Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX

Amelia Rahmatika¹, Eko Sutarto², Agus C.Arifin³

¹Teknologi Pengelasan dan Fabrikasi, Institut Teknologi Sains Bandung

²Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, Cepu

³Teknik Mesin, Politeknik Negeri Madiun, Madiun

Email: amelia.rahmatika@gmail.com

Abstrak

Spesifikasi Prosedur Las (*Welding Procedure Specification/WPS*) merupakan dokumen tertulis yang menjelaskan prosedur pengelasan dan memberikan arahan pada juru las untuk menghasilkan mutu produk las sesuai dengan kode dan standar yang telah ditentukan. WPS merupakan hal yang sangat penting dalam proses pengelasan, sehingga perlu proses kualifikasi. WPS dapat dinyatakan terkualifikasi jika memiliki rekaman kualifikasi prosedur (*Procedure Qualification Record/PQR*). Tahapan kualifikasi WPS dan PQR adalah pembuatan spesimen, pengelasan spesimen, pengujian dan pemeriksaan hasil pengujian spesimen. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengujian merusak yaitu pengujian tarik dan pengujian tekuk (*bending*) pada prosedur las plat baja karbon rendah SA-36 dengan proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*). Jenis pengujian dan jumlah spesimen mengacu pada standar ASME BPVC (*Boiler Pressure Vessel*) Section IX. Total jumlah spesimen uji adalah 6 (enam) spesimen dengan rincian yaitu 2 (dua) spesimen uji tarik, 2 (dua) spesimen uji *face bend*, dan 2 (dua) spesimen uji *root bend*. Preparasi spesimen pengujian tarik mengacu pada QW-462.1.(a) dan preparasi spesimen pengujian bending mengacu pada QW-463.1.(a) standar ASME BPVC Section IX. Berdasarkan hasil pengujian tarik spesimen, didapatkan kekuatan tarik maksimum rata-rata sebesar 439,75 MPa dengan lokasi patahan berada di daerah logam dasar (*base metal*). Mengacu pada syarat keberterimaan (*acceptance criteria*) uji tarik menurut QW-153.1. standar ASME BPVC Section IX, maka spesimen tersebut dinyatakan lulus uji. Berdasarkan hasil pengujian *bending*, terdapat cacat terbuka (*open discontinuity*) maksimum sebesar 1,5 mm. Dengan adanya cacat terbuka <3 mm, maka spesimen dinyatakan lulus uji bending yang disyaratkan pada QW-163 standar ASME BPVC section IX.

Kata kunci: WPS, PQR, SMAW, Uji Merusak

1 Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pengelasan adalah metode penyambungan logam yang melibatkan ikatan metalurgi pada sambungan logam dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu [1]. Efisiensi sambungan yang baik dalam bentuk geometri yang sederhana tanpa menghabiskan biaya yang besar, menjadikan proses pengelasan banyak digunakan dalam bidang konstruksi dan juga fabrikasi. Diantaranya adalah konstruksi jembatan, fabrikasi pada bejana tekan, pipa minyak dan gas, dan lain sebagainya. Keunggulan mutu pada hasil penyambungan logam dengan pengelasan tidak terlepas dari kualitas mutu baik dalam prosedur prosesnya dan kualitas juru lasnya. Kualifikasi prosedur las menjadi hal yang sangat penting dalam proses pengelasan.

Berdasarkan ISO 3834, pengelasan didefinisikan sebagai proses yang khusus (*special process*) karena memerlukan manajemen, personnel dan prosedur secara khusus sehingga didapatkan kualitas hasil lasan yang sesuai dengan kode dan standar yang ditentukan [2].

Salah satu tolak ukur dalam melihat kualitas hasil lasan adalah dengan kualifikasi spesifikasi prosedur las (*Welding Procedure Specification*). Spesifikasi prosedur las adalah dokumen tertulis yang menjelaskan prosedur pengelasan sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Standar yang umumnya digunakan dalam kualifikasi prosedur las adalah standar ISO, AWS (American Welding Society), API (*American Petroleum Institute*), dan standar ASME BPVC (*Boiler and Pressure Vessel*). Dalam tahapan kualifikasi prosedur las, diperlukan pengujian material secara merusak (*destructive*) maupun pengujian tidak merusak (*non-destructive test*). Jenis pengujian merusak dalam kualifikasi prosedur las adalah pengujian tarik, pengujian tekuk (*bending*), dan pengujian impak.

