EVALUASI RADIOGRAFI DAN PERBAIKAN SAMBUNGAN LAS GTAW PIPA PADA *SEAL POT*

Muhammad Zaky Falah[1*] , M Roni Hajianto[1]

[1]Program Studi Teknik Mesin Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gadjah Mada No. 38, Cepu, Blora, 58315

**E-mail: zakyfalah120605@gmail.com*

ABSTRAK

Seal pot pada sistem *flare* berfungsi sebagai sekat hidrolik pencegah *flashback*, sehingga integritas las pipa dan *cross tee*-nya harus dijamin sejak fabrikasi. Penelitian ini mengevaluasi hasil uji radiografi (*radiographic testing*, RT) pada enam sambungan las *gas tungsten arc welding* (GTAW) pipa baja karbon 3 inci Sch 40 (tebal dinding T = 5,49 mm), beserta perbaikan dan RT ulangnya. Metode yang dipakai adalah studi kasus deskriptif atas laporan RT teknik dinding ganda citra tunggal (*double wall single image*, DWSI) dengan sumber Ir-192 dan indikator kualitas citra (*image quality indicator*, IQI) kawat ASTM 1B, yang dievaluasi terhadap ASME Section V Article 2 dan ASME Section VIII Divisi 1. Dari 14 film pada enam sambungan, 13 film (92,9%) diterima dan 1 film (7,1%), yaitu segmen 4–8 sambungan WL1-J2, ditolak karena porositas. Densitas tercatat 2,00–4,00 dan ketajaman geometri terhitung 0,37 mm (batas 0,5 mm), keduanya memenuhi persyaratan. Seluruh film memperlihatkan kawat nomor 6 (0,25 mm), tetapi kawat esensial sisi film untuk basis IQI 9,5 mm (nomor 5, 0,20 mm) tidak termuat pada set ASTM 1B sehingga kecukupan sensitivitas citra belum terbukti. Basis 9,5 mm berasal dari T ditambah penguat las maksimum 4 mm dan hanya berlaku untuk pemilihan IQI, sedangkan kriteria penerimaan memakai T = 5,49 mm; pemakaian 9,5 mm sebagai T akan menggeser batas indikasi membulat acak dari 1,37 mm menjadi 2,38 mm. Setelah digerinda dan dilas ulang dengan GTAW, seluruh 12 film WL1 diterima pada RT ulang. Hasil penelitian terbatas pada satu kasus.

Kata kunci: *Seal pot*, radiografi, porositas, GTAW, ASME Section VIII.

1. PENDAHULUAN

Kilang minyak dan gas bumi menuntut keandalan tinggi pada bejana tekan dan pemipaan penunjangnya. *Seal pot* pada sistem *flare* berfungsi sebagai sekat hidrolik yang mencegah nyala api balik (*flashback*) dari area pembakaran ke *header* proses sekaligus menjaga tekanan balik (*backpressure*) sistem [1]. Integritas sambungan lasnya karena itu harus dijamin sejak tahap fabrikasi.

Cacat las pada pipa dan *cross tee* yang berisi cairan segel dan gas buang dapat menjadi jalur kebocoran gas hidrokarbon atau hilangnya cairan segel, sehingga fungsi pencegahan *flashback* terganggu [1].

Sambungan *seal pot* dilas dengan GTAW, yang dapat menimbulkan diskontinuitas internal seperti porositas, inklusi tungsten, dan kurang fusi (*incomplete fusion*). Studi pada pengelasan *shielded metal arc welding* (SMAW) mengaitkan porositas dengan kelembapan udara [2] dan perlakuan pemanasan elektroda [3]. Diskontinuitas internal tersebut dideteksi dengan RT yang mengikuti ASME Section V [4], sedangkan penerimaannya dinilai menurut ASME Section VIII Divisi 1 [5].

Putusan RT bergantung pada tiga hal yang perlu ditautkan: (i) pemisahan acuan ketebalan untuk pemilihan IQI dan untuk kriteria penerimaan, (ii) kualitas citra RT (kawat IQI, densitas, dan ketajaman geometri), serta (iii) alur ditolak, diperbaiki, dan diuji radiografi ulang. Artikel

ini mengevaluasi ketiganya pada sambungan GTAW pipa berdinding tipis pada *seal pot*, dengan T aktual 5,49 mm sebagai acuan kriteria penerimaan.

