

Pengaruh *Interpass Cleaning* terhadap Cacat Las pada Material API 2W Gr.50 dengan Proses Pengelasan SMAW

Douglas Napitupulu ^{*1}, Ebeng Sugondo 1^{*} dan Nurul Fadilah 2^{*}

Program Studi Teknik Mesin

Politeknik Negeri Batam

Jl. Ahmad Yani Batam Kota, Kota Batam 29432, Kepulauan Riau, Indonesia

E-mail: 3412531001Douglas@students.polibatam.ac.id

Abstrak

Interpass cleaning merupakan tahap penting dalam proses pengelasan berlapis yang berfungsi untuk menghilangkan sisa *slag*, oksida dan percikan logam pada setiap lapisan las. *Interpass cleaning* ini berpengaruh langsung terhadap terbentuknya cacat las yang dapat menurunkan kekuatan sambungan. Proses SMAW dipilih karena fleksibel, mudah diaplikasikan di lapangan dan banyak digunakan dalam industri baja. Pembersihan yang optimal meningkatkan kualitas dan integritas hasil las khususnya pada proses SMAW yang sangat bergantung pada kebersihan antar lapisan. Pada proses *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) keberadaan *slag* yang dihasilkan dari pembakaran fluks elektroda menjadikan tahapan *interpass cleaning* sangat krusial. Kegagalan dalam membersihkan *slag* dapat menyebabkan cacat seperti *slag inclusion*, *porosity* dan *lack of fusion*. Studi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tingkat kebersihan *interpass cleaning* terhadap jumlah dan jenis cacat las pada material API 2W Grade 50. Dalam penelitian ini dilakukan dengan dua variasi perlakuan yaitu: (1) pembersihan sempurna (2) pembersihan Sebagian. Pengujian hasil pengelasan menggunakan metode NDT (*Non-Destructive Testing*) berupa *visual testing*, *magnetic particle testing* dan *radiographic testing*. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan standar AWS D1.1 untuk mengetahui apakah telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Hasil pengujian memenuhi persyaratan setelah dibandingkan dengan standar AWS D1.1.

Kata kunci: *Inter pass Cleaning, SMAW, API 2W Gr.50, NDT, AWS D1.1*

Abstract

Inter pass cleaning is a crucial stage in multi-pass welding processes which serve to remove residual slag, oxides and metal spatter between each weld pass. This cleaning step directly affects the formation of weld defects that can compromise the strength of the joint. The *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) process is chosen due to its flexibility, ease of application in the field and widespread use in the steel industry. Optimal cleaning enhances the quality and integrity of the weld especially in SMAW which heavily relies on the cleanliness between passes. In the SMAW process slag is produced from the burning of the electrode flux making inter pass cleaning a critical step. Failure to properly clean the slag can lead to defects such as slag inclusion, porosity and lack of fusion. This study aims to determine the effect of inter pass cleaning quality on the number and types of weld defects in API 2W Grade 50 material. Two treatment variations were applied: (1) complete cleaning, and (2) partial cleaning. Weld quality was evaluated using *Non-Destructive Testing* (NDT) methods, specifically *visual testing*, *magnetic particle testing* and *radiographic testing*. The results were then compared against the AWS D1.1. to assess compliance with the required specifications. The testing results met the acceptance criteria based on both AWS D1.1 standards.

Keywords : *Inter pass Cleaning, SMAW, API 2W Gr.50, NDT, AWS D1.1*

1. Pendahuluan

Dalam industri konstruksi lepas pantai dan struktur berat, baja berkekuatan tinggi seperti API 2W Grade 50 banyak digunakan karena memiliki kombinasi sifat kekuatan tarik tinggi, ketangguhan yang baik serta ketahanan terhadap korosi di lingkungan laut. Material API 2W Grade 50 adalah baja struktural berkekuatan menengah yang diproses secara *Thermomechanical Control Process* (TMCP) dan dirancang untuk aplikasi struktur lepas pantai. Baja ini memiliki sifat mekanik sebagai berikut: yield strength minimum 345 MPa, tensile strength minimum 448 MPa dan elongation minimum 18–23% serta impact toughness yang baik pada suhu rendah. Material API 2W Grade 50 memiliki komposisi kimia yang dirancang untuk mendukung kekuatan dan ketahanan terhadap korosi dengan kandungan maksimum sebagai berikut: karbon (C) sebesar 0.16%, mangan (Mn) antara 1.15–1.60%, fosfor (P) 0.03%, sulfur (S) 0.01%, silikon (Si) 0.05–0.50%, nikel (Ni) hingga 0.75% dan kromium (Cr) hingga 0.25%. [1], [2].

