



2580-2798 (e)
2588-6225 (p)

Inovtek Polbeng: Jurnal Inovasi Teknologi Politeknik Negeri Bengkalis
(Bengkalis State Polytechnic Technology Innovation Journal)

journal homepage: <https://jurnal.polbeng.ac.id/index.php/IP/index>

EVALUASI CACAT PERMUKAAN SAMBUNGAN LAS SMAW PADA POSISI 1F, 2F, 4F, DAN 5F MENGGUNAKAN LIQUID PENETRANT TEST BERDASARKAN STANDAR ASME SECTION V

Jupri¹⁾, Pardi¹⁾, Afriantoni¹⁾, Ray Adriel Lumbantobing¹⁾

¹⁾ Program Studi Diploma Tiga Teknik Perkapalan Jurusan Teknik Perkapalan, Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Leseng Bengkalis, Riau, 28711

Corresponding Author: jupri@polbeng.ac.id

Article Info

Abstract

Keywords:

SMAW; Liquid penetrant test; Fillet weld joint; Welding; Defects.

Article history:

Received: 31/05/2026
Last revised: 07/06/2026
Accepted: 10/06/2026
Available online: 11/06/2026
Published: 11/06/2026

DOI: <https://10.35314/004kyb46>

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas sambungan las *fillet* hasil proses *shielded metal arc welding* (SMAW) pada posisi 1F, 2F, 4F, dan 5F menggunakan metode *liquid penetrant test* (PT) berdasarkan standar ASME *Section V article 6* dengan acuan *acceptance criteria* ASME *Section IX*. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen deskriptif kuantitatif pada spesimen baja karbon rendah. Pengujian dilakukan untuk mengidentifikasi cacat permukaan seperti *undercut*, *porosity*, *spatter*, *underfill*, dan *incomplete fusion*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan las posisi 1F dan 2F dinyatakan *acceptable* karena hanya terdapat cacat ringan berupa *undercut* dan *spatter* yang masih berada dalam batas toleransi standar. Pada posisi 5F juga ditemukan indikasi *undercut* pada beberapa lokasi namun masih memenuhi kriteria penerimaan. Sebaliknya, pada posisi 4F ditemukan cacat *undercut*, *underfill*, dan *incomplete fusion* yang melebihi batas penerimaan sehingga dinyatakan *reject*. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi posisi pengelasan berpengaruh terhadap kualitas sambungan las. Kesimpulannya, pengendalian parameter pengelasan dan kepatuhan terhadap standar sangat menentukan kualitas dan keandalan sambungan las SMAW dalam aplikasi konstruksi. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi acuan peningkatan mutu inspeksi NDT pada industri pengelasan serta meningkatkan keselamatan dan keandalan struktur berbasis sambungan las di lapangan konstruksi modern secara berkelanjutan global.

Abstract

This study aims to evaluate the quality of fillet weld joints produced by the shielded metal arc welding (SMAW) process in positions 1F, 2F, 4F, and 5F using the liquid penetrant test (PT) method in accordance with ASME *Section V Article 6*, with reference to the acceptance criteria of ASME *Section IX*. The research method employed is a descriptive quantitative experimental approach on low carbon steel specimens. The testing was conducted to identify surface defects such as undercut, porosity, spatter, underfill, and incomplete fusion. The results indicate that weld joints in positions 1F and 2F are classified as acceptable because only minor defects such as undercut and spatter were found, remaining within the allowable tolerance limits of the standard. In position 5F, undercut indications were also observed at several locations; however, they still met the acceptance criteria. In contrast, position 4F exhibited undercut, underfill, and incomplete fusion defects that exceeded the allowable limits and were therefore classified as rejected. These findings demonstrate that variations in welding position significantly affect weld joint quality. In conclusion, proper control of welding parameters and compliance with applicable standards are critical in determining the quality and reliability of SMAW weld joints in construction applications. This study is expected to serve as a reference for improving NDT inspection quality in the welding industry and enhancing the safety and reliability of weld-based structures in modern construction practices on a sustainable global scale.

1. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang banyak digunakan dalam industri konstruksi, manufaktur, perkapalan, energi, dan fabrikasi karena mampu menghasilkan sambungan yang memiliki kekuatan mekanik tinggi serta efisiensi proses yang baik. Salah satu metode yang masih banyak digunakan adalah *shielded metal arc welding* (SMAW) karena memiliki peralatan yang sederhana, biaya operasional relatif rendah, dan dapat diaplikasikan pada berbagai posisi pengelasan. Namun, kualitas sambungan hasil SMAW sangat dipengaruhi oleh parameter pengelasan, keterampilan juru las, kondisi material, serta prosedur pengerjaan. Menurut [1], [2], ketidaksesuaian parameter pengelasan dapat menyebabkan cacat seperti porositas, retak, *undercut*, *slag inclusion*, dan *incomplete fusion* yang berpotensi menurunkan kekuatan serta keandalan sambungan las.

Sambungan las *fillet* dan pipa merupakan jenis sambungan yang banyak digunakan pada berbagai konstruksi teknik. Sambungan *fillet* banyak diterapkan pada struktur baja, tangki, jembatan, dan rangka mesin, sedangkan sambungan pipa digunakan pada industri minyak dan gas, pembangkit listrik, serta sistem distribusi fluida. [3], menyatakan bahwa kualitas sambungan *fillet* hasil SMAW sangat dipengaruhi oleh besarnya *heat input* selama proses pengelasan. Hasil penelitian [4], [5], juga menunjukkan bahwa pengendalian parameter pengelasan berpengaruh signifikan terhadap kualitas geometri dan integritas sambungan las.

Dalam industri perkapalan, khususnya pada konstruksi kapal Roll-on/Roll-off (Ro-Ro), kualitas sambungan las memiliki peranan yang sangat penting karena struktur kapal menerima beban statis maupun dinamis selama beroperasi di laut. Kapal Ro-Ro merupakan jenis kapal yang dirancang untuk mengangkut kendaraan dan muatan beroda melalui sistem ramp *door*, sehingga banyak menggunakan sambungan las *fillet* pada konstruksi geladak kendaraan, sekat, rangka penyangga, pagar keselamatan, serta berbagai komponen struktural lainnya. Selain itu, sistem perpipaan yang terdapat pada kapal juga memanfaatkan sambungan las untuk menjamin kekuatan dan kekedapan sistem. [6], [7], menyatakan bahwa cacat pengelasan pada struktur kapal dapat menjadi titik konsentrasi tegangan yang berpotensi menyebabkan penurunan kekuatan struktur, mempercepat terjadinya kerusakan akibat kelelahan (*fatigue*), serta meningkatkan risiko kegagalan konstruksi selama masa operasi. Oleh karena itu, pengendalian kualitas dan inspeksi hasil pengelasan menjadi aspek yang sangat penting untuk menjamin keselamatan pelayaran dan keandalan operasional kapal.

Untuk menjamin kualitas hasil pengelasan, diperlukan metode inspeksi yang mampu mendeteksi cacat tanpa merusak komponen yang diuji. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *non-destructive testing* (NDT). Menurut [8], NDT memungkinkan identifikasi cacat material tanpa menyebabkan kerusakan pada benda uji sehingga sangat efektif digunakan dalam pengendalian mutu hasil pengelasan. Sejalan dengan itu [9], [10], menyatakan bahwa NDT memiliki peran penting dalam menjamin keselamatan operasi dan keandalan konstruksi yang menggunakan sambungan las.

Di antara berbagai metode NDT, *liquid penetrant test* (PT) merupakan metode yang banyak digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan seperti retak, porositas terbuka, *undercut*, *overlap*, dan *incomplete fusion*. Menurut [8], metode *penetrant* memiliki sensitivitas yang baik terhadap diskontinuitas permukaan, biaya pengujian yang relatif rendah, serta prosedur yang sederhana sehingga banyak diterapkan pada industri pengelasan dan fabrikasi. Selain itu [11], menegaskan bahwa metode inspeksi permukaan menjadi bagian penting dalam sistem deteksi dini guna mencegah kegagalan konstruksi akibat cacat pengelasan.

