

ANALISIS HASIL PENGELASAN *PRESSURE VESSEL* DENGAN *NON DESTRUCTIVE TEST* MENGGUNAKAN METODE *RADIOGRAPHY TEST* DI PT. XYZ

ANALYSIS OF PRESSURE VESSEL WELDING RESULTS WITH NON-DESTRUCTIVE TEST USING RADIOGRAPHY TEST METHOD AT PT. XYZ

Dian Fitria Ramdani*, dan Dene Herwanto

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

*2210631140064@student.unsika.ac.id, dene.herwanto@ft.unsika.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima: 21 November 2025

Direvisi: 8 Juni 2026

Disetujui: 25 Juni 2026

Kata Kunci:

Cacat Las, Hasil Pengelasan, Kriteria Keberterimaan, Pengujian Non Destruktif, Pengujian Radiografi, Tangki Bertekanan

ABSTRAK

Persaingan industri yang semakin kompetitif menuntut perusahaan untuk menjamin kualitas produk secara optimal. Seperti halnya yang dilakukan PT. XYZ sebagai industri fabrikasi yang melakukan pemeriksaan hasil pengelasan guna memastikan integritas struktur dan komponennya. Hasil pengelasan yang diuji terdiri dari beberapa sampel yaitu WL. A-1, WL. B-2, dan WL. B-2 *Repaired*. Setiap sampel harus diinspeksi untuk memastikan kesesuaian dengan standar yang ditetapkan. Artikel ini bertujuan untuk mendeskripsikan analisis hasil pengelasan produk *pressure vessel project* P0278 menggunakan *Non Destructive Test* (NDT) metode *radiography test*, indikasi cacat las dan penyebabnya, serta evaluasi dengan standar yang ditentukan. Berdasarkan hasil pemeriksaan yang dianalisis, sampel WL. A-1 tidak ditemukan indikasi cacat (*accepted*) karena memenuhi kriteria keberterimaan ASME *Section VIII Division 1, Paragraph UW-51* dan *Mandatory Appendix 4*, sementara sampel WL. B-2 ditolak (*rejected*) karena ditemukan indikasi cacat yang melebihi batas toleransi standar tersebut, yaitu cacat *porosity*, sehingga perlu diperbaiki dan dilakukan inspeksi kembali untuk memastikan indikasi cacat yang ditemukan telah hilang. Setelah perbaikan, hasil pemeriksaan ulang sampel WL. B-2 menunjukkan bahwa cacat yang terdeteksi sebelumnya telah hilang (*accepted*) dan sesuai dengan standar yang ditentukan. Penelitian ini menghasilkan temuan terkait hasil pengelasan, cacat las yang terdapat pada sambungan las, serta kesesuaian dengan standar yang telah ditetapkan.

ABSTRACT

The increasingly competitive industrial environment requires companies to ensure optimal product quality. PT. XYZ, as a fabrication company, conducts welding inspections to maintain the structural integrity of its components. The welded joints examined in this study consist of several samples, namely WL. A-1, WL. B-2, and WL. B-2 *Repaired*. Each sample is examined to ensure compliance with established standards. This article aims to describe the analysis of welding results for the *pressure vessel project* P0278 using the *Non-Destructive Test* (NDT) *Radiography Test* method, identify welding defects and their causes, and evaluation with specified standards. Based on the inspection analysis, sample WL. A-1 showed no defect indications (*accepted*) as it met the acceptance criteria of ASME *Section VIII Division 1, Paragraph UW-51*, and *Mandatory Appendix 4*. Conversely, sample WL. B-2 was rejected due to porosity defects exceeding the tolerance limits specified in the standard, which required repair and reinspection to confirm the removal of the detected defects. After repair, the reinspection results of sample WL. B-2 showed that the defects had been eliminated (*accepted*) and complied with the required standards. This study presents findings related to welding results, welding defects found in welded joints, and the compliance with the established standards.

Keywords:

Welding Defect, Welding Result, Acceptance Criteria, Non Destructive Test (NDT), Radiography Test, Pressure Vessel

