur baja ini.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, diketahui bahwa beberapa faktor utama yang berpotensi menyebabkan cacat pengelasan antara lain:

1. Faktor Man (Manusia)

Faktor manusia berkaitan dengan keterampilan dan pengalaman welder dalam melakukan proses pengelasan struktur baja. Tingkat kelelahan welder karena tekanan dalam mengejar target jumlah pengelasan mempengaruhi kualitas pengelasan yang dilakukannya. Perbedaan tingkat keterampilan antar welder dapat mempengaruhi kualitas sambungan las yang dihasilkan. Selain itu, kurangnya pelatihan atau pemahaman terhadap prosedur pengelasan juga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan dalam proses pengelasan.

2. Faktor Machine (Mesin)

Kondisi mesin las juga sangat mempengaruhi kualitas hasil pengelasan pada struktur baja. Mesin yang tidak terawat dengan baik dapat menyebabkan arus listrik yang tidak stabil, Tampilan parameter secara digital yang tidak akurat juga mempengaruhi hasil pengelasan sehingga mempengaruhi kualitas logam las yang dihasilkan.

3. Faktor Method (Metode)

Metode pengelasan yang tidak sesuai dengan standar *Welding Procedure Specification (WPS)* dapat menyebabkan terjadinya berbagai jenis cacat pengelasan. Parameter pengelasan seperti arus listrik, tegangan, dan kecepatan pengelasan harus disesuaikan dengan spesifikasi material yang digunakan.

4. Faktor Material

Kondisi material sebelum proses pengelasan juga mempengaruhi kualitas hasil las. Permukaan material yang kotor atau mengandung minyak dan karat dapat menyebabkan terbentuknya gas yang terperangkap selama proses pengelasan sehingga menimbulkan cacat porosity.

5. Faktor Environment (Lingkungan)

Lingkungan kerja seperti kondisi area pengelasan yang berangin atau memiliki tingkat kelembaban tinggi dapat mempengaruhi stabilitas busur las dan perlindungan gas selama proses pengelasan berlangsung. Apalagi PT. Seatrium Batam ini memiliki fasilitas bangunan tempat pengelasannya yang berada pada tepi laut sehingga angin yang berhembus cukup kencang yang dapat mempengaruhi perlindungan gas pada waktu proses pengelasan.

5.5 Analisis Matrix Diagram

Matrix diagram digunakan untuk menganalisis hubungan antara faktor penyebab dengan jenis cacat pengelasan yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis matrix, diketahui bahwa faktor yang memiliki pengaruh paling besar terhadap terjadinya cacat pengelasan adalah faktor welder, metode pengelasan, dan material.

Faktor welder berkaitan dengan keterampilan serta pengalaman welder dalam melakukan proses pengelasan. Sementara itu, faktor metode berkaitan dengan kesesuaian parameter pengelasan dengan standar yang telah ditetapkan dalam WPS. Faktor material berkaitan dengan kondisi permukaan material sebelum dilakukan proses pengelasan.

Analisis matrix ini membantu dalam menentukan prioritas tindakan perbaikan yang perlu dilakukan untuk mengurangi jumlah cacat pengelasan.

5.6 Usulan Perbaikan Kualitas

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan menggunakan metode Six Sigma, beberapa usulan perbaikan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas proses pengelasan antara lain:

1. Meningkatkan pelatihan dan sertifikasi welder
2. Memastikan parameter pengelasan selalu mengikuti standar WPS
3. Melakukan pembersihan material sebelum proses pengelasan

4. Meningkatkan pengawasan kualitas selama proses pengelasan
5. Melakukan perawatan mesin las secara berkala.

Dengan penerapan langkah-langkah perbaikan tersebut diharapkan jumlah cacat pengelasan yang terjadi pada proses fabrikasi struktur baja dapat dikurangi sehingga kualitas produk yang dihasilkan menjadi lebih baik.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis pengendalian kualitas pada proses pengelasan struktur baja modul kompresor utama menggunakan pendekatan Six Sigma, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengumpulan data selama proses fabrikasi, ditemukan lima jenis cacat pengelasan yang terjadi pada sambungan las, yaitu *porosity*, *undercut*, *slag inclusion*, *lack of fusion*, dan *crack* dengan total cacat sebanyak 114 cacat. Dari seluruh jenis cacat tersebut, cacat *porosity* merupakan cacat yang paling dominan dengan jumlah 42 cacat atau sebesar 36,84% dari total cacat yang terjadi.
2. Berdasarkan analisis menggunakan diagram Pareto, diketahui bahwa dua jenis cacat utama yaitu *porosity* dan *undercut* memberikan kontribusi sebesar 64,03% dari total cacat pengelasan. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar permasalahan kualitas pada proses pengelasan dipengaruhi oleh kedua jenis cacat tersebut sehingga upaya perbaikan kualitas perlu difokuskan pada pengendalian cacat tersebut.
3. Berdasarkan hasil perhitungan *Defects Per Million Opportunities (DPMO)* diperoleh nilai sebesar 45.600, yang menunjukkan bahwa dalam satu juta peluang terjadinya cacat terdapat sekitar 45.600 kemungkinan cacat yang dapat terjadi pada proses pengelasan. Nilai tersebut berada pada tingkat sekitar 3 sigma, yang menunjukkan bahwa proses pengelasan masih memiliki peluang untuk ditingkatkan guna mengurangi jumlah cacat yang terjadi.
4. Berdasarkan hasil analisis menggunakan fishbone diagram dan matrix diagram, diketahui bahwa faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap terjadinya

cacat pengelasan meliputi faktor keterampilan welder, metode pengelasan yang digunakan, serta kondisi material sebelum proses pengelasan dilakukan.