Efektivitas metode *penetrant* dalam inspeksi hasil pengelasan telah dibuktikan oleh berbagai penelitian. [12], melaporkan bahwa *liquid penetrant test* mampu mengidentifikasi cacat permukaan pada berbagai jenis sambungan las sesuai standar AWS dan ASME [13], menunjukkan bahwa metode ini efektif digunakan untuk mengevaluasi kelayakan sambungan baja S355J2 berdasarkan standar AWS D1.1 dan ASTM E165. Penelitian [14], menemukan adanya indikasi cacat permukaan pada

sambungan pipa hasil SMAW akibat ketidaksesuaian parameter pengelasan dan membuktikan bahwa pengujian *penetrant* mampu memastikan kualitas sambungan perpipaan ASTM A53 sebelum digunakan dalam operasi.

Penelitian lain oleh [15], menunjukkan bahwa *liquid penetrant test* mampu mendeteksi cacat berupa porositas, retak, *undercut*, *slag inclusion*, dan *incomplete fusion* pada sambungan baja SS400. Temuan serupa juga dilaporkan oleh [16], menemukan adanya cacat *undercut*, *underfill*, dan *spatter* pada sambungan *fillet* akibat variasi parameter pengelasan. Selain itu [17], menyatakan bahwa inspeksi *penetrant* pada sambungan tubular *space frame* dapat meningkatkan keandalan evaluasi kualitas sambungan sebelum digunakan pada kondisi operasional.

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, diketahui bahwa sambungan las *fillet* hasil proses SMAW masih berpotensi mengalami cacat permukaan yang dapat memengaruhi kualitas dan keandalan sambungan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi cacat permukaan sambungan las SMAW pada posisi 1F, 2F, 4F, dan 5F menggunakan *liquid penetrant test* berdasarkan standar ASME Section V. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai jenis cacat permukaan yang terjadi serta tingkat kualitas sambungan berdasarkan standar yang berlaku sehingga dapat menjadi dasar dalam upaya peningkatan mutu, keandalan, dan keselamatan konstruksi las.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah sambungan las *fillet* yang dibuat menggunakan proses *shielded metal arc welding* (SMAW). Material yang digunakan berupa baja karbon rendah yang umum digunakan pada konstruksi dan fabrikasi. Data penelitian diperoleh melalui hasil inspeksi *non-destructive testing* (NDT) menggunakan metode *liquid penetrant test* (PT) terhadap spesimen las yang telah selesai dibuat. Data yang dikumpulkan meliputi jenis, jumlah, dan lokasi indikasi cacat permukaan yang terdeteksi pada masing-masing sambungan las.

2.2 Perlakuan pada Objek Penelitian

Penelitian ini membandingkan kualitas sambungan hasil pengelasan SMAW, yaitu sambungan *fillet*. Variabel tetap dalam penelitian meliputi jenis proses pengelasan SMAW, jenis elektroda yang digunakan, material dasar, prosedur pengelasan, serta metode inspeksi yang diterapkan. Variabel bebas berupa jenis sambungan las yang terdiri atas sambungan *fillet*. Variabel terikat adalah kualitas hasil pengelasan yang dinilai berdasarkan jumlah dan jenis cacat permukaan yang ditemukan melalui pengujian penetran.

Setiap spesimen dilas sesuai prosedur pengelasan yang telah ditentukan, kemudian dilakukan pemeriksaan menggunakan *liquid penetrant test* untuk mengetahui adanya cacat permukaan seperti *crack*, *porosity*, *undercut*, *overlap*, dan *incomplete fusion*. Hasil inspeksi selanjutnya dibandingkan untuk mengevaluasi kualitas masing-masing jenis sambungan.

2.3 Metode dan Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran mengenai kualitas sambungan las berdasarkan hasil inspeksi yang diperoleh secara langsung dari pengujian.

Pengujian dilakukan menggunakan metode *liquid penetrant test* (PT) yang merupakan salah satu metode *non-destructive testing* yang telah banyak digunakan dalam industri pengelasan dan fabrikasi untuk mendeteksi cacat yang terbuka pada permukaan material. Kelebihan metode ini adalah proses pengujian yang relatif sederhana, biaya rendah, sensitivitas yang baik terhadap cacat permukaan, serta tidak merusak benda uji. Adapun kekurangannya adalah hanya dapat mendeteksi cacat yang terbuka ke permukaan dan tidak mampu mengidentifikasi cacat yang berada didalam material.