*Corresponding author: dianfitriaramdani01@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Kualitas kini telah menjadi tuntutan yang harus dijunjung tinggi oleh setiap perusahaan seiring dengan semakin ketatnya persaingan industri, yang berfungsi sebagai indikator kemampuan suatu bisnis untuk bertahan bahkan berkembang [1]. Perusahaan dapat meningkatkan mutu produknya hingga tingkat cacat mencapai nol (*zero defect*) melalui prosedur pengendalian kualitas [2]. Pemeriksaan atau evaluasi terhadap diskontinuitas pada komponen yang menggunakan material berbasis logam harus dilakukan secara rutin untuk meminimalkan risiko kecelakaan kerja, mempermudah proses perawatan, dan memastikan kualitas produk yang baik [3]. Teknologi pengelasan telah digunakan secara luas di berbagai sektor industri, seperti industri *aerospace*, manufaktur peralatan mekanik, serta transportasi pipa, karena perannya yang vital dalam memastikan integritas struktural dan efisiensi proses produksi [4], [5], [6]. Namun, sambungan las dapat mengalami cacat disebabkan berbagai faktor seperti ketidakhomogenan material internal, pengaruh kondisi lingkungan, serta variasi teknik pengelasan [7], [8]. Kehadiran cacat tersebut dapat secara signifikan menurunkan mutu hasil pengelasan serta meningkatkan potensi terjadinya kegagalan pada produk, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan biaya perbaikan yang tinggi dan *downtime* operasional [9]. Ketidaksesuaian hasil pengelasan terhadap standar yang telah ditetapkan diidentifikasi sebagai cacat las (*welding defect*) [10]. Performa struktural komponen akhir dipengaruhi secara langsung oleh kualitas lasan karena cacat internal berpotensi menimbulkan konsentrasi tegangan pada material, sehingga berdampak pada penurunan performa mekanis serta berkurangnya masa pakai komponen tersebut [11]. Oleh karena itu, pelat hasil pengelasan harus bebas dari cacat las seperti *undercut*, *blow holes*, *inclusions*, *porosity*, *cracks*, dan *partial penetration* [12]. Caranya, dengan memastikan kualitas lasan harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dalam ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC) *Section VIII Division 1* [13].

PT. XYZ merupakan industri fabrikasi yang memproduksi material berbahan *stainless steel* atau *higher grade materials* berdasarkan pesanan pelanggan atau dengan sistem *Make-To-Order* (MTO). Pesanan dan spesifikasi yang telah disepakati antara perusahaan dan pelanggan akan diberikan *project number* dan dipersiapkan untuk proses fabrikasi [14]. Produk utama yang diproduksi oleh PT. XYZ adalah *pressure vessel* berbentuk silinder, yang terdiri dari dua konfigurasi kepala (*head channel*) yang berbeda. Proses fabrikasinya meliputi beberapa tahapan, yaitu *material receiving*, *cutting*, *machining*, *bending*, *welding*, dan *assembly*. Pada setiap tahapan proses tersebut dilakukan inspeksi untuk memastikan kesesuaian dengan standar serta menjamin kualitas produk. *Pressure vessel* merupakan tangki silinder tertutup yang umumnya digunakan dalam berbagai industri seperti minyak dan gas, pengolahan kimia, pembangkit listrik, dan sektor lainnya [15]. Proses pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan beberapa komponen yang pada akhirnya membentuk satu kesatuan produk, dalam hal ini produk *pressure vessel*, yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas produk akhir [16]. Sebagaimana cacat las dapat terjadi, baik secara sengaja maupun tidak disengaja, sehingga memerlukan pemeriksaan kualitas. Proses pengelasan tidak selalu menghasilkan hasil yang ideal maupun melalui prosedur yang sepenuhnya bebas kesalahan [17]. Sebagai tangki penyimpanan bertekanan, *pressure vessel* harus memenuhi standar kualitas

yang tinggi untuk memastikan tidak terjadinya kebocoran permukaan maupun bawah permukaan selama pengoperasian [18]. Fungsi keamanan dan kestabilan sistem dapat terganggu apabila terjadi kebocoran selama *pressure vessel* beroperasi, sehingga penggunaan metode *Non-Destructive Test* (NDT) yang sesuai menjadi sangat krusial guna memastikan pengendalian kualitas [19]. Departemen pengendalian mutu bertanggung jawab dalam melakukan pemeriksaan terhadap cacat las menggunakan metode NDT, yaitu pengujian material tanpa merusak tekstur permukaan material [20]. Penerapan NDT sebagai inspeksi pengelasan dilakukan untuk mengidentifikasi titik-titik kerusakan yang mungkin terjadi pada sambungan las *pressure vessel*, sehingga perusahaan dapat mencegah terjadinya produk cacat melalui penggunaan data yang akurat [21].

Radiography test merupakan bagian dari pendekatan NDT yang digunakan untuk mengidentifikasi dan memeriksa berbagai jenis cacat las, dengan keunggulan mampu mendeteksi serta menampilkan secara jelas area cacat pada objek, sekaligus menghasilkan data permanen dalam bentuk film [22]. Film hasil las diperoleh melalui pemindaian (*scanning*), kemudian berbagai jenis cacat yang terdeteksi dianalisis serta dievaluasi lebih lanjut oleh tenaga ahli di bidangnya [23]. *Radiography test* menggunakan mesin sinar-X atau radiasi pengan sinar gamma untuk mengidentifikasi cacat las yang terletak pada permukaan maupun bawah permukaan, serta dapat diterapkan pada berbagai jenis material [24]. Dibandingkan dengan sinar gamma yang berasal dari sumber radioaktif, penggunaan sinar-X dalam *radiography test* memiliki keunggulan berupa energi yang dapat dikendalikan dan hanya aktif selama proses pengujian berlangsung, sehingga lebih aman dan memungkinkan penetrasi yang optimal terhadap ketebalan titanium pada *pressure vessel* serta mampu menghasilkan gambar dua dimensi yang merepresentasikan struktur internal lasan [25], [26], [27].