Upaya peningkatan kualitas proses pengelasan dapat dilakukan melalui beberapa langkah perbaikan, antara lain dengan meningkatkan kompetensi welder melalui pelatihan, memastikan parameter pengelasan sesuai dengan standar Welding Procedure Specification (WPS), melakukan pembersihan material sebelum proses pengelasan, serta meningkatkan pengawasan kualitas selama proses pengelasan berlangsung.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. PT. Seatrium Batam diharapkan dapat meningkatkan pengendalian kualitas pada proses pengelasan agar jumlah cacat yang terjadi dapat diminimalkan.
2. PT. Seatrium Batam perlu melakukan pelatihan secara berkala kepada welder pengelasan guna meningkatkan keterampilan serta pemahaman terhadap prosedur kerja yang benar.
3. PT. Seatrium Batam dapat mempertimbangkan penerapan control chart atau metode pengendalian statistik lainnya untuk meningkatkan stabilitas proses produksi.

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan analisis yang lebih mendalam dengan menggunakan metode pengendalian kualitas lainnya sehingga dapat memberikan hasil penelitian yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

Sumber Literature: Buku(Book)

American Welding Society, AWS D1.1/D1.1M:2020 – *Structural Welding Code–Steel*, 24th ed. Miami, FL, USA: AWS, 2020.

American Society of Mechanical Engineers, ASME *Boiler and Pressure Vessel Code Section V: Nondestructive Examination*. New York, NY, USA: ASME, 2019.

J. Duncan, *Quality Control and Industrial Statistics*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2001.

C. Hellier, *Handbook of Nondestructive Evaluation*, 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2013.

Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 8th ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2019.

Gaspersz, V. (2005). *Total Quality Management*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Gaspersz, V. *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP*. Jakarta, Indonesia: Gramedia Pustaka Utama, 2002.

Jeffus, *Welding: Principles and Applications*, 7th ed. Boston, MA, USA: Cengage Learning, 2012.

L. George, *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2002.

N. R. Tague, *The Quality Toolbox*, 2nd ed. Milwaukee, WI, USA: ASQ Quality Press, 2005

P. S. Pande, R. P. Neuman, and R. R. Cavanagh, *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2000.

Setiawan, A. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, 2013

T. Pyzdek and P. A. Keller, *The Six Sigma Handbook*, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2014

Sumber Literature: Jurnal(Journal)

Antony, Jiju, Banuelas, Ricardo, 2002, *Key Ingredients for the Effective Implementation of Six Sigma Program, Measuring Business Excellence*, Vol. 6, No. 4, Hal. 20–27.

Antony, Jiju, 2006, *Six Sigma for Service Processes, Business Process Management Journal*, Vol. 12, No. 2, Hal. 234–248.

Kah, P., Suoranta, R., Martikainen, J., 2014, *Trends in Welding Processes and Materials: Improving Weld Quality, International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 70, No. 1, Hal. 1–15

Kumar, S., Kumar, D., 2014, *Quality Improvement in Manufacturing Process Using Six Sigma Methodology, International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 4, No. 5, Hal. 1–5

Lancaster, J. F., 1999, *Metallurgy of Welding Defects in Arc Welding Processes, Materials and Design*, Vol. 20, No. 2–3, Hal. 93–98.

Schroeder, Roger G., Linderman, Kevin, Liedtke, Christopher, Choo, Adrian S., 2008, *Six Sigma: Definition and Underlying Theory, Journal of Operations Management*, Vol. 26, No. 4, Hal. 536–554.

Sharma, P., Rao, P., 2016, *Process Improvement Using Six Sigma Approach: A Case Study in Manufacturing Industry, International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 6, No. 3, Hal. 45–50.

Vinodh, S., Kumar, S. V., 2012, *Application of Six Sigma in Manufacturing Industries: A Review, International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 3, No. 3, Hal. 197–214

Zu, Xiaosong, Fredendall, Lawrence D., Douglas, Thomas J., 2008, *The Evolving Theory of Quality Management: The Role of Six Sigma, Journal of Operations Management*, Vol. 26, No. 5, Hal. 630–650.

Zhang, Y., Kovacevic, R., 2002, *Real-Time Monitoring of Welding Defects in Arc Welding, Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 4, No. 2, Hal. 132–142.