Salah satu proses pengelasan yang banyak diterapkan pada baja ini adalah SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) karena memiliki tingkat produktivitas tinggi, penetrasi yang baik dan stabilitas busur yang optimal [3]. namun seperti halnya proses las lain SMAW juga berpotensi menimbulkan berbagai cacat las (*welding defects*) seperti *slag inclusion*, *porosity* dan *lack of fusion* jika parameter dan prosedur pengelasan tidak dikontrol dengan baik. [4], [5].

Dalam *Welding Process SMAW*, *Inter pass cleaning* atau pembersihan antar lapisan berpengaruh signifikan terhadap mikrostruktur dan kekuatan mekanik hasil las. Kotoran atau kerak yang tidak dibersihkan dapat terperangkap dan akan melemahkan struktur las. Pengaruh lain meliputi retak (*cracking*), ketidaksempurnaan fusi (*incomplete fusion*) dan *porosity*. sedangkan pembersihan yang baik dapat menghasilkan kualitas las yang berkualitas, lebih kuat dan lebih tahan lama. Oleh karena itu kontrol kualitas *interpass cleaning* menjadi salah satu aspek penting yang tidak dapat diabaikan pada proses pengelasan berlapis terutama untuk material dengan spesifikasi kekuatan tinggi seperti API 2W Gr.50. [6].

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh tingkat kebersihan *interpass cleaning* terhadap jumlah dan jenis cacat las pada material API 2W Grade 50 melalui dua perlakuan yaitu pembersihan sempurna dan pembersihan sebagian. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Non-Destructive Testing* (NDT) berupa *visual testing*, *magnetic particle testing* dan *radiographic testing* yang hasilnya dibandingkan dengan standar AWS D1.1 untuk menilai kesesuaian terhadap spesifikasi teknis. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pembersihan antar lapisan yang tidak optimal berkontribusi terhadap terbentuknya cacat internal seperti *slag inclusion* dan *lack of fusion* sehingga studi ini juga mengidentifikasi jenis cacat yang muncul serta memberikan rekomendasi standar *interpass cleaning* yang efektif untuk proses pengelasan SMAW. [7].

Latar belakang dan masalah yang menjadi alasan penelitian ini adalah kegagalan atau cacat banyak produk pengelasan pada industri minyak dan gas akibat dari lemahnya kontrol pada *interpass cleaning* oleh *welder* yang sudah ditetapkan di WPS sehingga tidak memenuhi syarat minimum penerimaan standard. Dengan banyaknya hasil pengelasan yang cacat maupun dianggap gagal akan berpengaruh terhadap daya saing Perusahaan.

Manfaat dari penelitian ini untuk pelaku industri berat khususnya industri *OIL & GAS* adalah sebagai berikut.

1. Peningkatan kualitas produk
2. Optimalisasi proses
3. Pengurangan biaya
4. Memberikan masukan untuk perbaikan

Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian secara umum adalah sebagai berikut.