Oleh karena itu, artikel ini menganalisis hasil pengelasan *pressure vessel* dengan *Non-Destructive Test* (NDT) menggunakan metode *radiography test* di PT. XYZ yang bertujuan untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya cacat las pada komponen dalam pembuatan *pressure vessel* di PT. XYZ serta memverifikasi kesesuaiannya dengan kriteria keberterimaan ASME *Section VIII Division 1, Paragraph UW-51* dan *Mandatory Appendix 4*.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT. XYZ yang berlokasi di Cikarang, Jawa Barat, dengan menerapkan metode studi pustaka dan pendekatan kualitatif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hasil pengelasan pada *project* P0278 pembuatan *pressure vessel* di PT. XYZ dengan *Non-Destructive Testing* (NDT) menggunakan metode *Radiography Test* serta menentukan apakah hasil pengelasan tersebut sesuai dengan standar keberterimaan ASME *Section VIII Division 1, Paragraph UW-51* dan *Mandatory Appendix 4*. Adapun teknik analisis data yang diterapkan adalah deskriptif kualitatif, yang digunakan untuk menjelaskan setiap data yang diperoleh sebelum menarik kesimpulan. Langkah-langkah prosedural dalam penerapan metode *radiography test* sinar-X adalah sebagai berikut:

- Marking* dilakukan pada area las yang akan diuji.
- Film radiografi ditempatkan di antara pelat PB (*Lead Screen*) sebelum diposisikan pada area las, untuk memastikan bahwa radiasi yang

dipancarkan dapat ditangkap secara efektif oleh film.

- c. Selanjutnya, film radiografi ditempatkan pada area las yang telah ditandai sebelumnya.
- d. Tabung sumber (*source tube*) atau tabung radiasi disiapkan bersama dengan perangkat pemacu radiasi. Namun, perlu diperhatikan bahwa selama proses penyinaran radiasi, tabung sumber harus ditempatkan di belakang film radiografi yang telah diposisikan pada material uji. Langkah ini dilakukan untuk mencegah film terkena paparan radiasi secara langsung, karena paparan langsung dapat menyebabkan film terbakar. Selain itu, posisi tabung sumber harus sejajar dengan film, dan jarak antara tabung sumber dengan film harus sesuai dengan persyaratan identifikasi yang telah ditetapkan.
- e. Untuk memastikan jarak aman dari paparan radiasi selama proses *shooting*, digunakan *surveymeter* untuk mengukur tingkat radiasi. Guna mengurangi paparan radiasi terhadap tim operator, digunakan alat pelindung khusus yang dikenakan melapisi pakaian kerja mereka.
- f. Pemacu radiasi digunakan untuk memulai proses penyinaran setelah operator memastikan bahwa lingkungan pengambilan gambar berada dalam kondisi aman.
- g. Untuk mencegah penyebaran radiasi ke area sekitar, operator menutup tabung sumber radiasi yang sebelumnya dibuka setelah proses penyinaran radiografi selesai dilakukan.
- h. Setelah tabung sumber tertutup dengan aman, tabung radiasi dimatikan. Dengan demikian, tidak ada lagi potensi radiasi radiografi di area sekitar maupun di lokasi pengujian.
- i. Film radiografi yang diperoleh dari proses *shooting* diserahkan oleh tim operator kepada ahli radiografi untuk dilakukan pemrosesan dan interpretasi hasil film tersebut.
- j. Film radiografi dibersihkan di ruangan khusus sebelum dilakukan proses proyeksi atau interpretasi. Ruangan tersebut harus tertutup dan gelap, dengan pencahayaan yang sebaiknya menggunakan lampu berwarna merah karena memiliki panjang gelombang yang lebih besar dan energi yang lebih rendah. Kondisi ini tidak cukup kuat untuk memicu reaksi kimia pada film radiografi, sehingga kualitas film dapat tetap terjaga.
- k. Setelah proses pencucian selesai, film diperiksa menggunakan film *viewer* untuk mengidentifikasi adanya cacat pada hasil pengelasan.
- l. Berdasarkan objek yang telah diperiksa, tim menelaah film tersebut untuk menentukan apakah hasil pengujian dapat diterima atau ditolak. Evaluasi dilakukan sesuai dengan standar keberterimaan film yang berlaku.
- m. Apabila film dinyatakan ditolak, ahli radiografi akan memberitahukan tim keselamatan (*safety*) dan operator untuk melakukan pengambilan gambar ulang (*re-shoot*). Namun, apabila film

radiografi telah memenuhi *Film Acceptance Standards*, ahli radiografi akan mengidentifikasi cacat pada material yang diuji dan menyusun laporan resmi yang memuat hasil temuan tersebut untuk kemudian diserahkan kepada bagian pengendalian kualitas (*quality control*).

