

Pengendalian Kualitas Pengelasan Pada *Project* Fabrikasi *Metal Duct* MBI Menggunakan Metode SQC Dan FMEA

Tiara Nuriyah Sani

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

Email : 21032010069@student.upnjatim.ac.id

Sumiati Sumiati

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

Email : sumiati.ti@upnjatim.ac.id

Korespondensi penulis : 21032010069@student.upnjatim.ac.id

Abstract. *The National Private Company PT Swadaya Graha, which is part of Semen Indonesia, is currently active in carrying out Metal Ducting (MD) fabrication projects in collaboration with PT Maxiterm Boiler Indonesia. During the production process, several types of welding defects are detected, such as Slag, Porosity, Spatter, and Incomplete Fusion. The aim of this research is to determine the most dominant percentage of welding defects, identify the causes of welding defect factors, and provide suggestions for suggestions for improving welding quality. This research uses the Statistical Quality Control (SQC) method and Failure Mode Effect Analysis (FMEA), using SQC tools such as check sheets, stratification, histograms, Pareto diagrams, scatter diagrams, P control charts, and cause and effect diagrams. Next, an FMEA analysis is carried out based on a cause and effect diagram to formulate proposed corrective actions. The results showed that the most dominant type of defect, based on cumulative percentage, was spatter (29.42%), followed by porosity (28.41%), Incomplete Fusion (21.59%), and slag (20.58%). Based on the RPN (Risk Priority Number) value, the Incomplete Fusion defect with the highest RPN value of 240 is caused by improper electrode angle determination. Repair recommendations involve checking the electrode angle according to the WPS used before starting the welding process.*

Keywords: *FMEA, Quality Control, Welding*

Abstrak. Perusahaan Swasta Nasional PT Swadaya Graha, yang merupakan bagian dari Semen Indonesia, sedang aktif dalam menjalankan proyek fabrikasi *Metal Ducting* (MD) bekerjasama dengan PT Maxiterm Boiler Indonesia. Selama proses produksi, terdeteksi beberapa jenis cacat pengelasan, seperti *Slag*, *Porosity*/Porositas, *Spatter*, dan *Incomplete Fusion*/Penyambungan Tidak Merata. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan persentase cacat pengelasan paling dominan, mengidentifikasi penyebab faktor-faktor cacat pengelasan, dan memberikan saran untuk usulan perbaikan kualitas pengelasan. Penelitian ini menggunakan metode *Statistical Quality Control* (SQC) serta *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA), dengan menggunakan alat bantu SQC seperti *check sheet*, stratifikasi, histogram, diagram *pareto*, *scatter* diagram, peta kendali P, dan diagram sebab akibat. Selanjutnya, dilakukan analisis FMEA berdasarkan diagram sebab akibat untuk merumuskan usulan tindakan perbaikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis cacat paling dominan, berdasarkan persentase kumulatif, adalah *spatter* (29,42%), diikuti oleh *porosity*/porositas (28,41%), *Incomplete Fusion*/Penyambungan Tidak Merata (21,59%), dan *slag* (20,58%). Berdasarkan nilai RPN (*Risk Priority Number*), cacat *Incomplete Fusion* dengan nilai RPN tertinggi 240 disebabkan oleh penetapan sudut elektroda yang kurang tepat. Rekomendasi perbaikan melibatkan pemeriksaan sudut elektroda sesuai dengan WPS yang digunakan sebelum memulai proses pengelasan.