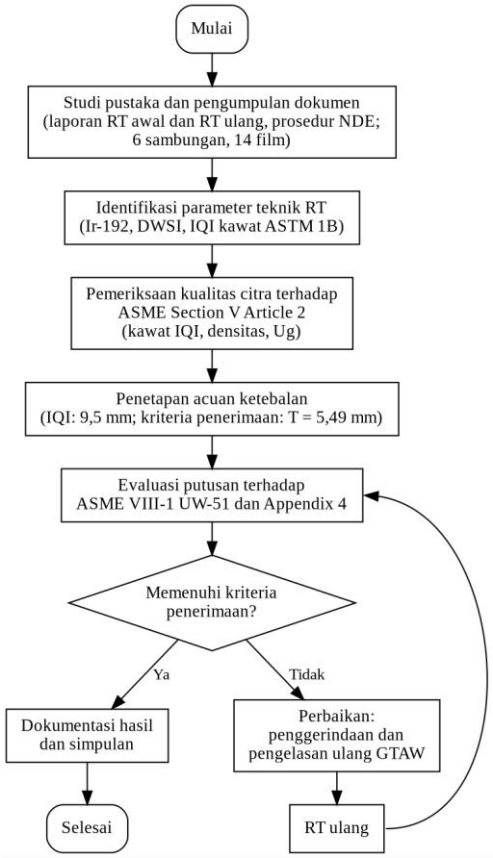
Rumusan masalah: (1) bagaimana hasil RT 14 film pada enam sambungan las GTAW pipa 3 inci Sch 40 terhadap kriteria penerimaan ASME dengan acuan ketebalan yang sesuai; (2) apakah kualitas citra RT memenuhi persyaratan ASME Section V Article 2; dan (3) bagaimana alur perbaikan dan hasil RT ulang pada sambungan yang ditolak. Tujuan penelitian adalah mengevaluasi hasil RT menurut ASME Section V [4], memeriksa kualitas citranya, serta menilai hasil perbaikan menurut ASME Section VIII Divisi 1 [5].

2. METODE PENELITIAN

A. Pendekatan dan Sumber Data

Penelitian dilaksanakan di PT X pada 6 Juli sampai 30 September 2026 sebagai studi kasus deskriptif atas dokumentasi pengendalian mutu proyek fabrikasi *seal pot*, dengan statistik deskriptif. Dokumen yang dianalisis adalah laporan RT awal, laporan RT ulang, dan prosedur *nondestructive examination* (NDE) proyek (Rev A, Februari 2026) yang melampirkan prosedur RT SDM-RT-04 Rev 02. Penulis tidak melaksanakan RT; RT dilaksanakan oleh personel NDE proyek. Evaluasi bertumpu pada lembar laporan RT dan tidak memeriksa film asli. Publikasi data diizinkan PT X dengan syarat identitas perusahaan dan kode proyek disamarkan.

Objek penelitian adalah enam sambungan pipa baja karbon yang dilas dengan GTAW oleh juru las bernomor cap 16: WL1-J1 sampai WL1-J4 (pipa ke *cross tee*) serta WL10-J1 dan WL10-J2. Pipa berukuran 3 inci Sch 40 dengan tebal dinding nominal 5,49 mm. Peta sambungan ditunjukkan pada Gambar 3 yang juga memuat sambungan lain di luar cakupan lembar RT ini. Data pengelasan (WPS/PQR, bahan tambah, gas pelindung, dan parameter listrik) tidak termuat pada dokumen yang dianalisis sehingga penyebab porositas tidak dibahas. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

B. Parameter Teknik RT

Parameter teknik RT pada lembar laporan (Gambar 2) dirangkum pada Tabel 1. Seluruh film dibuat dengan teknik DWSI dan IQI kawat di sisi film mengikuti ASME Section V Article 2 [4]. Jenis dan penempatan IQI mengacu pada ASTM E747 [6].