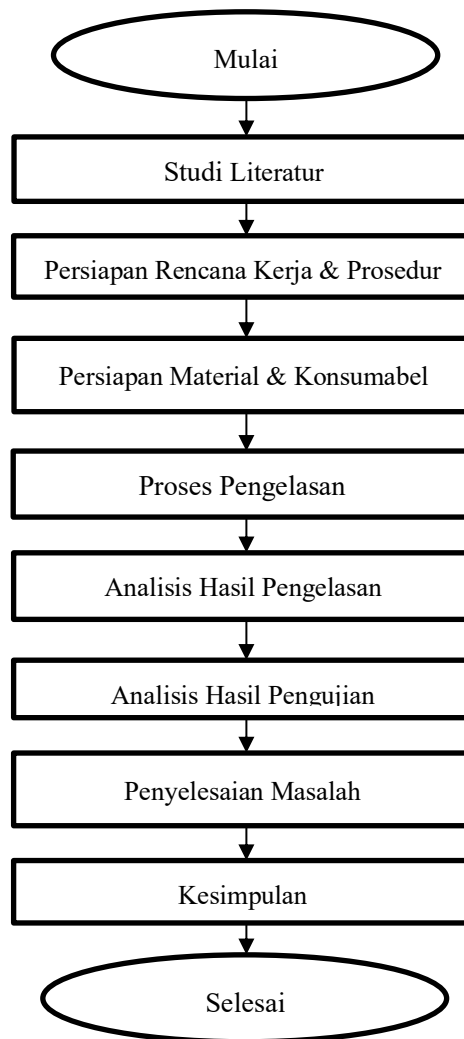


Diagram Metodologi Penelitian

2.2 Studi Literatur

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengumpulkan referensi ilmiah terkait material API 2W Gr.50, proses pengelasan SMAW, *Consumable/Electrode* serta pengaruh *interpass cleaning* terhadap kualitas sambungan las. Literatur yang dikaji mencakup standar industri, jurnal ilmiah tentang pengelasan serta buku referensi teknik pengelasan.

2.3 Persiapan Rencana Kerja dan Prosedur

Objek penelitiannya adalah Proyek NORTH FIELD EXPANSION PROJECT (*NFXP*) yang berlokasi di PT. MC.DERMOTT INDONESIA BATAM FABRICATION YARD. Untuk rencana kerja dan prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Inspection Test and Procedure : NFEO-MCD-QM-ITP-00014 Rev.01
2. Welding Procedure Specification : WPS S2020 Rev 10-QG NFXP[8]
3. Acceptance Criteria : AWS D1.1/D1.1M

2.4 Persiapan Material & Consumable

Pada tahap ini, memastikan material yang digunakan adalah API 2W Gr.50 berbentuk *pipe* atau *bracing*

dengan ketebalan 12 mm. Pipa dipotong menjadi kampuh *Single V Groove* dengan sudut 60°. Permukaan dibersihkan dari karat dan minyak sebelum pengelasan.

Tabel 1: Persiapan Material

NO	DRAWING	NO JOINT	DIMENSI (<i>Thickness X Length</i>) mm	Welder ID	TEST PIECE
1	WM-M-NFQ16-30 DWG-201-2001-001-01	W-02	12.70 X 1277	ABVX-ADV V	A
2	WM-M-NFQ16-30 DWG-201-2001-001-01	W-03	12.70 X 1277	AGFG-AIHE	B
3	WM-M-NFQ16-30 DWG-201-2001-001-01	W-29	12.70 X 1596	ADV V-GRK	C
4	WM-M-NFQ16-30 DWG-201-2001-001-01	W-33	12.70 X 1596	ABVX-AIHE	D
5	WM-M-NFQ16-30 DWG-201-2001-001-01	W-48	12.70 X 1277	ADV V-AIJI	E
6	WM-M-116-22-ST- DWG-00022 0006 01	W-26	12.70 X 688	ADIA-AIHE	F
7	WM-M-NFQ17-30- 201-2002 001 01	W-13	12.70 X 1596	ABVX-ADV V	G
8	WM-M-116-22-ST DWG-00012-01	W-53	12.70 X 1277	ABVX-ADV V- AIHE	H
9	WM-M-NFQ16-30- 201-2001 0001-01	W-32	12.70 X 1596	ABVX-AIHE	I
10	WM-M-117-22-ST- DWG-00022 0006 01	W-23	12.70 X 688	AGAP-AGFG	J

Sebagai catatan bahwa dalam *CODE & STANDARD AWS D1.1* dari 8 items *.Essential Variable* yang terdiri dari: *Base Material, Filler Material, Welding Process, Position, Thickness & Diameter, Heat Input, Preheat & Interpass* dan *Joint Design* yang mempengaruhi kualitas (Mechanical Properties) suatu sambungan las bahwa *length* (panjang pengelasan) tidak termasuk didalamnya dalam artian bahwa panjang pengelasan tidak akan mempengaruhi dari kualitas dari sambungan las tersebut sehingga ketika 10 benda uji mempunyai panjang yang berbeda beda tidak mempengaruhi hasil pengujian.