Kata kunci: FMEA, Pengelasan, Pengendalian Kualitas

LATAR BELAKANG

Perkembangan industri manufaktur saat ini mengharuskan adanya jaminan kualitas produk sebagai faktor penting yang menentukan kesuksesan serta daya saing bisnis. Kualitas produk menjadi aspek yang sangat penting untuk menjamin kualitas produk di *market*, dan perusahaan harus memfokuskan perhatian pada tingkat mutu produk untuk mencapai keunggulan kompetitif (Setiawan & Ida, 2018). PT. Swadaya Graha saat ini sedang mengerjakan proyek Metal Ducting (MD) yang bekerjasama dengan PT. Boiler Maxiterm Indonesia. Untuk memastikan pengendalian kualitas dalam operasinya, perusahaan menerapkan metode yang dikenal sebagai *Statistical Quality Control* (SQC). Pengendalian Mutu Statistik berfungsi sebagai alat yang sangat efektif untuk memastikan bahwa produk diproduksi sesuai dengan spesifikasi, yang mencakup seluruh tahapan proses produksi mulai dari inisiasi hingga penyelesaian. Terlepas dari dedikasi perusahaan untuk memberikan kualitas terbaik di seluruh proses pembuatan saluran logam, ketidaksempurnaan pengelasan tertentu seperti *Slag*, *Porosity*, *Spatter*, dan *Incomplete Fusion* masih ditemui dalam praktik lapangan.. Area pengelasan yang diperhatikan pada produksi fabrikasi *metal ducting* mencakup *Metal Ducting Line 149*, Pos. 007, *Elbow*; *Metal Ducting Line 159*, Pos. 008, *Spool. 4*; *Metal Ducting Line 150*, Pos. 006, *Spool. 2*; *Metal Ducting Line 160*, Pos. 005, *Spool. 2*; dan *Metal Ducting Line 167*, Pos. 005, *Elbow*. Studi sebelumnya oleh (Mulia, 2021) mencatat bahwa dalam produksi kapal BRS W-303, kecacatan dominan pada kualitas pengelasan adalah *Incomplete Penetration*/Penetrasi Tidak Penuh (IP) dengan persentase sebesar 32,8%. Kondisi ini disebabkan oleh faktor seperti setelan ampere mesin yang terlalu rendah, kurangnya kehati-hatian operator saat mengelas bagian *root*/akar, dan penentuan *root gap* yang terlalu kecil. Dalam konteks yang telah disebutkan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis jenis-jenis kecacatan pada proses pengelasan dalam fabrikasi *metal duct project* PT Maxitherm Boiler Indonesia dan menyajikan rekomendasi perbaikan dalam rangka meningkatkan proses produksi. Metode *Statistical Quality Control* (SQC) digunakan dengan maksud mempertahankan standar kualitas produk dengan biaya yang optimal untuk mencapai tingkat efektivitas yang paling baik (Andespa, 2020). Usulan perbaikan yang dihasilkan akan diimplementasikan dengan memanfaatkan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) pada kualitas pengelasan dalam proyek PT Maxitherm Boiler Indonesia di PT Swadaya Graha.

KAJIAN TEORITIS

PT. Swadaya Graha, sebuah perusahaan swasta nasional yang terafiliasi dengan Semen Indonesia, memiliki tekad untuk meningkatkan kualitas produk dalam seluruh aspek kegiatan

bisnisnya demi memenuhi kebutuhan dan harapan konsumen yang terus berkembang. Saat ini, PT. Swadaya Graha sedang aktif terlibat dalam proyek Metal Ducting (MD) berkolaborasi dengan PT. Maxiterm Boiler Indonesia. Proses fabrikasi metal ducting melibatkan perakitan dan produksi saluran udara yang terbuat dari bahan logam. Ducting berfungsi sebagai sistem regulasi sirkulasi untuk mendistribusikan udara dan bahan halus lainnya ke lokasi yang telah ditentukan dalam sistem tersebut (Pareznasrah, 2023). Dengan menerapkan metode yang dikenal sebagai Pengendalian Kualitas Statistik (Statistical Quality Control/SQC), perusahaan melaksanakan kegiatan pengendalian kualitas untuk memastikan bahwa produk diproduksi sesuai dengan spesifikasi, mulai dari tahap awal proses hingga tahap akhir.