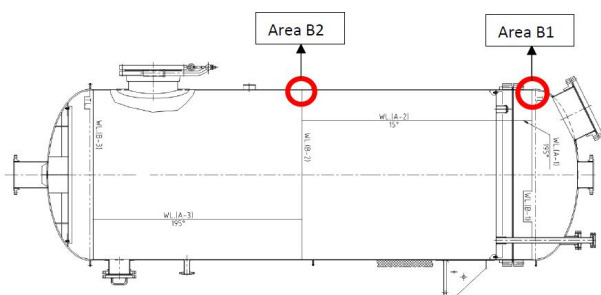
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kriteria keberterimaan (*acceptance criteria*) untuk berbagai metode NDT, khususnya *radiography test*, ditetapkan dalam standar yang dikeluarkan oleh American Society of Mechanical Engineers (ASME). Berdasarkan ASME *Section VIII Division 1*, kriteria keberterimaan dalam *radiography test* dikategorikan menjadi dua jenis indikasi, yaitu *linear indications* dan *rounded indications*. Untuk indikasi cacat las dengan panjang tiga kali lebih besar dari lebar las, kategori tersebut digolongkan sebagai *linear indications* (indikasi linear). Dalam inspeksi pengelasan, *linear indications* dapat diidentifikasi dalam bentuk cacat seperti *cracks*, *lack of fusion*, *lack of penetration*, dan *elongated slag inclusions*. Sementara itu, *rounded indications* (indikasi lingkaran) merupakan cacat yang terdeteksi pada sambungan las dan umumnya muncul dalam bentuk elips, kerucut, lingkaran, atau bentuk tidak beraturan, namun memiliki morfologi menyerupai ekor memanjang. Cacat berupa *porosity*, *tungsten inclusions*, dan *slag inclusions* dapat digolongkan sebagai *rounded indications*. *Acceptance Criteria* berdasarkan ASME *Section VIII Division 1*, *Paragraph UW-51* dan *Mandatory Appendix 4* untuk pengujian *Full Radiography* [28] memiliki isi diantaranya sebagai berikut:

1. Setiap indikasi cacat las yang dikategorikan sebagai *crack*, *lack of fusion*, atau *lack of penetration* tidak dapat diterima atau ditolak (*rejected*).
2. *Linear indications* dinyatakan tidak dapat diterima atau ditolak (*rejected*) apabila panjangnya melebihi batas yang telah ditetapkan, yaitu:
 - a. 6 mm (1/4 in.) untuk ketebalan (T) hingga 19 mm (3/4 in.),
 - b. 1/3T untuk T antara 19 mm (3/4 in.) hingga 57 mm (2 1/4 in.),
 - c. 19 mm (3/4 in.) untuk T lebih dari 57 mm (2 1/4 in.).
3. *Rounded indications*, seperti *porosity*, dapat diterima (*accepted*) dengan kriteria sebagai berikut:
 - a. Ukuran maksimum yang diizinkan untuk setiap indikasi adalah 1/4T atau 4 mm (5/32 in.), tergantung mana yang lebih kecil,
 - b. Indikasi tunggal yang terpisah dari indikasi lainnya (*cluster porosity*) sejauh 25 mm (1 in.) atau lebih dapat berukuran 1/3T atau 6 mm (1/4 in.), tergantung mana yang lebih kecil,
 - c. Untuk T lebih dari 50 mm (2 in.), ukuran maksimum yang diizinkan untuk indikasi tunggal dapat meningkat jadi 10 mm (3/8 in.).

Simbol T di atas menunjukkan ketebalan sambungan las dengan tidak memasukkan bagian penguat (*reinforcement*) yang diizinkan. Untuk sambungan *butt weld* yang menghubungkan dua komponen dengan ketebalan berbeda pada area las, nilai T ditetapkan berdasarkan ketebalan yang lebih tipis di antara keduanya. Apabila sambungan las tembus penuh (*full penetration weld*) mencakup las sudut (*fillet weld*), maka ketebalan leher (*throat thickness*) dari las sudut tersebut harus diperhitungkan sebagai bagian dari nilai T.