Prosedur penelitian dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- a. Persiapan material dan spesimen uji.
- b. Pembuatan sambungan las *fillet* menggunakan proses SMAW.
- c. Pembersihan permukaan hasil pengelasan dari kotoran, minyak, dan terak las.
- d. Aplikasi cairan penetran pada permukaan las dan waktu penetrasi sesuai prosedur pengujian.
- e. Pembersihan sisa penetran pada permukaan benda uji.
- f. Aplikasi developer untuk memunculkan indikasi cacat.
- g. Pemeriksaan dan pencatatan indikasi cacat yang muncul.
- h. Evaluasi hasil pengujian berdasarkan standar penerimaan yang digunakan.
- i. Analisis dan perbandingan kualitas sambungan las *fillet*.
- j. Penilaian kualitas sambungan las dilakukan berdasarkan *acceptance criteria* ASME Section IX yang mengacu pada ASME Section V article 6 untuk metode *penetrant testing*.

2.4 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mesin las SMAW sebagai alat utama untuk proses pengelasan, palu terak dan sikat baja untuk membersihkan sisa terak setelah pengelasan, *welding gauge* untuk memeriksa dimensi hasil las, lampu inspeksi untuk membantu pengamatan selama pengujian penetran, serta kamera dokumentasi untuk merekam hasil pengujian dan indikasi cacat yang ditemukan. Selain itu, digunakan seperangkat peralatan *liquid penetrant test* (PT) yang terdiri atas *cleaner/remover*, *penetrant*, dan developer sesuai prosedur pengujian NDT.


Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas baja karbon rendah sebagai material spesimen sambungan *fillet*. Proses pengelasan dilakukan menggunakan elektroda E7016 disesuaikan dengan jenis material yang digunakan. Selain itu, digunakan bahan pendukung berupa amplas dan kain pembersih untuk mempersiapkan permukaan benda uji sebelum dilakukan inspeksi penetran. Seluruh alat dan bahan tersebut digunakan untuk menghasilkan sambungan las yang selanjutnya dievaluasi kualitasnya melalui pengujian *liquid penetrant test* (PT) berdasarkan *acceptance criteria* ASME Section IX yang diacu dalam penelitian ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil *Welding Procedure Record*


Posisi 1F merupakan pengelasan *fillet* pada pipa dengan material ditempatkan miring 45° terhadap meja kerja dan pipa dalam kondisi tetap (tidak diputar). Pengelasan dilakukan dengan metode bawah tangan (*flat position*), sehingga pengaturan arus harus disesuaikan dengan jenis elektroda dan rentang ampere yang direkomendasikan. Rincian penggunaan arus dapat mengacu pada Tabel 1.

Table 1. *Welding procedure record butt joint 1F*

| | Process | Pass | Current & polarity | Filler Metal | | Amps | Travel speed (mm/min) | Hasil |
|-------------------|---------|---------|--------------------|--------------|----------|----------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | Class | Dia (mm) | | | |
| Welding Parameter | SMAW | Filler | DCEP | E7016 | 2,6 | 60 - 70 | 90 |  |
| | SMAW | Capping | DCEP | E7016 | 3,2 | 80 - 100 | 90 | |


Posisi 2F merupakan pengelasan *fillet* dengan pipa berada pada posisi tegak vertikal dan plat sebagai alas atau dasar sambungan las. Pada posisi ini, proses pengelasan dilakukan pada sisi sambungan dengan memperhatikan kestabilan gerakan elektroda untuk menghasilkan kualitas las yang baik. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 2.