Tabel 1. Parameter teknik radiografi (sumber: lembar laporan RT)

Parameter	Spesifikasi
Material dan ukuran	Baja karbon; pipa 3 inci Sch 40, T = 5,49 mm; tebal las 9,5 mm (*as weld*)
Sumber radiasi	Ir-192, aktivitas 58 Ci, ukuran sumber 2 × 3 mm
Teknik	DWSI; 1 film per *holder*; huruf timbal “B” dipakai
Jarak	Jarak sumber ke objek (*source to object distance*, SOD) 3 in (76,2 mm); jarak sisi sumber objek ke film (*source side of object to film*, SSOF) 9,5 mm
Ketajaman geometri	Ug maksimum 0,5 mm (tercantum pada lembar)
Waktu paparan	1 menit 8 detik (68 detik)
Film dan layar	FUJI XD IX 100; 4 × 10 in; layar Pb 0,125 mm; 14 lembar
IQI	Kawat ASTM 1B, sisi film; kawat terbaca nomor 6
Densitas	2,00–4,00
Prosedur dan kriteria (RT awal)	SDM-RT-B31.3-17 Rev 01; “ASME VIII Div 1 UW 52”
Prosedur dan kriteria (RT ulang)	SDM-RT-04 Rev 02; “ASME VIII Div 1”
Personel	NDE Level II (tertera pada lembar)

Ketajaman geometri dihitung dengan Ug = F·d/D [4], dengan F = 3 mm (dimensi terbesar sumber), d = 9,5 mm (SSOF pada lembar), dan D = 76,2 mm (SOD), sehingga Ug = 3 × 9,5 / 76,2 = 0,37 mm, di bawah batas 0,5 mm yang tercantum pada lembar. Prosedur proyek mendefinisikan d sebagai jarak dari sisi sumber las yang dievaluasi ke film (§8.2.1); pada DWSI las yang dinilai berada di sisi film sehingga d sama dengan SSOF pada lembar. Dengan d tersebut, SOD minimum agar Ug ≤ 0,5 mm adalah 57 mm (3 × 9,5 / 0,5), sehingga SOD 76,2 mm memenuhi.

Ir-192 lazim dipakai untuk RT lapangan pada baja [7]. Prosedur proyek mengizinkan Ir-192 (§7.1) dan mencantumkan film FUJI IX-100 untuk Ir-192 pada tebal las 6,5–50 mm (§7.4); tebal las 9,5 mm berada dalam rentang itu. Tebal tembus DWSI sekitar 11–14 mm (dua dinding 5,49 mm ditambah penguat las). Pada dinding setipis ini Se-75 atau sinar-X memberi kontras yang lebih baik daripada Ir-192 [8], sehingga sensitivitas citra perlu dibuktikan dengan IQI. Lembar RT mencantumkan penafsir film NDE Level II, sesuai syarat Level II atau III pada prosedur (§6.2) dan sejalan dengan SNT-TC-1A [9].

C. Kriteria Penerimaan

Kriteria penerimaan mengacu pada ASME VIII-1 paragraf UW-51 dan *Mandatory Appendix* 4 [5]. Dua acuan ketebalan berbeda dipakai pada RT dan sering tertukar (Tabel 2). Untuk memilih IQI, ASME V Article 2 (T-276) memakai tebal dinding tunggal nominal ditambah perkiraan penguat las (*reinforcement*) yang tidak melebihi batas kode, tanpa pengukuran aktual [4]. Lembar RT mencatat 9,5 mm, sesuai dengan T = 5,49 mm ditambah penguat las maksimum 4 mm (5/32 in) pada tabel penguat las prosedur proyek untuk sambungan *butt* ASME VIII-1 kategori B dan C dengan tebal nominal 4,8–13 mm (5,49 + 4,0 = 9,49, dibulatkan menjadi 9,5 mm) [5]. Untuk keputusan diterima atau ditolak, ASME VIII-1 memakai T, yaitu tebal las tanpa penguat las (atau tebal yang lebih tipis pada sambungan *butt* dengan tebal berbeda) [5], sehingga T = 5,49 mm. Angka 9,5 mm karena itu sah sebagai basis IQI, tetapi bukan T untuk kriteria penerimaan.