Pada *project* P0278 di PT. XYZ, produk *pressure vessel* berbahan dasar titanium dengan ketebalan material 5 mm dibuat menggunakan teknik pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Dari 20 area pengelasan pada pembuatan *pressure vessel project* P0278, ditemukan adanya cacat *porosity* pada dua area pengelasan melingkar, yaitu WL. B-1 (*Welding Line* B-1) dan WL. B-2, dengan total panjang sambungan las mencapai 26.417,4 mm. Posisi WL. B-1 dan WL. B-2 dalam keseluruhan area jalur pengelasan (*welding line*) pada produk *pressure vessel project* P0278 di PT. XYZ ditampilkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Keseluruhan area *welding line* pada *pressure vessel*

Proses pengujian radiografi sinar-X di PT. XYZ dilakukan untuk mendeteksi cacat las pada komponen pembuatan produk *pressure vessel project* P0278. Tabel I di bawah ini menyajikan data hasil produksi film radiografi dari seluruh area *welding line* pada produk *pressure vessel project* P0278 di PT. XYZ. Pada setiap area *welding line*, data yang dicatat mencakup jumlah total hasil keluaran (*output*), serta jumlah dan persentase cacat las yang teridentifikasi.

TABEL I
HASIL PRODUKSI FILM RADIOGRAFI PADA AREA WELDING LINE PRESSURE VESSEL

Area	Output	Defect (kuantitas)	Persentase
WL. A-1	1	0	0
WL. A-2	7	0	0
WL. A-3	7	0	0
WL. A-4	1	0	0
WL. A-5	1	0	0
WL. A-6	1	0	0
WL. A-7	1	0	0
WL. A-8	2	0	0
WL. A-9	1	0	0
WL. A-10	1	0	0
WL. A-11	1	0	0
WL. A-12	3	0	0
WL. A-13	1	0	0
WL. A-14	1	0	0
WL. A-15	1	0	0
WL. A-16	7	0	0
WL. A-17	7	0	0
WL. B-1	20	3	15%
WL. B-2	20	7	35%
WL. B-3	20	0	0
Total	104	10	9,62%

Hasil pengujian radiografi sinar-X pada sambungan las *pressure vessel* dievaluasi berdasarkan standar penerimaan ASME *Section VIII Division 1, Paragraph UW-51* dan *Mandatory Appendix 4* untuk menentukan apakah hasil pengelasan tersebut dapat diterima (*accepted*) atau ditolak (*rejected*). Analisis dilakukan terhadap tiga sampel film, yaitu WL. A-1, WL. B-2, dan WL. B-2 *Repaired*. Pemilihan WL. B-2 sebagai sampel dengan indikasi cacat yang akan dianalisis pada

artikel ini didasarkan pada persentase cacat yang lebih tinggi, yaitu sebesar 35%, dibandingkan dengan WL. B-1 yang hanya menunjukkan persentase cacat sebesar 15%. Berikut di bawah ini merupakan penjelasan mengenai sampel film hasil pengujian radiografi sinar-X pada komponen pembuatan produk *pressure vessel project* P0278 di PT. XYZ.

A. Hasil Radiography Test X-Ray pada Area Welding Line A-1

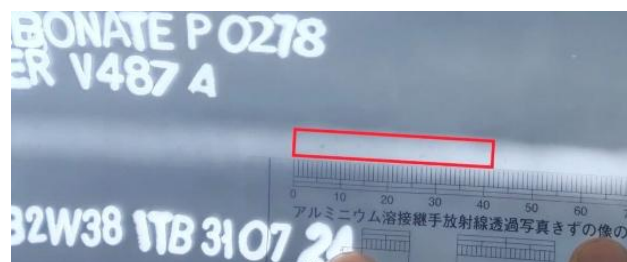
Berdasarkan hasil uji radiografi sinar-X yang kemudian dianalisis melalui interpretasi film untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya cacat las, diketahui bahwa WL. A-1 tidak mengandung cacat las (*zero defect*). Oleh karena itu, bagian ini memenuhi persyaratan ASME *Section VIII Division 1, Paragraph UW-51* dan dapat diklasifikasikan sebagai *accepted* tanpa memerlukan perbaikan. Hasil uji radiografi sinar-X untuk bagian WL. A-1 dapat ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Hasil radiography test pada area WL. A-1

B. Hasil Radiography Test X-Ray pada Area Welding Line B-2

Dari evaluasi hasil uji radiografi sinar-X pada area WL. B-2 dapat diidentifikasi adanya cacat las berupa *cluster porosity*. Cacat ini memiliki bentuk lingkaran dengan panjang total 40 mm sepanjang garis las pada material dengan ketebalan 5 mm yang diuji. Berdasarkan kriteria penerimaan ASME *Section VIII Division 1, Mandatory Appendix 4, rounded indication* pada area WL. B-2 dinyatakan sebagai *rejected* karena ukuran cacat (40 mm) melebihi batas yang diizinkan yaitu 1,7 mm. Hasil uji radiografi sinar-X pada area WL. B-2 dapat ditampilkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Hasil radiography test pada area WL. B-2