Dalam usaha pengendalian kualitas, PT. Swadaya Graha menggunakan Pengendalian Kualitas Statistik (SQC) sebagai alat yang sangat efektif untuk menjamin bahwa produk memenuhi standar yang ditetapkan sepanjang proses produksi. Setelah menganalisis data menggunakan metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA), disusunlah rekomendasi perbaikan. FMEA merupakan metode manajemen risiko proaktif yang bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan yang mungkin terjadi dalam desain, proses produksi, atau produk (Hisprastin & Musfiroh, 2020). Usulan perbaikan ini berasal dari analisis yang dilakukan menggunakan Pengendalian Kualitas Statistik (SQC). Dalam proyek ini, peran Pengendalian Kualitas sangat penting untuk memonitor dan menjamin kualitas dari proyek tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT Swadaya Graha dan pengumpulan data diambil dari data primer yaitu wawancara langsung dengan pihak *Quality Control* serta data sekunder yang diambil dari data *Non Destructive Test Penetrant Test* dan *Magnetic Test* (NDT MT-PT). Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah menggunakan metode Statistical Quality Control (SQC) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengambil data dari proses produksi fabrikasi *metal ducting* dengan data jumlah produksi pengelasan sebesar 128086 mm dan data cacat pengelasan yang diambil dalah dari 4 jenis cacat yakni Porositas/*Porosity*, *Spatter*, dan *Incomplete Fusion*/Penyambungan Tidak Merata, dan cacat *Slag*. Kemudian data yang telah didapatkan akan diolah dengan metode *Statistical Quality Control* (SQC) serta *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)



Gambar 1. Jenis-jenis cacat pengelasan pada *project metal ducting* PT. Maxitherm Boiler Indonesia

Statistical Quality Control (SQC)

1. *Check Sheet*

Dari hasil pengamatan ini penulis menemukan beberapa permasalahan terkait cacat pengelasan dalam stasiun pengelasan. Dimana permasalahan ini mengandung potensi *defect* pada saat proses produksi. Hal ini dapat dilihat dari tabel *check sheet* di bawah ini:

Tabel 1. *Check Sheet*

| No. | Item | Jenis Cacat | | | |
|-----|---|-----------------|--------------------------|----------------|-------------|
| | | <i>Porosity</i> | <i>Incomplete Fusion</i> | <i>Spatter</i> | <i>Slag</i> |
| 1. | <i>Metal Ducting Line 149, Pos. 007, Elbow</i> | | | | |
| 2. | <i>Metal Ducting Line 159, Pos. 008, Spool. 4</i> | | | | |
| 3. | <i>Metal Ducting Line 150, Pos. 006, Spool. 2</i> | | | | |
| 4. | <i>Metal Ducting Line 160, Pos. 005, Spool. 2</i> | | | | |
| 5. | <i>Metal Ducting Line 167, Pos. 005, Elbow</i> | | | | |

Sumber: Data Internal PT. Swadaya Graha (Semen Indonesia Group)

Keterangan : | = 5mm

2. Stratifikasi

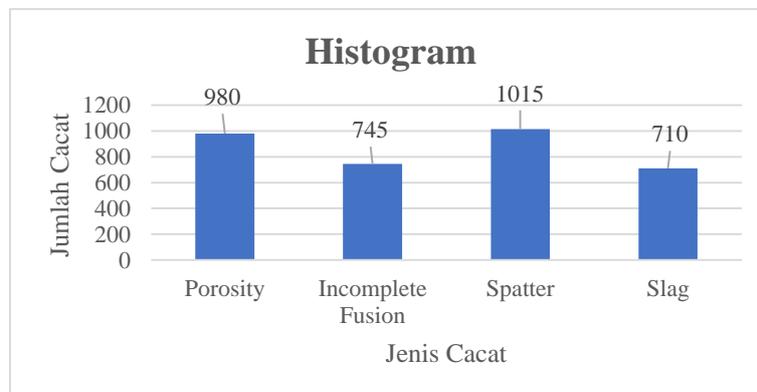
Stratifikasi merupakan proses pengelompokan data ke dalam kategori-kategori yang memiliki karakteristik serupa. Kriteria yang digunakan adalah kecacatan dalam pengelasan *metal ducting*, dengan lima jenis kecacatan yang meliputi *Porosity*, *Incomplete Fusion* (IF), *Spatter*, dan *Slag*. Tabel 2. menampilkan hasil dari tahapan stratifikasi sesuai dengan *check sheet*