Tabel 2. Dua acuan ketebalan pada RT sambungan pipa 3 inci Sch 40

Kegunaan	Definisi	Nilai	Dasar
Pemilihan IQI dan kawat esensial	Dinding tunggal + penguat las	9,5 mm	ASME V T-276
Kriteria penerimaan (T)	Tebal las tanpa penguat las	5,49 mm	ASME VIII-1 UW-51, Appendix 4
Tebal tembus DWSI	2 × dinding + penguat las	sekitar 11–14 mm	Perhitungan

Indikasi dibagi menjadi linear (panjang lebih dari tiga kali lebar) dan membulat (*rounded*). Retak (*crack*), kurang fusi (*lack of fusion*), dan kurang penetrasi (*incomplete penetration*) ditolak berapa pun ukurannya, sedangkan indikasi linear lain, misalnya terak memanjang (*elongated slag*), ditolak bila panjangnya melebihi 6 mm (¼ in) untuk T sampai 19 mm [5]. Indikasi membulat dinilai terhadap ukuran maksimum per rentang ketebalan pada Tabel 4-1 serta bagan pola acak, terisolasi, sejajar (*aligned*), dan gugus (*cluster*) per 150 mm panjang las [5].

Lembar RT awal mencantumkan kriteria “ASME VIII Div 1 UW 52”, sedangkan lembar RT ulang mencantumkan “ASME VIII Div 1” tanpa nomor paragraf. UW-52 mengatur RT spot dan tidak menjadikan indikasi membulat sebagai dasar penolakan [5]. Status ditolak karena porositas karena itu selaras dengan evaluasi menurut UW-51 (RT penuh), tempat indikasi membulat dinilai dengan Appendix 4, atau dengan spesifikasi proyek yang lebih ketat

daripada UW-52. Penelitian ini memakai UW-51 dan Appendix 4 sebagai acuan evaluasi, dan status ditolak diperlakukan sebagaimana tercatat pada lembar RT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Radiografi Awal

Tabel 3 menyajikan hasil 14 film dari enam sambungan yang seluruhnya dilas oleh juru las bernomor cap 16. Sebanyak 13 film (92,9%) diterima dan 1 film (7,1%) ditolak, yaitu film 4–8 sambungan WL1-J2 dengan catatan "POROS" (Gambar 2). Pada tingkat sambungan, 1 dari 6 sambungan (16,7%) memuat film yang ditolak. Dengan hanya 14 film, tingkat penolakan 7,1% memiliki selang kepercayaan 95% (Wilson) sebesar 1,3–31,5%, sehingga belum cukup untuk menilai kapabilitas proses pengelasan.

Tabel 3. Hasil interpretasi 14 film (RT awal dan RT ulang)

No.	Sambungan	Lokasi film	Diskontinuitas tercatat	Kawat	Densitas	Putusan RT awal	Putusan RT ulang
1	WL1-J1	0–4	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
2	WL1-J1	4–8	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
3	WL1-J1	8–0	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
4	WL1-J2	0–4	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
5	WL1-J2	4–8	Porositas (catatan "POROS")	6	2,00–4,00	**REJECT**	ACC
6	WL1-J2	8–0	Tanda pada kolom porositas	6	2,00–4,00	ACC	ACC
7	WL1-J3	0–4	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
8	WL1-J3	4–8	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
9	WL1-J3	8–0	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
10	WL1-J4	0–4	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
11	WL1-J4	4–8	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
12	WL1-J4	8–0	–	6	2,00–4,00	ACC	ACC
13	WL10-J1	A–B	–	6	2,00–4,00	ACC	–
14	WL10-J2	A–B	–	6	2,00–4,00	ACC	–

Type of Material	: CS	Radiation	: Ir. 192	Radiographic Technique	
Thickness, Tm	: 3"S.40/5.49 MM	Activity	: 58 Ci	■ DWSI ☐ DWDI ☐ SWSI	
Weld Thickness	: 9.5 MM	kV / mA	: N/A	Screen Type	: Pb 0.125 mm
Dist. From SSOF	: 9.5 MM	Source Size	: 2X3 mm	Unsharp. Geo.	: MAX 0.5 mm
SOD	: 3 INCH	IQI Placement	: Film Side	Procedure No.	: SDM-RT-B31.3-17 REV 01
Exposure Time	: 01' : 08"	IQI Selection	: ASTM 1B	Applicable Code	: ASME Sect V
Welding Process	: GTAW	Reinforcement As	: As Weld	Acceptance Criteria: ASME VIII Div 1 UW 52	