Perbaikan terhadap cacat *porosity* dilakukan dengan proses penggerindaan (*grinding*) dan pengelasan ulang (*re-welding*) pada area yang terdampak cacat, yaitu area WL. B-2. Upaya untuk meminimalkan terjadinya cacat *porosity*

meliputi penyimpanan elektroda dalam lingkungan yang kering serta memastikan elektroda tetap dalam kondisi kering selama proses penggunaan. Langkah ini bertujuan untuk mencegah reaksi elektroda dengan uap air yang dapat meningkatkan kadar hidrogen dalam logam las karena kemunculan cacat *porosity* salah satunya disebabkan oleh adanya gas hidrogen yang terperangkap di dalam elektroda. Hal ini dapat membentuk gelembung gas dan kemudian terjebak di dalam logam las maupun pada permukaan lasan sehingga menimbulkan cacat *porosity*. Selain itu, benda kerja yang akan dilas harus dijaga kebersihannya agar tetap steril, bebas dari debu, minyak, maupun kontaminasi kelembapan lainnya.

C. Hasil Radiography Test X-Ray pada Area Welding Line B-2 Repaired

Deteksi cacat pada sambungan las area WL. B-2 setelah diperbaiki dilakukan melalui interpretasi hasil uji radiografi sinar-X pada area WL. B-2 Repaired. Gambar 4 di bawah ini merepresentasikan hasil uji radiografi sinar-X pada area WL. B-2 Repaired, yang menunjukkan hasil las tanpa ditemukan adanya cacat (*zero defect*). Dengan demikian, sampel las WL. B-2 Repaired tersebut memenuhi persyaratan yang tercantum dalam ASME Section VIII Division 1, Mandatory Appendix 4, sehingga dapat dikategorikan sebagai *accepted*.



Gambar 4 Hasil radiography test pada area WL. B-2 repaired

Tabel 2 di bawah ini menyajikan hasil produksi film radiografi dari seluruh area *welding line* setelah beberapa area yang sebelumnya terdeteksi mengalami cacat las dilakukan perbaikan. Pada setiap area sambungan las, data yang dicatat mencakup total keluaran (*output*) serta jumlah dan persentase cacat las yang teridentifikasi setelah proses perbaikan dilakukan.

TABEL II
HASIL PRODUKSI FILM RADIOGRAFI PADA AREA WELDING LINE PRESSURE VESSEL SETELAH DILAKUKAN PERBAIKAN

Area	Output	Defect (kuantitas)	Persentase
WL. A-1	1	0	0
WL. A-2	7	0	0
WL. A-3	7	0	0
WL. A-4	1	0	0
WL. A-5	1	0	0
WL. A-6	1	0	0
WL. A-7	1	0	0
WL. A-8	2	0	0
WL. A-9	1	0	0
WL. A-10	1	0	0
WL. A-11	1	0	0
WL. A-12	3	0	0
WL. A-13	1	0	0
WL. A-14	1	0	0

Area	Output	Defect (kuantitas)	Persentase
WL. A-15	1	0	0
WL. A-16	7	0	0
WL. A-17	7	0	0
WL. B-1	20	0	0
WL. B-2	20	0	0
WL. B-3	20	0	0
Total	104	0	0

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 di atas, setelah area WL. B-2 dilakukan perbaikan, cacat *porosity* yang sebelumnya terdeteksi berhasil dihilangkan, yang menunjukkan adanya peningkatan kualitas yang signifikan. Persentase cacat las pada area WL. B-2, yang sebelumnya sebesar 35%, berkurang menjadi 0% (*zero defect*), yang menandakan tidak adanya cacat sama sekali. Hal ini menunjukkan bahwa upaya perbaikan berhasil menghilangkan cacat las tersebut.

IV. KESIMPULAN

Pengujian radiografi sinar-X pada sambungan las produk *pressure vessel* untuk project P0278 menghasilkan total 104 film, di mana 10 film di antaranya teridentifikasi mengandung cacat las. Dari 20 area *welding line* yang diuji, 18 area dinyatakan bebas cacat, termasuk area WL. A-1. Oleh karena itu, area tersebut dikategorikan sebagai *accepted* dan tidak memerlukan perbaikan sehingga kualitas las telah memenuhi standar acuan yang ditentukan dalam ASME Section VIII Division 1, Paragraph UW-51. Sementara itu, terdapat dua area yang menunjukkan adanya cacat las berupa *porosity*, yaitu area WL. B-1 dengan 3 film (15%) dan area WL. B-2 dengan 7 film (35%).