Tabel 2: Chemical Properties Material API 2W Gr.50, Electrode E7016, Electrode E7018-1

Element	Maximum %		
	Material API 2W Gr.50	Electrode E7016	Electrode E7018-1
C	0,16%	0,15%	0,15%
Mn	1,15 – 1,60%	1,60%	1,60%
Si	0.05 - 0.50%	0,75%	0,75%
Cu	0,35%	NA	NA
Ni	0,75%	NA	0,30%
Cr	0,25%	NA	0,20%
Mo	0,08%	NA	0,30%
Ti	0,007 - 0,02%	NA	NA
P	0,03%	0,030% - 0,040%	0,035%
S	0,01%	0,030 - 0,035%	0,35%
Al	0,02-0,06%	NA	NA
N	0,12%	NA	NA
Cb	0,03%	NA	NA
V	NA	NA	0,08%

Tabel 3: Mechanical Properties material API 2W Gr.50 Material API 2W Gr.50, Electrode E7016, Electrode E7018-1

Test Method	Unit of Measure		
	Material API 2W Gr.50	Electrode E7016	Electrode E7018-1
Yield Strength minimum, ksi(MPa)	345 MPa	400 MPa	400 MPa
Tensile strength minimum ksi(MPa)	448 MPa	490 MPa	490 MPa
Elongation	18-23%	22 %	22 %
Min Impact Toughness	41 J	27 J	47 J

2.5 Proses Pengelasan

Pada tahap ini dilakukan monitoring proses pengelasan mulai dari *Root Pass*, *Hot Pass*, *Filler Pass* sampai *Capping Pass* harus sesuai dengan WPS yang digunakan yaitu WPS S2020.

2.5.1 Preheat

Sebelum pengelasan dimulai dilakukan proses *preheat* pada area sambungan dengan suhu yang ditentukan dalam WPS S2020 yaitu minimal 10 °C menggunakan pemanas listrik atau *gas torch* dan suhu diukur dengan menggunakan Termometer.

2.5.2 Kontrol Proses Pengelasan

Setelah memastikan bahwa suhu preheat telah mencapai nilai yang ditentukan sesuai WPS, proses pengelasan dapat dilanjutkan dengan menggunakan parameter yang tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4: Welding Parameter Table

Welding Parameter	Welding Pass			
	Root Pass	Hot Pass	Filler Pass	Capping Pass
Electrode	KOBE LB-52U (E7016)	ESSAB OK 55	ESSAB OK 55	ESSAB OK 55
Process	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW
Size (mm)	2.6	3.2	3.2	3.2
Polarity	DCEN	DCEP	DCEP	DCEP
Ampere	70-90 A	110-135 A	110-140 A	100-125 A
Voltage	18-21 V	19-24 V	20-25 V	22-24 V
Travel Speed (mm/min)	48-70	95-120	97-148	132-145
Heat Input (Kj/mm)	1.08-2.36	1.05-2.05	0.89-2.16	0.91-1.36

Selama pengelasan berlangsung parameter aktual seperti arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan dimonitor dan dicatat menggunakan alat ukur seperti amperemeter, voltmeter dan stopwatch untuk memastikan kesesuaian dengan WPS.

3. Analisis Data dan Pembahasan

3.1 Interpass Cleaning Analisis

Interpass cleaning dalam pengelasan adalah proses pembersihan permukaan logam las di antara setiap lintasan (pass) pengelasan pada sambungan multi-pass. Analisis terhadap proses ini bertujuan untuk memastikan setiap lapisan bebas dari kontaminan sebelum lapisan berikutnya ditambahkan guna menjaga integritas struktural. Metode yang digunakan adalah *grinding*, *power brushing* dan *chipping*.



Gambar 1: Interpass Cleaning Method (Grinding) & Interpass profil setelah dibersihkan

3.2 Pengujian Hasil Pengelasan

Tahap ini merupakan proses pengujian hasil pengelasan menggunakan metode *Non-Destructive Testing* (NDT) yang meliputi *Visual Testing* (VT), *Magnetic Particle Testing* (MT), *Radiographic Testing* (RT). Alasan penggunaan ketiga metode tersebut mengacu pada *Inspection Procedure* dan *Client Specification* yang telah disepakati bersama oleh kontraktor dan klien. Pada pengujian *visual testing*, *magnetic testing* & *radiography testing* kriteria yang diterima mengacu pada standar AWS D1.1 yang umum digunakan sebagai acuan untuk proyek – proyek konstruksi pembuatan instalasi minyak lepas pantai. *Tabel acceptance criteria* berfungsi sebagai standar yang jelas dan objektif untuk menentukan apakah suatu produk atau komponen telah memenuhi persyaratan kualitas dan fungsionalitas yang diharapkan.