Tabel 2. Stratifikasi

| No. | Item | Produksi (mm) | Jenis Cacat | | | | Cacat (mm) |
|-----|---|---------------|-----------------|--------------------------|----------------|-------------|------------|
| | | | <i>Porosity</i> | <i>Incomplete Fusion</i> | <i>Spatter</i> | <i>Slag</i> | |
| 1. | <i>Metal Ducting Line 149, Pos. 007, Elbow</i> | 18758 | 225 | 60 | 250 | 85 | 620 |
| 2. | <i>Metal Ducting Line 159, Pos. 008, Spool. 4</i> | 48321 | 275 | 200 | 330 | 200 | 1005 |
| 3. | <i>Metal Ducting Line 150, Pos. 006, Spool. 2</i> | 21788 | 145 | 125 | 200 | 100 | 570 |
| 4. | <i>Metal Ducting Line 160, Pos. 005, Spool. 2</i> | 18921 | 100 | 210 | 110 | 220 | 640 |
| 5. | <i>Metal Ducting Line 167, Pos. 005, Elbow</i> | 20298 | 235 | 150 | 125 | 105 | 615 |
| Σ | | 128086 | 980 | 745 | 1015 | 710 | 3450 |

Sumber : Data Internal PT. Swadaya Graha (Semen Indonesia Group)

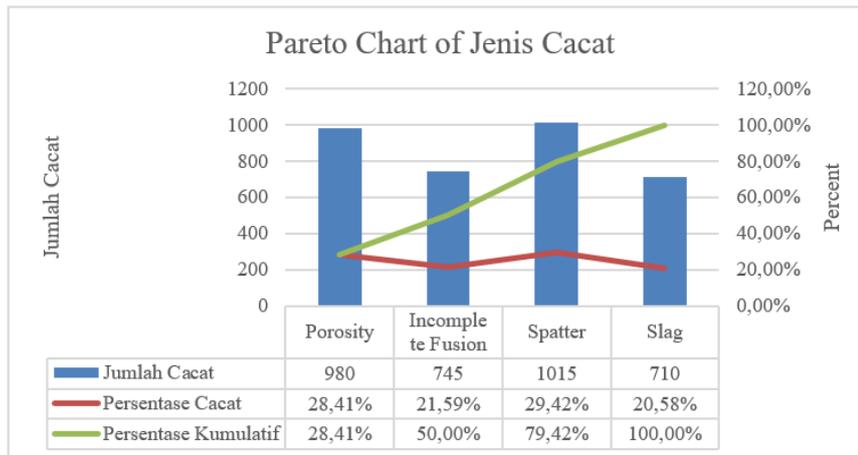
3. Histogram



Gambar 2. Histogram

Dari gambar 2. cacat pengelasan yang paling dominan berdasarkan histogram tersebut adalah cacat *Spatter* sebesar 1015 mm, lalu cacat *Porosity*/Porositas sebesar 980 mm, kemudian cacat *Incomplete Fusion* sebesar 745 mm, serta cacat *Slag* sebesar 710 mm.

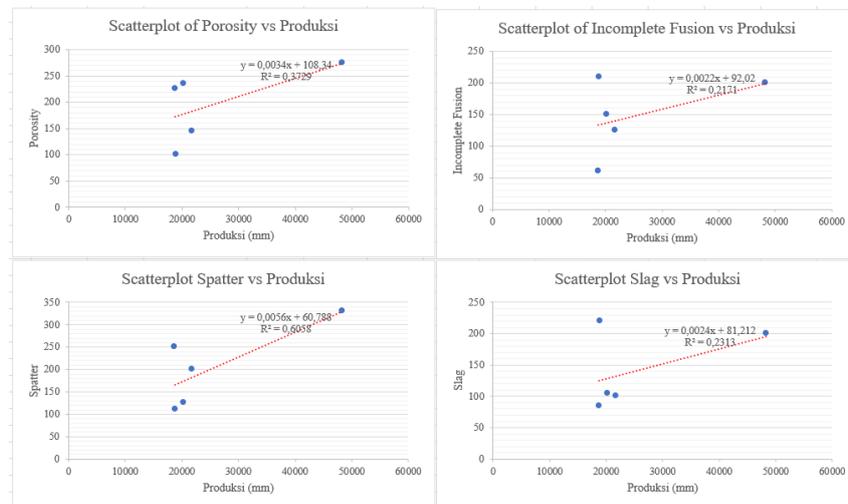
4. Diagram Pareto



Gambar 3. Pareto Chart of Jenis Cacat

Dari gambar 3., persentase kumulatif yang menunjukkan cacat paling dominan berdasarkan persentase kumulatif adalah cacat *spatter* sebesar (29,42%), lalu cacat *porosity*/porositas sebesar (28,41%), kemudian cacat *Incomplete Fusion* sebesar (21,59%), dan cacat *slag* sebesar (20,58%).