Identification	Joint No.	Welder Stamp	Film Location	Type of Discontinuity: Crack	Incomplete Pen.	Incomplete Fusion	Porosity	Slag Inclusion	Undercut	Others	Sensitivity (W I)	Range Density	Judgement	Remark
PT X (disamarkan)	WL1 - J1	16	0 - 4								6	2.00-4.00	ACC	
			4 - 8								6	2.00-4.00	ACC	
			8 - 0								6	2.00-4.00	ACC	
PT X (disamarkan)	WL1 - J2	16	0 - 4								6	2.00-4.00	ACC	
			4 - 8								6	2.00-4.00	REJECT	POROS
			8 - 0				V				6	2.00-4.00	ACC	
PT X (disamarkan)	WL1 - J3	16	0 - 4								6	2.00-4.00	ACC	
			4 - 8								6	2.00-4.00	ACC	
			8 - 0								6	2.00-4.00	ACC	
PT X (disamarkan)	WL1 - J4	16	0 - 4								6	2.00-4.00	ACC	
			4 - 8								6	2.00-4.00	ACC	
			8 - 0								6	2.00-4.00	ACC	
PT X (disamarkan)	WL10-J1	16	A - B								6	2.00-4.00	ACC	
PT X (disamarkan)	WL10-J2	16	A - B								6	2.00-4.00	ACC	

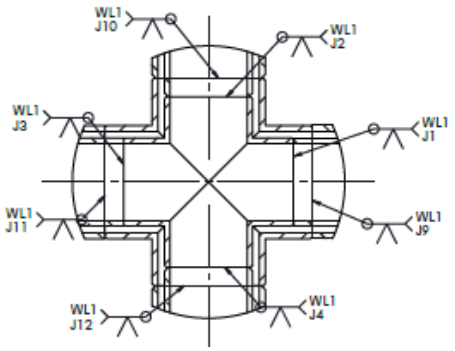
Film	: FUJI XD IX 100	Lead Letter "B" Used	■ Yes ☐ No
Total Films		Number of film each film holder = 1 SHEET	
4" x 10"	: 14 SHEETS	Notes : SSOF	= Source Side of Object to the Film
4" x 15"	:	SOD	= Source to Object Distance

Gambar 2. Lembar laporan RT awal (kode proyek disamarkan)

Film 8–0 sambungan WL1-J2 memuat tanda pada kolom porositas tetapi tetap diputuskan diterima, sedangkan film 4–8 pada sambungan yang sama ditolak dengan catatan "POROS". Hal ini sejalan dengan ketentuan bahwa kehadiran indikasi membulat tidak otomatis berarti penolakan; putusan ditentukan oleh ukuran, jumlah, dan sebaran indikasi terhadap Appendix 4 [5]. Sambungan WL10-J1 dan WL10-J2 diterima tanpa diskontinuitas tercatat, dan 11 dari 12 film WL1 diterima pada RT awal.

B. Acuan Ketebalan dan Indikasi Porositas WL1-J2

Porositas tampak pada film sebagai indikasi membulat yang lebih gelap daripada logam las sekitarnya karena rongga gas menyerap radiasi lebih sedikit [7]. Peta sambungan (Gambar 3) menunjukkan lokasi WL1-J2 pada *cross tee*, yang menjamin ketertelusuran (*traceability*) dan memperjelas segmen yang harus diperbaiki.



Gambar 3. Ilustrasi skematik pemetaan sambungan las

Putusan ditolak bergantung pada ukuran, jumlah, dan jarak indikasi terhadap batas Appendix 4, dan pemilihan T menentukan batas tersebut. Tabel 4 menunjukkan pengaruhnya pada batas indikasi membulat acak (¼T) [5]. Putusan ditolak pada segmen 4–8 diperlakukan

sebagaimana dicatat penafsir film pada lembar RT; penelitian ini tidak menilai ulang putusan tersebut.

Tabel 4. Pengaruh pemilihan T terhadap batas indikasi membulat acak (¼T)

Acuan yang dipakai sebagai T	T (mm)	Batas indikasi membulat acak, ¼T (mm)
Tebal dinding nominal 3 inci Sch 40 (benar)	5,49	1,37
Basis IQI, yaitu T + penguat las (keliru bila dipakai sebagai T)	9,5	2,38

Indikasi membulat acak berukuran antara 1,37 dan 2,38 mm ditolak bila T = 5,49 mm, tetapi diterima bila 9,5 mm keliru dipakai sebagai T. Penentuan T yang benar (5,49 mm) karena itu merupakan syarat evaluasi yang sahih.