Penelitian ini membahas proses pengujian merusak dalam kualifikasi las plat baja karbon SA-36. Baja karbon SA-36 merupakan baja karbon rendah yang banyak digunakan untuk konstruksi karena memiliki kekuatan dan *rigidity* serta mampu las yang tinggi.

1.2. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pengujian merusak yang dilakukan adalah pengujian tarik dan pengujian tekuk (*bending*).
2. Tidak dilakukan pre-heat dan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) sebelum dan sesudah proses pengelasan.
3. Standar yang digunakan dalam kualifikasi prosedur las pada penelitian ini adalah ASME BPVC Section IX edisi Tahun 2019.

2 Tinjauan Pustaka

2.1. Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik pada material didefinisikan sebagai kemampuan material dalam menerima beban (beban statik maupun beban dinamik) tanpa mengalami kerusakan pada material tersebut. Beberapa sifat mekanik pada material adalah kekuatan, keuletan, kekerasan. Untuk dapat mengetahui sifat mekanik material maka harus dilakukan pengujian pada material tersebut.

2.2. Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik pada material logam bertujuan untuk mengetahui sifat kekuatan tarik logam. Prinsip pengujian tarik adalah spesimen diberi beban tarik uniaxial yang besarnya terus meningkat secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap deformasi yang dialami spesimen [3]. Deformasi yang dialami material dapat dilihat dari kurva tegangan-regangan (*stress-strain curve*).

Salah satu sifat mekanik material berdasarkan hasil pengujian tarik adalah kekuatan Tarik Maksimum (*Ultimate Tensile Strength*).

Kekuatan tarik maksimum merupakan tegangan maksimum yang dapat diterima material sebelum terjadinya perpatahan. Tegangan tarik maksimum didapat dari beban maksimum per luas penampang awal spesimen uji.

2.3. Pengujian Tekuk (*Bending Test*)

Pengujian tekuk pada material logam bertujuan untuk mengetahui kekuatan lentur suatu material. Pengujian tekuk dapat digunakan untuk menentukan mutu hasil lasan secara visual akibat pembebanan tekuk.

Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, pengujian tekuk dibedakan menjadi dua yaitu uji tekuk melintang (*transversal bending test*) dan uji tekuk memanjang (*longitudinal bending test*).

Research Paper Vol 3, No 1, Tahun 2021

Spesimen yang digunakan untuk uji tekuk melintang adalah bagian spesimen yang tegak lurus dengan arah pengelasan.

Berdasarkan lokasi pengamatan dan pembebanan, uji tekuk melintang diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu [4]:

2.3.1. Face Bend

Merupakan uji tekuk dengan permukaan hasil lasan mengalami tegangan tarik dan akar las mengalami tegangan tekan.

2.3.2. Root Bend

Merupakan uji tekuk dengan permukaan hasil lasan mengalami tegangan tekan dan akar las mengalami tegangan tarik.

2.3.3. Side Bend

Merupakan uji tekuk yang dilakukan dengan ketebalan material yang dilas lebih dari 3/8 inch.

**2.4. Spesifikasi Prosedur Pengelasan
(Welding Procedure Specification)**

Spesifikasi prosedur las (WPS) adalah prosedur tertulis terkait pengelasan yang sudah terqualifikasi untuk memberikan arahan dalam menghasilkan produk las yang sesuai dengan kode dan standar yang ditentukan [5].

Spesifikasi prosedur las harus menjelaskan seluruh variabel yang digunakan pada saat proses pengelasan yaitu *essential variable*, *non-essential variable*, dan jika dibutuhkan maka ada variabel pelengkap yang harus ada dalam WPS yaitu *supplementary essential variable*.

Essential variable adalah variabel yang jika terjadi perubahan maka akan mempengaruhi sifat mekanik dari hasil las dan WPS harus dilakukan kualifikasi ulang.