Tabel 5: Acceptance Criteria

NDT Method	Inspection Procedure	Acceptance Criteria	Minimum NDT Operator
Visual Test	AWSD1.1/D1.1M	AWS D1.1/D1.1M Table 10.15 (Tubular)	AWS Certified Welding Inspector (CWI)
RT	AWSD1.1/D1.1M	AWS D1.1/D1.1M Paragraph 8.12	ASNT Level II
MPI	AWSD1.1/D1.1M	AWS D1.1/D1.1M Table 10.15 (Tubular)	ASNT Level II

3.2.1 Visual Testing

Panduan dalam melakukan *Visual Testing* mengacu pada AWSD1.1 yang sudah diadopsi menjadi spesifikasi 101-20-ST-SPC-00003 (*Specification for Welding and Inspection*) yang telah disepakati oleh PT. MI sebagai kontraktor dan Qatar Gas (QG) sebagai klien.

Langkah-langkah pemeriksaan *Visual Testing* pada benda uji adalah sebagai berikut :

1. Membersihkan permukaan hasil las dari slag, kerak atau kotoran.
2. Memastikan permukaan las bebas dari object yang mengganggu interpretasi Inspektur pengelasan
2. Mengamati tampilan *weld bead* dengan alat bantu seperti *welding gauge*, kaca pembesar dan senter.
3. Membandingkan hasil pengamatan dengan standar penerimaan berdasarkan ASME Section IX atau AWS D1.1.



Gambar 2: Visual Testing

3.2.2 Magnetic Particle Testing

Panduan dalam melakukan *Magnetic Particle Testing* mengacu pada AWS D1.1 yang sudah diadopsi menjadi spesifikasi NFEO-MCD-QM-SPC-0010 (*Specification for Non-Destruction Testing*) yang telah disepakati oleh PT. MI sebagai kontraktor dan Qatar Gas (QG) sebagai klien.

Tahapan pengujian *Magnetic Particle Testing* pada benda uji adalah sebagai berikut :

1. Membersihkan area las dari kotoran dan minyak.
2. Memberikan medan magnet menggunakan yoke magnetik.
3. Menyemprotkan partikel magnetik (*wet/dry method*) di atas area las.
4. Mengamati indikasi cacat yang muncul di permukaan.
5. Menilai hasil pengujian berdasarkan standar AWS D1.1.



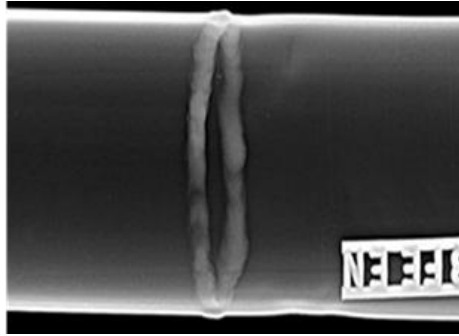
Gambar 3: Welding Profile setelah di MPI

3.2.3 Radiographic Testing

Panduan dalam melakukan *Radiographic Testing* mengacu pada AWS D1.1 yang sudah diadopsi menjadi spesifikasi NFEO-MCD-QM-SPC-0010 (*Specification for Non-Destruction Testing*) yang telah disepakati oleh PT. MI sebagai kontraktor dan Qatar Gas (QG) sebagai klien.

Tahapan pengujian *Radiographic Testing* pada benda uji adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen las dengan kode identifikasi.
2. Menempatkan sumber radiasi (X-ray atau Iridium-192) di satu sisi sambungan las.
3. Menempatkan film radiografi di sisi berlawanan.
4. Melakukan penyinaran sesuai waktu eksposur yang telah ditentukan.
5. Memproses film dan mengevaluasi hasil citra untuk melihat adanya indikasi cacat.
6. Menilai hasil pengujian berdasarkan standar AWS D1.1.