C. Kualitas Citra RT

Tabel 5 merangkum pemeriksaan kualitas citra terhadap ASME Section V Article 2 [4]. Densitas 2,00–4,00 pada seluruh film sesuai rentang yang diizinkan (minimum 2,0 untuk sumber gamma dan maksimum 4,0 untuk tampilan film tunggal); yang tercatat pada lembar adalah rentang, bukan nilai terukur per film. Ketajaman geometri Ug = 0,37 mm memenuhi batas 0,5 mm.

Untuk basis 9,5 mm (rentang >6,4–9,5 mm), Tabel T-276 mensyaratkan kawat esensial nomor 6 pada IQI sisi sumber dan nomor 5 (0,20 mm) pada IQI sisi film [4]. IQI dipasang di sisi film, sedangkan set ASTM 1B dimulai dari kawat nomor 6 (0,25 mm) [6], sehingga kawat esensial nomor 5 tidak termuat pada set ini dan kawat nomor 6 yang terbaca belum membuktikan terpenuhinya sensitivitas yang disyaratkan. Sensitivitas ekuivalen kawat nomor 6 adalah 0,25/9,5 = 2,6% dan kawat esensial nomor 5 adalah 0,20/9,5 = 2,1% dari basis tersebut; tingkat sekitar 2% lazim dijadikan sasaran kualitas RT [10]. Kepatuhan dapat dipastikan dengan IQI set A yang memuat kawat nomor 1–7 [6]. Basis yang sedikit melebihi 9,5 mm akan menggeser syarat sisi film ke kawat nomor 6.

Tabel 5. Pemeriksaan kualitas citra RT terhadap ASME Section V Article 2

Pemeriksaan	Persyaratan	Data pada lembar RT	Status
Densitas	2,0 sampai 4,0	2,00–4,00	Memenuhi (rentang tercatat)
Ketajaman geometri	Ug ≤ 0,5 mm	Ug = 0,37 mm (dihitung)	Memenuhi
Kawat esensial sisi film (basis 9,5 mm)	Nomor 5 (0,20 mm; 2,1%)	Kawat nomor 6 (0,25 mm; 2,6%) pada set ASTM 1B	Belum terbukti; set ASTM 1B tidak memuat kawat nomor 5

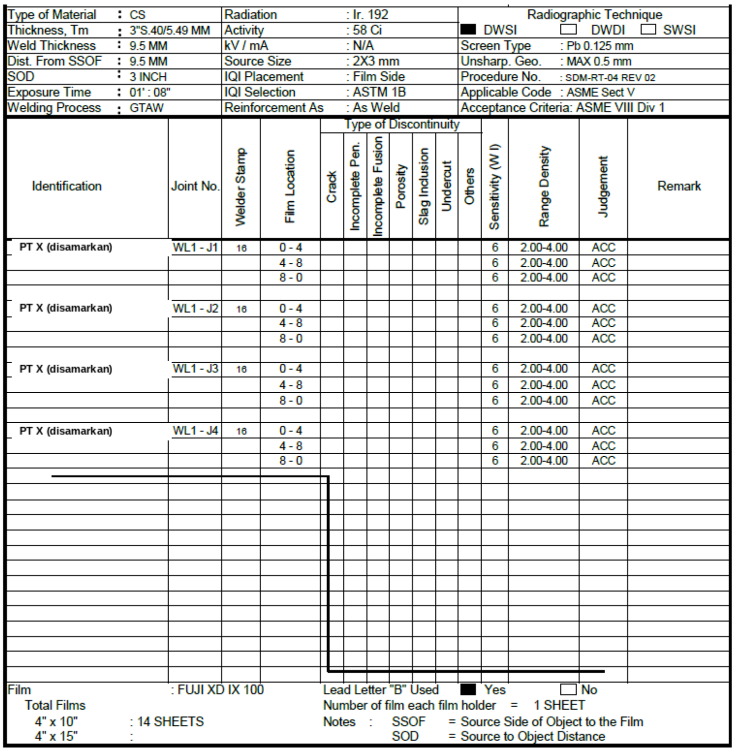
RT sensitif terhadap cacat volumetrik seperti porositas [7], sedangkan cacat planar (*lack of fusion* dan retak) sulit terdeteksi bila tidak sejajar dengan berkas radiasi [10]. Angka pada Tabel 5 adalah syarat kualitas citra, bukan bukti bahwa semua cacat kecil terdeteksi.