Table 2. *Welding procedure record butt joint 2F*

| | Process | Pass | Current & polarity | Filler Metal | | Amps | Travel speed (mm/min) | Hasil |
|-------------------|---------|---------|--------------------|--------------|----------|----------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | Class | Dia (mm) | | | |
| Welding Parameter | SMAW | Filler | DCEP | E7016 | 2,6 | 60 - 80 | 95 |  |
| | SMAW | Capping | DCEP | E7016 | 3,2 | 90 - 110 | 95 | |

Posisi 4F merupakan pengelasan *fillet* di atas kepala (*overhead*) dengan pipa vertikal dan tidak dapat diputar. Pada posisi ini, pengaturan arus harus disesuaikan dengan jenis elektroda untuk mengendalikan lehan logam yang dipengaruhi gaya gravitasi. Detail posisi dapat dilihat pada Tabel 3.

Table 3. *Welding procedure record butt joint 4F*

| | Process | Pass | Current & polarity | Filler Metal | | Amps | Travel speed (mm/min) | Hasil |
|-------------------|---------|---------|--------------------|--------------|----------|----------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | Class | Dia (mm) | | | |
| Welding Parameter | SMAW | Filler | DCEP | E7016 | 2,6 | 55 - 70 | 90 |  |
| | SMAW | Capping | DCEP | E7016 | 3,2 | 80 - 100 | 90 | |

Posisi 5F merupakan pengelasan *fillet* pada pipa horizontal yang tidak dapat diputar, dengan plat berada pada posisi vertikal. Pengelasan dilakukan dari bagian atas hingga bawah sambungan, sehingga pengaturan arus dan pemilihan elektroda harus disesuaikan untuk mengendalikan lehan logam akibat pengaruh gravitasi. Detail posisi dapat dilihat pada Tabel 4.

Table 4. *Welding procedure record butt joint 5F*

| | Process | Pass | Current & polarity | Filler Metal | | Amps | Travel speed (mm/min) | Hasil |
|-------------------|---------|--------|--------------------|--------------|----------|---------|-----------------------|-------|
| | | | | Class | Dia (mm) | | | |
| Welding Parameter | SMAW | Filler | DCEP | E7016 | 2,6 | 60 - 80 | 95 | |



3.2 Hasil pengujian *penetrant*

Hasil pengujian *penetrant* pada sambungan las posisi 1F menunjukkan adanya indikasi ketidaksempurnaan permukaan berupa *undercut* dengan panjang 4 mm, kedalaman 2 mm, dan lebar 2 mm. Indikasi tersebut terdeteksi pada bagian tepi jalur las, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Meskipun demikian, berdasarkan *acceptance criteria* ASME Section IX yang mengacu pada ASME Section V article 6, ukuran indikasi yang ditemukan masih berada dalam rentang batas yang diperbolehkan. Dengan demikian, sambungan las posisi 1F dinyatakan memenuhi persyaratan (*acceptable*) sesuai standar yang berlaku.



Gambar 1. Hasil *Penetrant test* Tee joint 1F

Selanjutnya, hasil pemeriksaan menggunakan metode *penetrant test* pada sambungan las posisi 2F menunjukkan adanya indikasi *spatter* pada permukaan las dengan ukuran lebar 2 mm dan tinggi 2 mm. Indikasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan *acceptance criteria* ASME Section IX yang merujuk pada ASME Section V article 6, *spatter* tidak dikategorikan sebagai cacat kritis yang dapat menyebabkan penolakan, selama tidak mempengaruhi kualitas serta integritas sambungan las. Oleh karena itu, sambungan las posisi 2F dinyatakan diterima (*acceptable*) sesuai standar yang digunakan.



Gambar 2. Hasil *Penetrant test* Tee joint 2F

Pada hasil pengujian *penetrant test* sambungan las posisi 4F, ditemukan beberapa indikasi cacat permukaan. Cacat berupa *undercut* terdeteksi pada jarak 2 cm dari titik nol dengan ukuran panjang 2 mm, kedalaman 1 mm, dan lebar 1 mm. Selain itu, terdapat *underfill* pada jarak 10 cm dari titik nol dengan dimensi panjang 2 mm, kedalaman 2 mm, dan lebar 1 mm. Pada lokasi yang sama juga ditemukan indikasi *incomplete fusion* dengan ukuran panjang 3 mm, kedalaman 3 mm, dan lebar 1 mm. Seluruh indikasi tersebut ditampilkan pada Gambar 3. Berdasarkan evaluasi mengacu pada *acceptance criteria ASME Section IX* yang merujuk *ASME Section V article 6*, ketiga jenis indikasi tersebut *undercut*, *underfill*, dan *incomplete fusion* telah melebihi batas penerimaan yang ditetapkan untuk cacat permukaan sambungan las. Oleh karena itu, sambungan las posisi 4F dinyatakan tidak memenuhi syarat (*reject*) dan perlu dilakukan perbaikan (*repair*) sebelum dapat digunakan sesuai standar.