Gambar 4: Radiography Image pada Tubular

3.3 Analisis Hasil Pengujian

3.3.1 Visual Testing

Tabel 6: Hasil Pengujian Visual Testing

Test Piece	Kondisi Interpass	Cacat	Keterangan
A	Bersih	N/A	ACCEPT
B	Bersih	N/A	ACCEPT
C	Bersih	N/A	ACCEPT
D	Bersih	N/A	ACCEPT
E	Bersih	N/A	ACCEPT
F	Bersih	N/A	ACCEPT
G	Bersih	N/A	ACCEPT
H	Bersih	N/A	ACCEPT
I	Bersih	N/A	ACCEPT
J	Bersih	N/A	ACCEPT

Berdasarkan table 6.

1. Semua test piece (A–J) dinyatakan ACCEPT pada pengujian visual (VT).
2. Tidak ditemukan indikasi cacat visual (Defect = N/A)
3. Dengan demikian pengaruh interpass cleaning terhadap hasil VT tidak terlihat signifikan pada sampel ini, karena semua joint lolos inspeksi visual sesuai dengan standar AWS D1.1

3.3.2 Magnetic Particle Testing

Tabel 7: Hasil Pengujian Magnetic Partical Testing

Test Piece	Kondisi Interpass	Cacat	Keterangan
A	Bersih	N/A	ACCEPT
B	Bersih	N/A	ACCEPT
C	Bersih	N/A	ACCEPT
D	Bersih	N/A	ACCEPT
E	Bersih	N/A	ACCEPT
F	Bersih	N/A	ACCEPT
G	Bersih	N/A	ACCEPT
H	Bersih	N/A	ACCEPT
I	Bersih	N/A	ACCEPT
J	Bersih	N/A	ACCEPT

Berdasarkan table 7.

1. Semua test piece (A–J) dinyatakan ACCEPT pada pengujian Magnetic Test (MT).
2. Tidak ditemukan indikasi cacat visual pada pengujian MT.
3. Dengan demikian pengaruh *interpass cleaning* terhadap hasil MT tidak terlihat signifikan pada sampel ini karena semua *joint* lolos inspeksi MT sesuai dengan standar AWS D1.1

3.3.3 Radiographic Testing

Tabel 8: Hasil Pengujian Radiographic Testing

Test Piece	Kondisi Interpass	Jenis Cacat	Panjang Cacat (mm)	Max Toleransi (mm)	Keterangan
A	Bersih	N/A	N/A	N/A	ACCEPT
B	Bersih	N/A	N/A	N/A	ACCEPT
C	Bersih	N/A	N/A	N/A	ACCEPT
D	Bersih	N/A	N/A	N/A	ACCEPT
E	Bersih	N/A	N/A	N/A	ACCEPT
F	Kotor	Cluster Porosity	15	3	REJECT
G	Kotor	Slag, Wormhole	43	6	REJECT
H	Kotor	Cluster Porosity, Slag, Wormhole	35	6	REJECT
I	Kotor	Slag, Wormhole	17	6	REJECT
J	Kotor	Cluster Porosity	10	3	REJECT

Berdasarkan table 8. pengaruh interpass cleaning sangat nyata. *Interpass cleaning* mempengaruhi hasil RT secara signifikan, dengan analisa sebagai berikut :

1. Pada kondisi Bersih semua joint lolos RT (tidak ada cacat internal)
2. Pada kondisi Kotor semua joint gagal RT menunjukkan bahwa *slag* dan kontaminan antar pass memicu cacat internal serius.
3. Jenis cacat dominan: *Slag inclusion & wormhole* paling sering muncul menandakan pembersihan slag antar pass tidak dilakukan dengan baik.
4. *Cluster porosity* mengindikasikan adanya gas terperangkap akibat kontaminasi permukaan atau kelembaban elektroda.
5. Implikasi terhadap penerimaan (AWS D1.1):

Semua cacat yang terdeteksi (slag, wormhole, porosity) termasuk kategori tidak diperbolehkan. Oleh karena itu seluruh joint dengan kondisi interpass kotor dinyatakan *Reject*.