5. Scatter Diagram

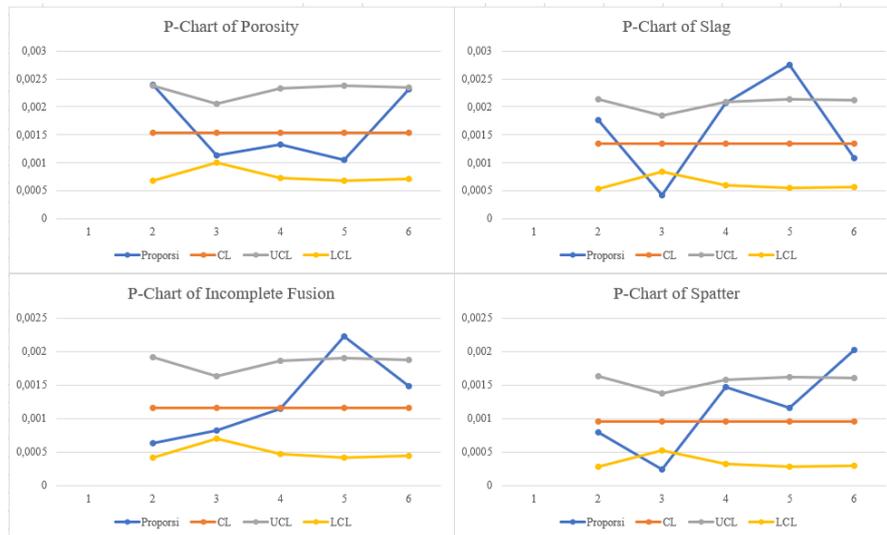


Gambar 4. Scatter Diagram

Dengan merujuk pada gambar 4., hasil produksi pengelasan menunjukkan adanya korelasi positif pada keempat jenis cacat, yakni *Porosity*/Porositas, *Incomplete Fusion*, *Slag*, dan *Spatter*. Korelasi positif mengindikasikan bahwa terdapat hubungan positif, maka peningkatan dari variabel X akan linier dengan peningkatan variabel Y. Dengan kata lain,

saat terjadi peningkatan dalam proses pengelasan, jumlah cacat juga mengalami peningkatan, begitu pula sebaliknya.