Gambar 3. Hasil *Penetrant test Tee joint 4F*

Pada pengujian *penetrant test* lainnya pada sambungan las posisi 5F, juga ditemukan beberapa indikasi *undercut* pada beberapa lokasi. Indikasi pertama berada pada jarak 2 cm dari titik nol dengan ukuran panjang 3 mm, kedalaman 2 mm, dan lebar 1 mm. Indikasi kedua terletak pada jarak 8 cm dari titik nol dengan ukuran panjang 2 mm, kedalaman 2 mm, dan lebar 1 mm. Indikasi ketiga ditemukan pada jarak 18 cm dari titik nol dengan dimensi yang sama, yaitu panjang 2 mm, kedalaman 2 mm, dan lebar 1 mm. Seluruh temuan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Namun demikian, berdasarkan *acceptance criteria ASME Section IX* yang mengacu pada *ASME Section V article 6*, indikasi *undercut* yang terdeteksi masih berada dalam batas yang diizinkan untuk tujuan kualifikasi sambungan las. Dengan demikian, sambungan las posisi 5F dinyatakan memenuhi persyaratan (*acceptable*) dan tidak memerlukan tindakan perbaikan.



Gambar 4. Hasil *Penetrant test Tee joint 5F*

Dalam standar ASME, ukuran cacat yang dinyatakan *reject* tidak ditentukan oleh satu nilai mutlak yang berlaku umum, melainkan bergantung pada jenis cacat, ketebalan material, serta kode konstruksi yang digunakan seperti ASME *Section VIII Division 1* atau ASME B31.3. Secara umum, cacat jenis retak (*crack*), *incomplete fusion*, dan *incomplete penetration* selalu dikategorikan sebagai *reject* tanpa mempertimbangkan ukuran, karena dianggap membahayakan integritas sambungan las. Untuk cacat berbentuk bulat seperti porositas atau pinhole, indikasi dapat dinyatakan *reject* apabila diameter melebihi batas toleransi yang diizinkan, yang umumnya berada pada kisaran sekitar 3 mm atau jika jumlahnya berlebihan serta terkonsentrasi pada area tertentu. Pada cacat permukaan seperti *undercut*, status *reject* biasanya ditetapkan apabila kedalamannya melebihi sekitar 0,8 mm hingga 1,5 mm tergantung ketebalan material dan ketentuan kode yang digunakan, karena dapat mengurangi penampang efektif las. Sementara itu, *underfill* juga dapat dinyatakan *reject* apabila penyimpangan permukaan melebihi batas toleransi yang diperbolehkan. Adapun *spatter* tidak termasuk kategori cacat *reject* selama tidak menutupi indikasi lain dan dapat dibersihkan tanpa mempengaruhi kualitas sambungan. Dengan demikian, penentuan *reject* dalam ASME selalu bersifat relatif dan mengacu pada jenis cacat, ukuran indikasi, serta kode standar yang digunakan dalam pekerjaan pengelasan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian *penetrant test* pada sambungan las posisi 1F, 2F, 4F, dan 5F, dapat disimpulkan bahwa kualitas sambungan las menunjukkan variasi tingkat kecacatan permukaan dengan status penerimaan yang berbeda-beda. Sambungan las posisi 1F dan 2F dinyatakan *acceptable* karena hanya ditemukan indikasi cacat ringan berupa *undercut* dan *spatter* yang masih berada dalam batas toleransi sesuai *acceptance criteria* ASME *Section IX* yang mengacu pada ASME *Section V article 6*, sehingga tidak mempengaruhi integritas sambungan las. Pada sambungan las posisi 5F juga ditemukan beberapa indikasi *undercut* pada beberapa lokasi, namun seluruhnya masih dalam batas yang diizinkan sehingga sambungan tetap dinyatakan memenuhi syarat (*acceptable*) tanpa perlu perbaikan.