3.4 Penyelesaian Masalah

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis masalah utama yang ditemukan adalah cacat internal pada kondisi interpass kotor yang menyebabkan sambungan las tidak memenuhi standar AWS D1.1. Untuk mengatasi hal tersebut langkah-langkah penyelesaian yang direkomendasikan adalah:

1. Optimalkan *Interpass Cleaning*
Pastikan pembersihan *slag*, *spatter* dan oksida dilakukan secara menyeluruh setelah setiap pass menggunakan alat seperti *chipping hammer*, *wire brush* dan *grinder*.
Gunakan inspeksi visual sebelum melanjutkan ke pass berikutnya.
2. Kontrol Kelembaban Elektroda dan Permukaan
Simpan elektroda sesuai prosedur (oven pengering) untuk mencegah kelembaban yang dapat memicu porosity.
Pastikan permukaan bebas dari minyak, karat dan kontaminan sebelum pengelasan.
3. Pelatihan Operator
Berikan pelatihan tentang pentingnya interpass cleaning dan prosedur pengelasan sesuai WPS.
Tekankan pemeriksaan antar pass sebagai bagian dari *quality control*.
4. Monitoring dan Dokumentasi
Catat parameter pengelasan (*ampere*, *volt*, *travel speed*, *Interpass temperature*) untuk memastikan kesesuaian dengan WPS.

4. Kesimpulan

Interpass cleaning memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kualitas sambungan las. Kondisi interpass bersih: Semua sambungan (A–E) memenuhi standar AWS D1.1 dan lolos pengujian VT, MT, serta RT tanpa indikasi cacat. Kondisi interpass kotor: Semua sambungan (F–J) gagal pada pengujian RT dengan cacat internal serius, sehingga dinyatakan Reject.

Pengujian Visual Testing (VT): Tidak ditemukan cacat baik pada kondisi bersih maupun kotor. Hal ini menunjukkan bahwa cacat akibat interpass cleaning yang buruk tidak terdeteksi oleh pemeriksaan visual.

Pengujian Magnetic Particle Testing (MT): Semua sambungan dinyatakan Accept baik bersih maupun kotor. Sama seperti VT pengaruh interpass cleaning tidak terlihat pada MT.

Pengujian Radiographic Testing (RT): Menunjukkan pengaruh paling nyata dari interpass cleaning. Kondisi kotor menghasilkan cacat internal seperti *slag inclusion*, *wormhole*, *cluster porosity* dan *porosity* yang semuanya termasuk kategori tidak diperbolehkan menurut AWS D1.1.

Implikasi terhadap standar dan praktik pengelasan: *Interpass cleaning* yang tidak optimal meningkatkan risiko cacat internal yang tidak terlihat oleh VT dan MT sehingga dapat menurunkan integritas sambungan las secara signifikan. Kontrol kebersihan antar pass wajib dilakukan sebagai bagian dari prosedur pengelasan untuk menjamin kualitas dan keselamatan struktur.

5. Daftar Pustaka

- [1] SSAB, “API 2W Grade 50,” SSAB.COM. [Online]. Available: <https://www.ssab.com/en-us/brands-and-products/commercial-steel/structural-steel/api-offshore-structural-steel-grades/2w-grade-50>
- [2] Y. T. Shin and H. W. Lee, “Evaluation of Fracture Behavior of the Reheated Weld Zone in API 2W Gr . 50 Steel Weld Metals,” vol. 18, no. 5, pp. 863–867, 2012, doi: 10.1007/s12540-012-5018-3.
- [3] S. C. H. Howard B. Cary, *Modern Welding Technology*. Pearson/Prentice Hall, 2005.
- [4] C. Jong, B. Wook, H. Jun, S. Kim, D. Kim, and Y. Tae, “Materials & Design Slag inclusion-free flux cored wire arc directed energy deposition process,” *Mater. Des.*, vol. 238, no. January, p. 112669, 2024, doi: 10.1016/j.matdes.2024.112669.
- [5] S. A. Rizvia and W. Alib, “Welding defects , Causes and their Remedies : A Review,” vol. 2, no. 2, pp. 39–47, 2019.
- [6] M. Maronek, F. Sugra, K. Bartova, J. Barta, and J. Urminsky, “The Effect of Interpass Temperature on the Mechanical Properties and Microstructure of Components Made by the WAAM Method from Inconel 718 Alloy,” 2024.
- [7] W. Arc and A. Manufacturing, “A Review of Non-Destructive Testing (NDT) Techniques for Defect Detection : Application to Fusion Welding and Future Wire Arc Additive Manufacturing Processes,” 2022.
- [8] P. M. I. QFAB, “WPS S2020-QG-NFXP Rev 10,” 2025.