Non-essential variable adalah variabel yang jika terjadi perubahan maka tidak dilakukan kualifikasi ulang pada WPS. Hal ini disebabkan tidak akan mempengaruhi sifat mekanik dari hasil las.

Supplementary Essential Variable adalah variabel yang akan berubah menjadi *essential variable* jika proses pengelasan mensyaratkan pengujian impact.

**2.4.1. Rekaman Kualifikasi Prosedur
Pengelasan (Procedure Qualification Record)**

Rekaman kualifikasi prosedur pengelasan (PQR) adalah rekaman data variabel yang dicatat selama proses pengelasan spesimen.

PQR harus berisikan seluruh data *essential variable* dan data *supplementary essential*

variable jika dibutuhkan untuk setiap proses pengelasan yang digunakan selama pengelasan spesimen. *Non-essential variable* yang digunakan dalam proses pengelasan dapat dicatat sesuai kebutuhan organisasi. Seluruh data variabel yang dicatat adalah variabel aktual yang digunakan selama pengelasan spesimen. Jika terdapat data yang tidak dimonitor selama pengelasan maka tidak perlu untuk dicatat.

PQR harus tersertifikasi akurat oleh sebuah organisasi. Sertifikasi ini dimaksudkan untuk memverifikasi bahwa PQR tersebut adalah variabel yang tercatat selama proses pengelasan spesimen dan hasil pengujian mekanik seperti pengujian tarik, pengujian bending juga dimasukkan ke dalam PQR tersebut.

Perubahan pada *essential variable* akan memberi dampak pada kualifikasi ulang WPS dengan melakukan pengujian pada PQR [6].

2.4.2. Tahapan Kualifikasi Prosedur Las

Spesifikasi Prosedur Pengelasan (WPS) harus dilakukan kualifikasi untuk memastikan bahwa WPS telah memenuhi kode dan standar yang ditentukan. Berikut tahapan kualifikasi prosedur las [7]:

Gambar 1. Tahapan Kualifikasi Prosedur Las

3 Metodologi Penelitian

3.1. Persiapan Benda Uji

3.1.1. Persiapan Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat baja karbon rendah SA-36 mengacu

Research Paper Vol 3, No 1, Tahun 2021

pada standarisasi ASME dengan ketebalan 10 mm.

3.1.2. Persiapan Pengelasan

Desain sambungan las yang dilakukan (Gambar 2) memperlihatkan bahwa tipe sambungan butt joint-single V-groove dengan sudut kampuh sebesar 70° . Spesimen dilakukan fit-up dengan root gap sebesar 3,2 mm.

Proses pengelasan yang digunakan adalah SMAW dengan posisi pengelasan 3G (*uphill*). elektroda E7016 berdiameter 2,6 mm dengan polaritas DCEN dipakai pada root pass, sedangkan untuk filler menggunakan elektroda E 7018 berdiameter 3,2 mm dengan polaritas DCEP.

Gambar 2. Desain sambungan las.

Proses pengelasan dan pengujian mekanik dilakukan di *Welding Center* Program Studi Teknik Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS).

Spesimen yang telah dilakukan proses penyambungan memiliki dimensi sebesar 292x304x10 mm (Gambar 3).

Setelah proses pengelasan selesai, spesimen dilakukan pemotongan untuk pengujian tarik dan pengujian bending.

Berdasarkan table QW-451.1. ASME Section IX, Jumlah dan jenis pengujian merusak yang dilakukan untuk mengkualifikasi prosedur las spesimen dengan ketebalan 10 mm adalah 6 (enam) spesimen uji dengan rincian sebagai berikut:

- 2 (dua) spesimen untuk pengujian tarik
- 2 (dua) spesimen untuk pengujian *root bend*
- 2 (dua) spesimen untuk pengujian *face bend*.