6. Control Chart

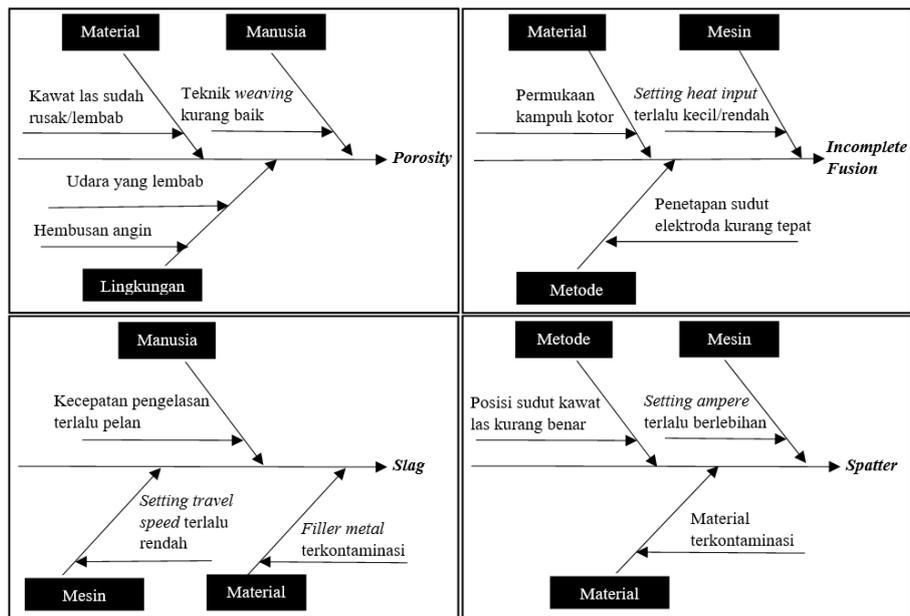


Gambar 5. Peta Kontrol P

Berdasarkan gambar 5., hasil dari peta kontrol P atau *control chart* menunjukkan bahwa keempat jenis cacat, yaitu *Porosity*, *Incomplete Fusion*, *Slag*, dan *Spatter*, menunjukkan bahwa jumlah cacat yang terjadi masih berada dalam kendali atau tidak mengalami situasi di luar batas kendali (*out of control*).

7. Fishbone Diagram

Melalui penggunaan *fishbone diagram*/diagram sebab-akibat, dilakukan analisis terhadap faktor-faktor penyebab cacat pada *Porosity*, *Incomplete Fusion*, *Slag*, dan *Spatter*. Analisis ini menggunakan diagram sebab-akibat, yang umumnya dikenal sebagai *fishbone*, untuk mengidentifikasi dan memahami hubungan antara penyebab dan akibat dari setiap jenis cacat.



Gambar 6. Diagram Sebab Akibat

Dengan merujuk pada gambar 6., dapat dilihat bahwa penyebab cacat pada setiap faktor telah diidentifikasi. Pada cacat *Porosity*, penyebab masalah dianalisis dari segi material, tenaga kerja, dan kondisi lingkungan. Sedangkan untuk cacat *Incomplete Fusion*, faktor penyebab masalah dianalisis dari sisi material, mesin, dan metode kerja. Untuk cacat *Slag*, penyebab masalah diidentifikasi dari segi tenaga kerja, mesin, dan material. Sementara itu, pada cacat *Spatter*, penyebab masalah dianalisis dari segi metode kerja, mesin, dan material.

Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Setelah melakukan analisis dengan *Statistical Quality Control*, ditemukan bahwa cacat yang paling dominan adalah *Spatter*, diikuti oleh *Porosity*/Porositas, *Incomplete Fusion*, dan *Slag*. Berdasarkan diagram sebab-akibat, kemudian dilakukan identifikasi penyebab kecacatan dalam pengelasan *metal ducting* untuk merumuskan tindakan usulan perbaikan. Metode yang digunakan adalah *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dengan menilai nilai *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan tingkat *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

| Potential Failure Mode | Potential Effect of Failure | S | Potential Cause | O | Current Control | D | RPN |
|------------------------|---|---|--|---|--|---|-----|
| Porosity | Akan mudah menyebabkan munculnya korosi dari dalam lasan dan akan menjadi penyebab terjadinya <i>crack</i> apabila terkena beban | 7 | Kawat las sudah rusak/lembab | 5 | Mempersiapkan material dengan baik sesuai dengan WPS | 4 | 140 |
| | | | Teknik <i>weaving</i> kurang baik | 6 | Memperispkan <i>welder</i> untuk menguasai teknik pengelasan dengan baik | 5 | 210 |
| | | | Udara yang lembab | 6 | Tidak melakukan pengelasan saat hujan | 3 | 126 |
| | | | Hembusan angin | 6 | Melindungi daerah pengelasan dengan pelindung selubung | 3 | 126 |
| Slag | Akan menjadi penyebab terjadinya <i>crack</i> apabila terkena beban dan mengurangi kekuatan sambungan las | 6 | Kecepatan pengelasan terlalu pelan | 6 | Mengingatkan <i>welder</i> untuk melakukan pengelasan sesuai prosedur pada WPS | 6 | 216 |
| | | | <i>Setting travel speed</i> terlalu rendah | 4 | Menyesuaikan <i>travel speed</i> sesuai prosedur | 3 | 72 |
| | | | <i>Filler metal</i> terkontaminasi | 4 | Menangani <i>filler metal</i> sesuai prosedur | 4 | 96 |
| Incomplete Fusion | Akan menjadi penyebab terjadinya <i>crack</i> apabila terkena beban dan mengurangi kekuatan las yang berakibat fatal terhadap ketahanan dan keamanan | 8 | Permukaan kampuh kotor | 4 | Membersihkan kampuh sebelum digunakan | 3 | 96 |
| | | | <i>Setting Heat Input</i> terlalu kecil | 5 | Menyesuaikan <i>heat input</i> sesuai prosedur | 4 | 160 |
| | | | Penetapan sudut elektroda kurang tepat | 6 | Menetapkan sudut elektroda sesuai prosedur | 5 | 240 |
| Spatter | Menyebabkan terjadinya <i>Undercut</i> . Dapat terjadi <i>over spatter</i> . Menyebabkan material lubang, jika mengelas material tipis. Dapat terjadi cacat las <i>Burn Through</i> . Penetrasi pengelasan terlalu besar. | 6 | <i>Setting ampere</i> berlebihan | 5 | Menyesuaikan <i>setting ampere</i> sesuai prosedur | 4 | 120 |
| | | | Posisi sudut kawat las kurang benar | 6 | Menyesuaikan sudut pengelasan dengan benar | 5 | 180 |
| | | | Material terkontaminasi | 4 | Melakukan inspeksi material dengan baik dan benar | 6 | 144 |