Sebaliknya, pada sambungan las posisi 4F ditemukan beberapa jenis indikasi cacat sekaligus, yaitu *undercut*, *underfill*, dan *incomplete fusion*, yang berdasarkan evaluasi telah melebihi batas penerimaan standar ASME yang digunakan. Terutama adanya *incomplete fusion* yang secara umum dikategorikan sebagai cacat kritis, menyebabkan sambungan las tersebut dinyatakan tidak memenuhi syarat (*reject*) dan harus dilakukan perbaikan (*repair*) sebelum dapat digunakan. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penentuan kelayakan sambungan las sangat bergantung pada jenis, ukuran, dan lokasi cacat, serta mengacu pada standar ASME yang berlaku, di mana cacat kritis seperti retak, *incomplete fusion*, dan *incomplete penetration* selalu menjadi faktor penolakan utama tanpa mempertimbangkan ukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan, khususnya dari bengkel pengelasan, yang telah menyediakan fasilitas dan peralatan pengujian dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada teknisi bengkel dan semua pihak yang telah membantu proses persiapan alat, pengujian penetran tes, serta pengambilan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shaloo, S., Kumar, V., & Sharma, R, Analysis of welding defects and their effects on structural integrity, 2022.
- [2] Patel, R., Kumar, S., & Singh, P, Welding defects and quality assessment in SMAW process, 2023.
- [3] Gonzalez Romero, J., Bastos Blandón, D., Casadiego Miranda, M., & Niebles Nuñez, W, Effect of heat input on SMAW fillet weld quality, 2023.
- [4] Santoso, E., & Nugroho, Y, Pengaruh parameter pengelasan SMAW terhadap kualitas sambungan baja karbon, 2022.
- [5] Kurniawan, A., Widodo, B., & Saputra, R, Pengaruh parameter SMAW terhadap kualitas sambungan fillet. 2024.
- [6] Putra, R., Siregar, M., & Saputra, A, (Razza, Maddis en Spena, 2025). Jurnal Teknologi Maritim, 15(3), 101–110, 2023.
- [7] Wahyudi, D., Santoso, H., & Putri, N, Evaluasi cacat pengelasan pada struktur kapal baja menggunakan liquid penetrant test. Jurnal Rekayasa Perkapalan Indonesia, 18(1), 33–41, 2024.
- [8] Rizwan, M., Putra, A., & Fawaid, M, Application of non-destructive testing for welding inspection and quality control, 2026.
- [9] Prasetyo, D., Firmansyah, A., & Hidayat, R, Non-destructive testing as quality assurance method in welded structures, 2023.
- [10] Mulyadi, F., Syahputra, D., & Ananda, M, Penerapan NDT dalam pengendalian mutu konstruksi baja, 2024.
- [11] Santoro, M., Sesana, R., Molica Nardo, V., & Curá, F, Advances in welding inspection and defect detection technologies, 2023.
- [12] Siagian, M., Arifin, A., Ulfah, N., & Widiastuti, D, Evaluation of weld quality using liquid penetrant testing based on AWS and ASME standards, 2022.
- [13] Efriandi, Evaluasi kualitas sambungan las baja S355J2 berdasarkan pengujian penetrant sesuai AWS D1.1 dan ASTM E165, 2023.
- [14] Nasuha, I., Hanifi, R., & Sena, B, Evaluasi kualitas sambungan pipa ASTM A53 menggunakan dye penetrant test, 2025.
- [15] Al Faiq, M. R., Hastuti, S., Hadi, N., & Mulyaningsih, N, Analisis cacat pengelasan pada baja SS400 menggunakan *liquid penetrant test*, 2025.
- [16] Romadhoni, M., & Aini, N, Identifikasi cacat pengelasan fillet akibat variasi parameter SMAW menggunakan penetrant test, 2025.
- [17] Jati, R., Prabowo, H., Hastuti, S., & Gunawan. A, *Inspection of tubular space frame welds using liquid penetrant testing*, 2024.