Gambar 3. Spesimen Uji Plat Baja Karbon SA-36 yang telah dilakukan proses pengelasan SMAW

Berikut adalah *cutting plan* berdasarkan QW-463.1. (a) Standar ASME BPVC Section IX:

Discard		this piece
Reduced section		tensile specimen
Root bend		specimen
Face bend		specimen
Root bend		specimen
Face bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Discard		this piece

Gambar 4. *Cutting plan* pengujian merusak

3.2. Pembuatan Spesimen Uji Tarik

Pembuatan spesimen uji tarik mengacu pada QW 462.1(a) Standar ASME BPVC section IX yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Spesimen Uji Tarik

3.3. Pembuatan Spesimen Uji Bending

Berdasarkan QW-463.1(a) pada standar ASME BPVC section IX, pengujian bending yang dilakukan berjumlah 4 spesimen yang terdiri dari 2 spesimen uji root bend dan 2 spesimen uji *face bend*. Untuk pemotongan spesimen pengujian ini merujuk pada QW-462.3 (a) yang diperlihatkan pada Gambar 6 untuk detail ukuran spesimen uji *face bend* dan Gambar 7 untuk detail ukuran spesimen uji *root bend*.

Gambar 6. Spesimen Uji Face Bend

Gambar 7. Spesimen Uji Root Bend

Gambar 8. Spesimen Uji Tarik dan Uji Bending

Spesimen yang telah dipotong dan dibuat sesuai dengan cutting plan dan standar ASME siap untuk dilakukan pengujian (Gambar 8), yaitu:

- T1 dan T2 adalah spesimen uji tarik
- F1 dan F2 adalah spesimen uji *face bend*
- R1 dan R2 adalah spesimen uji *root bend*.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis Pengujian Tarik

Pengujian tarik digunakan untuk menguji kekuatan tarik material dengan memberikan beban tarik pada spesimen. Berdasarkan hasil pengujian tarik yang didapat dari data PQR, dapat diinformasikan bahwa berdasarkan Tabel 1, beban maksimum yang dapat diterima oleh specimen T1 dan T2 adalah 54,28 kN. Sehingga dengan beban maksimum yang dapat diterima terhadap luas penampang awal specimen T1 dan T2, didapat kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength*) adalah 444,9 MPa dan 434,6 MPa.

Tabel 1. Hasil Uji Tarik

No. Spec	Dimensi Lebar dan tebal (mm)		Area A ₀ (mm ²)	F _y ield (kN)	F _{ultimate} (kN)
	W ₀	t ₀			
T1	19,4	10	184,30	54,28	81,86
T2	19	10	183,35	52,27	79,69

Dalam proses kualifikasi prosedur las, spesimen las yang telah dilakukan pengujian tarik harus memenuhi syarat keberterimaan (*acceptance Criteria*) pengujian tarik sesuai dengan standar ASME BPVC Section IX yang mengacu pada

Research Paper Vol 3, No 1, Tahun 2021

QW-153. 1, yaitu [5]:

Untuk dinyatakan lulus uji tarik, kuat tarik spesimen harus tidak kurang dari:

- Kekuatan tarik minimum yang ditetapkan dari logam dasar
- Kekuatan tarik minimum yang ditetapkan dari logam dasar yang terlemah, apabila logam dasar terdiri dari dua logam dasar yang berlainan kuat tarik minimumnya
- Kekuatan tarik minimum dari logam lasan, apabila standard yang digunakan menentukan penggunaan logam lasan dengan kuat tarik yang lebih rendah daripada logam dasar pada suhu ruang
- Bila spesimen putus pada logam dasar di luar lasan atau diluar garis fusi las, tes dinyatakan lulus dengan syarat kuat tarik minimum 5% lebih rendah dari kuat tarik minimum yang ditetapkan untuk logam dasar.

Berdasarkan tabel QW-422 standar ASME BPVC section IX, kekuatan tarik minimum baja karbon rendah SA-36 sebesar 400 MPa. Sehingga, jika dilihat dari syarat keberterimaan uji tarik pada poin (a), maka spesimen tarik dinyatakan memenuhi kriteria lulus lebih besar dari kekuatan tarik logam dasar dengan rata-rata kekuatan tarik maksimum sebesar 439,75 MPa.