Cacat yang teridentifikasi pada sambungan las *pressure vessel* project P0278, khususnya pada area WL. B-2 yang dijadikan sampel analisis, adalah cacat *cluster porosity* (porositas berkelompok) dengan panjang cacat 40 mm, persentase cacat sebesar 35%, dan ketebalan material 5 mm. Berdasarkan kriteria keberterimaan yang tercantum dalam ASME Section VIII Division 1, Mandatory Appendix 4, area WL. B-2 tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan dan digolongkan sebagai *rejected*, karena indikasi cacat berbentuk lingkaran (*rounded indication*) hanya diizinkan memiliki *cluster porosity* tidak lebih dari 1,7 mm untuk material dengan ketebalan 5 mm. Oleh karena itu, diperlukan tindakan perbaikan pada area WL. B-2.

Perbaikan pada area WL. B-2 dilakukan melalui proses penggerindaan (*grinding*) dan pengelasan ulang (*re-welding*), dengan memastikan bahwa elektroda disimpan dan digunakan dalam kondisi kering. Selain itu, area las harus dipastikan dalam keadaan bersih dan bebas dari minyak, debu, atau kontaminan kelembapan lainnya. Setelah area WL. B-2 diperbaiki, kemudian pengujian radiografi sinar-X dilakukan pada area WL. B-2 Repaired, dan hasilnya menunjukkan peningkatan kualitas yang signifikan, dari persentase cacat area WL. B-2 yang sebelumnya sebesar 35% berkurang menjadi 0% (*zero defect*), yang menandakan kesesuaian dengan standar yang ditetapkan dan dapat dinyatakan *accepted*. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan berhasil menghilangkan cacat *porosity* tersebut.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. Merjani and I. Kamil, "Penerapan Metode Seven Tools Dan PDCA (Plan Do Check