D. Perbaikan dan Uji Radiografi Ulang

Sambungan yang ditolak ditangani dengan penggerindaan segmen 4–8 sampai rongga porositas hilang, pengelasan ulang dengan GTAW oleh juru las berkualifikasi, lalu RT ulang. Tabel 6 merangkum alur tersebut sebagaimana tercatat.

Tabel 6. Alur perbaikan dan RT ulang sebagaimana tercatat

Tahap	Yang tercatat
RT awal	Film 4–8 sambungan WL1-J2 ditolak dengan catatan “POROS”; 13 film lain diterima
Penggerindaan	Galian dilakukan hingga rongga porositas hilang; kedalaman dipantau secara visual
Pengelasan ulang	GTAW oleh juru las berkualifikasi
RT ulang	Seluruh 12 film WL1-J1 sampai WL1-J4 diterima; tidak ada tanda pada kolom porositas



Type of Material : CS	Radiation : Ir. 192	Radiographic Technique	
Thickness, Tm : 3"S.40/5.49 MM	Activity : 58 Ci	■ DWSI ☐ DWDI ☐ SWSI	
Weld Thickness : 9.5 MM	kV / mA : N/A	Screen Type : Pb 0.125 mm	
Dist. From SSOF : 9.5 MM	Source Size : 2X3 mm	Unsharp. Geo. : MAX 0.5 mm	
SOD : 3 INCH	IQI Placement : Film Side	Procedure No. : SDM-RT-04 REV 02	
Exposure Time : 01' : 08"	IQI Selection : ASTM 1B	Applicable Code : ASME Sect V	
Welding Process : GTAW	Reinforcement As : As Weld	Acceptance Criteria: ASME VIII Div 1	

Identification	Joint No.	Welder Stamp	Film Location	Type of Discontinuity: Crack	Incomplete Pen.	Incomplete Fusion	Porosity	Slag Inclusion	Undercut	Others	Sensitivity (W I)	Range Density	Judgement	Remark
PT X (disamarkan)	WL1 - J1	16	0 - 4								6	2.00-4.00	ACC	
			4 - 8								6	2.00-4.00	ACC	
			8 - 0								6	2.00-4.00	ACC	
PT X (disamarkan)	WL1 - J2	16	0 - 4								6	2.00-4.00	ACC	
			4 - 8								6	2.00-4.00	ACC	
			8 - 0								6	2.00-4.00	ACC	
PT X (disamarkan)	WL1 - J3	16	0 - 4								6	2.00-4.00	ACC	
			4 - 8								6	2.00-4.00	ACC	
			8 - 0								6	2.00-4.00	ACC	
PT X (disamarkan)	WL1 - J4	16	0 - 4								6	2.00-4.00	ACC	
			4 - 8								6	2.00-4.00	ACC	
			8 - 0								6	2.00-4.00	ACC	

Film : FUJI XD IX 100
Total Films
4" x 10" : 14 SHEETS
4" x 15" :
Lead Letter "B" Used ■ Yes ☐ No
Number of film each film holder = 1 SHEET
Notes : SSOF = Source Side of Object to the Film
SOD = Source to Object Distance

Gambar 4. Lembar laporan RT ulang setelah perbaikan (kode proyek disamarkan)

Lembar RT ulang (Gambar 4) memakai sumber, aktivitas, SOD, waktu paparan, IQI, dan film yang sama dengan RT awal, tetapi mencantumkan prosedur SDM-RT-04 Rev 02 dan kriteria “ASME VIII Div 1” tanpa nomor paragraf. RT ulang mencakup seluruh 12 film WL1-J1 sampai WL1-J4, bukan hanya segmen yang diperbaiki, dan seluruhnya diterima tanpa tanda pada kolom porositas. Catatan kualitas citra RT ulang sama dengan RT awal (kawat nomor 6 pada set ASTM 1B), sehingga keterbatasan pada Tabel 5 berlaku pula pada RT ulang. Hasil RT yang diterima berarti tidak ada indikasi relevan yang melampaui kriteria penerimaan, bukan sambungan bebas cacat. Penelitian ini tidak mengevaluasi pengaruh siklus termal perbaikan terhadap sifat metalurgi (misalnya kekerasan zona terpengaruh panas) sehingga pemulihan integritas metalurgi tidak dapat disimpulkan.