Dari tabel 3. didapatkan hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN), terlihat bahwa penyebab kegagalan diurutkan dari nilai tertinggi ke terendah. Hal ini dilakukan untuk memberikan rekomendasi perbaikan berdasarkan setiap penyebab kegagalan (*potential cause*). Usulan perbaikan yang diusulkan kemudian disusun berdasarkan urutan nilai RPN, yang ditunjukkan sesuai pada tabel 4.

Tabel 4. Rekomendasi Perbaikan Berdasarkan Urutan RPN

| Priority | Potential Failure Mode | Potential Cause | RPN | Recommendation |
|----------|--------------------------|--|-----|---|
| 1 | <i>Incomplete Fusion</i> | Penetapan sudut elektroda kurang tepat | 240 | Melakukan pengecekan sudut elektroda sesuai WPS yang digunakan sebelum mulai mengelas |
| 2 | <i>Slag</i> | Kecepatan pengelasan terlalu pelan | 216 | Mengawasi <i>welder</i> lebih ketat saat melakukan pengelasan agar tidak terjadi kecacatan pengelasan |
| 3 | <i>Porosity</i> | Teknik <i>weaving</i> kurang baik | 210 | Melakukan briefing setiap sebelum dilakukan pengelasan |
| 4 | <i>Spatter</i> | Posisi sudut kawat las kurang benar | 180 | Melakukan pengecekan sudut kawat las sesuai WPS yang digunakan sebelum mulai mengelas |
| 5 | <i>Incomplete Fusion</i> | <i>Setting Heat Input</i> terlalu kecil | 160 | Menyesuaikan <i>heat input</i> sesuai WPS yang digunakan |
| 6 | <i>Spatter</i> | Material terkontaminasi | 144 | Melakukan inspeksi material sebelum material difabrikasi |
| 7 | <i>Porosity</i> | Kawat las sudah rusak/lembab | 140 | Menggunakan prosedur yang direkomendasikan untuk treatment kawat las |
| 8 | <i>Porosity</i> | Udara yang lembab | 126 | Memberikan <i>pre-heat</i> untuk mengurangi kelembaban dan menambah <i>blower</i> di area pengelasan |
| 9 | <i>Porosity</i> | Hembusan angin | 126 | Melindungi daerah pengelasan dengan memberi selubung / tirai / sekat |
| 10 | <i>Spatter</i> | <i>Setting ampere</i> berlebihan | 120 | Menyesuaikan <i>setting ampere</i> sesuai WPS yang digunakan |
| 11 | <i>Slag</i> | <i>Filler metal</i> terkontaminasi | 96 | Menggunakan prosedur yang direkomendasikan untuk menyimpan elektroda |
| 12 | <i>Incomplete Fusion</i> | Permukaan kampuh kotor | 96 | Membuat prosedur untuk wajib memperhatikan kondisi area pengelasan sebelum dan sesudah pengelasan |
| 13 | <i>Slag</i> | <i>Setting travel speed</i> terlalu rendah | 72 | Menyesuaikan arus pengelasan dan <i>travel speed</i> sesuai dengan WPS yang digunakan |