- Action) untuk Mengurangi Cacat Pengelasan Pipa,” *Profisiensi*, vol. 9, no. 1, pp. 124–131, Jul. 2021.
- [2] Z. A. Arief, M. O. R. Qhifari, and Irfan Efendi, “Analisis Pengendalian Kualitas Tahu Menggunakan Metode Seven Tools (Studi Kasus Di Tahu Takoa Riski),” *MASALIQ: Jurnal Pendidikan dan Sains*, vol. 4, no. 3, pp. 669–683, May 2024.
- [3] A. Arisandi, A. Sulistiawan, and A. D. Ardianti, “Analisis Perbandingan Cacat Las Menggunakan Metode Liquid Penetrant Test Dengan Kuas dan Spray pada Plat Baja NK-68 E6013,” *INVENTOR: Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 7–13, Jun. 2022.
- [4] M. Liu, J. Xie, J. Hao, Y. Zhang, X. Chen, and Y. Chen, “A lightweight and accurate recognition framework for signs of X-ray weld images,” *Comput. Ind.*, vol. 135, p. 103559, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.compind.2021.103559.
- [5] D. Kong, X. Hu, Z. Gong, and D. Zhang, “Segmentation of void defects in X-ray images of chip solder joints based on PCB-DeepLabV3 algorithm,” *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, p. 11925, May 2024, doi: 10.1038/s41598-024-61643-w.
- [6] K. Xia *et al.*, “Global contextual attention augmented YOLO with ConvMixer prediction heads for PCB surface defect detection,” *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, p. 9805, Jun. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-36854-2.
- [7] Y. M. Wirajaya, N. Y. Nugroho, and B. Suwasono, “Holding Time pada Sifat Fisik Pengelasan SMAW Baja ASTM-A36 Melalui Uji Penetran,” *Jurnal Jaring SainTek (JJST)*, vol. 3, no. 2, pp. 8–12, Oct. 2021.
- [8] M. Zhang, Y. Hu, B. Xu, L. Luo, and S. Wang, “DSF-YOLO for weld defect detection in X-ray images with dynamic staged fusion,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 23305, Jul. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-06811-2.
- [9] L. Yang, S. Song, J. Fan, B. Huo, E. Li, and Y. Liu, “An Automatic Deep Segmentation Network for Pixel-Level Welding Defect Detection,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 71, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1109/TIM.2021.3127645.
- [10] H. K. Umam, J. Suwignyo, and F. Z. Bahtiar, “Pengaruh Gerakan Pola Las Zigzag, Melingkar, U Terhadap Uji Liquid Penetran pada Pengelasan 3G GMAW,” in *1st Education Sains Technology Engineering Mathematic Seminar (EDUSTEMS)*, 2023.
- [11] S. Xue, W. Xu, Z. Xiong, J. Zhang, and Y. Liang, “MADet: A Multi-Dimensional Feature Fusion Model for Detecting Typical Defects in Weld Radiographs,” *Materials*, vol. 18, no. 15, p. 3646, Aug. 2025, doi: 10.3390/ma18153646.
- [12] S. Rathore *et al.*, “Advanced ultra super critical power plants: role of buttering layer,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 134, pp. 5021–5064, 2024.
- [13] T. Sonar *et al.*, “Enhancing Welding Productivity and Mitigation of Distortion in Dissimilar Welding of Ferritic-Martensitic Steel and Austenitic Stainless Steel Using Robotic A-TIG Welding Process,” *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 8, no. 6, 2024.
- [14] Y. Rahayu and C. Hermana, “Pengaruh Budaya Kaizen dan Disiplin Kerja Terhadap Kinerja Karyawan di PT Tokki Engineering and Fabrication,” *YUME: Journal of Management*, vol. 4, no. 3, pp. 253–263, 2021.
- [15] Jatira, TB. Subekhi, and B. Siswanto, “Analisa Pengujian Ketahanan Bejana Tekan dengan Metode Hydrostatic Test,” *Jurnal Teknologika (Jurnal Teknik-Logika-Matematika)*, vol. 14, no. 2, pp. 608–619, 2024.
- [16] B. Putra, H. Abizar, and Saidu, “Analisa Hasil Pengelasan Pada Permukaan Pressure Vessel Menggunakan Non Destruktif Test Dengan Metode Radiografi Test,” *Vocational Education National Seminar (VENS)*, vol. 2, no. 1, pp. 5–8, 2023.
- [17] F. Widyawati, L. Marano, and F. Nurcahyo, “Identifikasi Cacat Lasan FCAW pada Fondasi Mesin Kapal Menggunakan Metode Ultrasonic Testing,” *TAMBORA: Science and Technology*, vol. 5, no. 2, Jul. 2021.
- [18] A. A. Santoso, R. J. Pribadi, and S. Raharja, “Deteksi Cacat Hasil Pengelasan pada Baja Karbon Rendah Menggunakan Fungsi Transfer Untuk Non Destructive Test (NDT),” *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS*, vol. 5, pp. 105–115, 2022.
- [19] T. Zhao, Z. Liu, D. Zhang, J. Wang, and G. Peng, “Research on Acoustic Field Correction Vector-Coherent Total Focusing Imaging Method Based on Coarse-Grained Elastic Anisotropic Material Properties,” *Sensors*, vol. 25, no. 15, p. 4550, Jul. 2025, doi: 10.3390/s25154550.
- [20] A. D. S. Purwantoro, Asriadi, and M. N. Fajar, “Investigasi dan Penilaian Struktur Bangunan Gedung Indomaret Basuki Rahmat Kota Sorong,” *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2023.
- [21] B. Pristyan and Muh. Amin, “Prediksi Umur Pakai Material ASTM A283 Grade C sebagai Tangki Timbun Bahan Bakar Pertalite Menggunakan Metode NDT,” *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS*, vol. 7, pp. 1002–1012, 2024.
- [22] M. A. Shidiq and M. F. Sidiq, *Dasar Metalurgi*, 1st ed. Badan Penerbit Universitas Pancasila Tegal, 2022.
- [23] X. Li *et al.*, “High resolution weld semantic defect detection algorithm based on integrated double U structure,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p.

- 17849, May 2025, doi: 10.1038/s41598-025-02421-0.
- [24] A. Sudiyanto, R. Z. Mirahati, and N. A. Rahma, "Pengaruh Drying Elektroda Low Hydrogen pada Longitudinal Weld Penstock Material Baja SM 400 B Terhadap Cacat Las dengan Inspeksi Non Destructive Test Metode Radiografi," *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, vol. 2, no. 2, p. 59, Feb. 2022, doi: 10.31315/jmept.v2i2.6510.
 - [25] H. Lan *et al.*, "Simulation-Based Data Augmentation for Deep Learning in Industrial Computed Tomography Defect Detection," *Sens. Imaging*, vol. 26, no. 70, p. 70, May 2025, doi: 10.1007/s11220-025-00600-x.
 - [26] B. Yu and C. Xie, "Method for Detecting Industrial Defects in Intelligent Manufacturing Using Deep Learning," *Computers, Materials & Continua*, vol. 78, no. 1, 2024, doi: 10.32604/cmc.2023.046248.
 - [27] J. Wang *et al.*, "YOLO-Xray: A Bubble Defect Detection Algorithm for Chip X-ray Images Based on Improved YOLOv5," *Electronics (Basel)*, vol. 12, no. 14, p. 3060, Jul. 2023, doi: 10.3390/electronics12143060.
 - [28] ASME, "ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII-1," <https://www.asme.org/>.