4. SIMPULAN

Pertama, dari 14 film pada enam sambungan las GTAW pipa 3 inci Sch 40 (T = 5,49 mm), 13 film (92,9%) diterima dan 1 film (7,1%), yaitu segmen 4–8 sambungan WL1-J2, ditolak karena porositas. Acuan ketebalan harus dipisahkan: 9,5 mm (T ditambah penguat las maksimum 4 mm) hanya untuk pemilihan IQI, dan 5,49 mm untuk kriteria penerimaan; pemakaian 9,5 mm sebagai T menggeser batas indikasi membulat acak dari 1,37 mm menjadi

2,38 mm. Kedua, densitas (2,00–4,00) dan Ug (0,37 mm) memenuhi persyaratan ASME Section V Article 2, tetapi kawat esensial sisi film untuk basis 9,5 mm (nomor 5) tidak termuat pada IQI set ASTM 1B sehingga kecukupan sensitivitas citra belum terbukti dan perlu dikonfirmasi pada film asli atau dengan IQI set A. Ketiga, setelah penggerindaan dan pengelasan ulang GTAW, RT ulang menyatakan seluruh 12 film WL1 diterima.

Keterbatasan: penelitian ini berupa satu studi kasus yang bertumpu pada lembar laporan RT tanpa pemeriksaan film asli, tanpa metode uji tak merusak pembanding, tanpa uji tekan, dan tanpa data pengelasan sehingga penyebab porositas tidak dianalisis. Saran: gunakan IQI yang memuat kawat esensial sesuai basis ketebalan (misalnya set A untuk basis 9,5 mm), cantumkan ukuran, jumlah, dan jarak indikasi pada setiap putusan ditolak agar dapat diverifikasi terhadap Appendix 4, serta lakukan uji hidrostatik sebagai tindak lanjut untuk memastikan integritas sambungan.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] API, *API Standard 521: Pressure-relieving and Depressuring Systems*, 7th ed. Washington, DC, USA: API, 2020.

[2] A. Rofiqie dan M. Fitri, "Analisis Kelembapan Udara Terhadap Terjadinya Porositas pada Sambungan Las SMAW Material Baja A 106 Grade B Menggunakan Metode Radiography dan Liquid Penetran Test," *J. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, hlm. 51, 2024, doi: 10.22441/jtm.v13i1.22326.

[3] R. Muttaqiin, Jufriadi, dan Mawardi, "Analisa Variasi Temperatur Pemanasan Elektroda untuk Mengurangi Cacat Porosity dengan Pengelasan SMAW (Studi Kasus di Proyek PLTA Peusangan 1 & 2)," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 6, no. 1, 2022, doi: 10.30811/jmst.v6i1.2857.

[4] ASME, *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive Examination*, Article 2 (T-276, T-282, T-285). New York, NY, USA: ASME, 2025.

[5] ASME, *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels* (UW-11, UW-35, UW-51, UW-52, Mandatory Appendix 4). New York, NY, USA: ASME, 2025.

[6] ASTM International, *ASTM E747: Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology*. West Conshohocken, PA, USA.

[7] ASNT, *Nondestructive Testing Handbook, Vol. 4: Radiographic Testing*, 3rd ed. Columbus, OH, USA: ASNT, 2002.

[8] ISO, *ISO 17636-1: Non-destructive testing of welds — Radiographic testing — Part 1: X- and gamma-ray techniques with film*. Geneva, Switzerland: ISO, 2022.

[9] ASNT, *SNT-TC-1A: Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing*. Columbus, OH, USA: ASNT.

[10] ASTM International, *ASTM E94/E94M: Standard Guide for Radiographic Examination Using Industrial Radiographic Film*. West Conshohocken, PA, USA.