Dari tabel 4., didapatkan bahwa penyebab kecacatan dengan nilai RPN (*Risk Priority Number*) paling tinggi 240 yaitu pada cacat *Incomplete Fusion* dengan penyebab kecacatan penetapan Penetapan sudut elektroda kurang tepat, dan rekomendasi usulan perbaikan yakni melakukan pengecekan sudut elektroda sesuai WPS yang digunakan sebelum mulai mengelas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan bahwa jenis cacat paling dominan dilihat dari persentase kumulatif adalah cacat spatter sebesar (29,42%), lalu cacat porosity/porositas sebesar (28,41%), kemudian cacat *Incomplete Fusion* sebesar (21,59%), dan cacat slag sebesar (20,58%). Cacat spatter merupakan jenis cacat pengelasan terbanyak karena faktor mesin dengan setting ampere yang berlebihan, faktor material dengan material yang terkontaminasi, serta terdapat faktor metode dengan posisi sudut kawat las yang kurang benar. Berdasarkan nilai

RPN (Risk Priority Number), penyebab kecacatan dengan nilai RPN (Risk Priority Number) tertinggi 240 yaitu pada cacat Incomplete Fusion dengan penyebab kecacatan penetapan Penetapan sudut elektroda kurang tepat, dan rekomendasi usulan perbaikan yakni melakukan pengecekan sudut elektroda sesuai WPS yang digunakan sebelum mulai mengelas.

DAFTAR REFERENSI

- Azdkar, Muhammad Sultanul, Herman Pratikno, and Harmin Sulistiyaning Titah. 2019. “Analisis Pengelasan SMAW Pada Baja ASTM A36 Dengan Variasi Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Dan Ketahanan Biokorosi Di Lingkungan Laut.” *Jurnal Teknik ITS* 7 (2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.32118>.
- Endramawan, Tito, Emin Haris, Felix Dionisius, and Yuliana Prinka. 2017. “Aplikasi Non Destructive Test Penetrant Testing (Ndt-Pt) Untuk Analisis Hasil Pengelasan Smaw 3G Butt Joint.” *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)* 3 (2): 44–48. <https://doi.org/10.31884/jtt.v3i2.61>.
- Hisprastin, Y., & Musfiroh, I. (2020). Ishikawa Diagram dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) sebagai Metode yang Sering Digunakan dalam Manajemen Risiko Mutu di Industri. *Majalah Farmasetika*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v6i1.27106>
- Pareznasrah. (2023). *Analisa Kerusakan Pipa Ducting Scrubbing Berbahan Carbon Steel Ss400 Di Pabrik Pupuk Npk-1 Pt Pusri Palembang Carbon Steel Ss400 Failure Analysis Of Ducting Scrubbing Pipe At Pt Pusri Palembang For Npk-1 Plant*. 15(1), 55–62.
- Shiyamy, Achmad F., Rohmat, Siti, & Sopian, Adi. (2021). Artikel analisis pengendalian kualitas produk dengan. *Jurnal Ilmiah Manajemen*, 2(2), 32–45.
- Sulaiman, Sulaiman, Budi Utomo, and I Putu Agung Ardi Wijana. 2020. “Analisis Uji Tidak Merusak Pada Sambungan Las Lambung Frame 103 Bagian Kamar Mesin Kapal Patroli 73 Dengan Metode Radiography Test.” *Gema Teknologi* 20 (4): 146–52. <https://doi.org/10.14710/gt.v20i4.28516>.
- Yunianto, Bambang, Prayogi Wicaksana, Jl Sudharto, Kampus UNDIP Tembalang, and Jawa Tengah. 2023. “Analisis Cacat Hasil Pengelasan Pada Pipa ASTM A106 Grade B Menggunakan Magnetic Particle Test Dan Liquid Penetrant Test Di Workshop Las Dan Inspeksi PPSDM Migas Cepu” 25 (2): 54–60.