Pengujian tarik spesimen menghasilkan patahan yang terletak pada logam dasar di luar lasan (Gambar 9 dan Gambar 10). Dengan kekuatan tarik maksimum rata-rata sebesar 439,75 MPa dan lokasi patahan ini, lulusnya pengujian tarik spesimen ini juga didukung dengan pemenuhan syarat keberterimaan pada poin (d).

Gambar 9. Hasil Pengujian Tarik spesimen T1

Gambar 10. Hasil Pengujian Tarik spesimen T2

Dari hasil patahan spesimen dapat diindikasikan bahwa kekuatan pada daerah lasan lebih besar daripada kekuatan di daerah logam dasar.

4.2. Analisis Pengujian Bending

Berdasarkan pengujian bending, yang terdiri dari uji Face bend dan uji root bend pada spesimen, didapatkan bahwa pada spesimen uji face bend F1, tidak terlihat cacat terbuka (Gambar 11.a). Sedangkan pada spesimen uji face bend F2, terdapat cacat terbuka (*open discontinuity*) sebesar 0,5 mm. (Gambar 11.b)

(a)

(b)

Gambar 11. a) Hasil Pengujian Face Bend spesimen F1, b) Hasil pengujian Face Bend spesimen F2

Pada pengujian root bend spesimen R1 dan spesimen R2, terdapat cacat terbuka (*open discontinuity*) sebesar 1,5 mm dan 1 mm.

(a)

(b)

Gambar 12.a) Hasil Pengujian *Root Bend* spesimen R1, **b)** Hasil pengujian *Root bend* spesimen R2.

Syarat keberterimaan (acceptance criteria) uji bending berdasarkan standar ASME BPVC Section IX mengacu pada QW 163, yaitu Lasan dan HAZ dari specimen tes bending melintang setelah diuji harus seluruhnya berada pada bagian bending specimen uji. Pada lasan atau HAZ, setelah dibending tidak boleh terdapat cacat-cacat terbuka yang melebihi 3 mm, diukur kesegala arah pada permukaan bendingan luar dari specimen uji [5].

Berdasarkan seluruh hasil pengujian bending (*face bend* dan *root bend*) specimen, specimen dapat dinyatakan lulus kriteria uji *bending* dengan cacat terbuka maksimum sebesar 1,5 mm.

5 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan pembahasan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa:

- (1) Pengujian tarik berhasil dilakukan pada specimen dengan lokasi patahan berada pada daerah logam dasar dengan rata-rata kekuatan tarik maksimum sebesar 439,75 MPa.
- (2) Pengujian *bending* (*face bend* dan *root bend*) berhasil dilakukan dengan cacat terbuka maksimum sebesar 1,5 mm.
- (3) Berdasarkan syarat keberterimaan pengujian tarik dan bending sesuai standar ASME BPVC

Section IX, specimen memenuhi syarat kriteria uji dan prosedur las dapat dinyatakan terqualifikasi.

(4). Untuk Penelitian lebih lanjut diharapkan dilakukan analisis pengaruh kekuatan tarik kawat las E7016 dan E7018 terhadap hasil pengujian tarik specimen.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini, khususnya kepada Welding Centre Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Referensi

- [1] W, Harsono. T, Okumura, 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita,
- [2] ISO 3834. 2015. *Quality Requirements for Fusion Welding of Metallic Materials*.
- [3] Davis, H.E., Troxel, G.E., Wiskocil. C.T., 1955. *The Testing and Inspection of Engineering Materials*. New York, USA: Mc Graw-Hill Book Company.
- [4] Dr. Ir. Yuwono Akhmad Herman. M.Phil.Eng 2009. *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material I Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Universitas Indonesia.
- [5] ASME Boiler and Pressure Vessel Code. 2019. *Section IX-Welding, Brazing, and Fusing Qualifications*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [6] H.A., Qazi. 2017. *Study of Verification and Validation of Standard Welding Procedure Specifications Guidelines for API 5Lx-70 Grade Line Pipe Welding*. Journal of Engineering Sciences. Volume 4, Issue 2.
- [7] Satish, Arunkumar Jeergi. 2016. *Study on Welding Procedure Specifications as Per ASME Sec IX*. IJSRD. Volume 4, Issue 4.