

## Uji Mekanik Material Pipa SA-312 TP304L untuk Kualifikasi PQR Sesuai ASME BPVC Sec. IX-2019

N H Batubara<sup>1</sup>, H Butar Butar<sup>2</sup>, A Aryswan<sup>3</sup>, T R Rizki<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

e-mail: [ninda@polibatam.ac.id](mailto:ninda@polibatam.ac.id)

### Abstrak

Sesuai ASME BPVC Sec.IX, *Welding Procedure Specification* (WPS) dinyatakan layak digunakan untuk proyek pengelasan dengan diikualifikasi dahulu menggunakan *Procedure Qualified Record* (PQR). Pengujian mekanikal dengan menimbulkan kerusakan untuk mengetahui ketahanan suatu material dengan cara ditekan, ditarik, dan dilengkungkan. Penelitian bertujuan mengetahui kualitas pengelasan dan rentang ketebalan material yang dapat dikualifikasi menggunakan *test coupon* pada PQR. Pengujian mekanikal yang dibutuhkan pada PQR ini yaitu dua spesimen *tensile test* dan empat spesimen *bend test* dengan *acceptance criteria* spesifikasi ASME BPVC Sec. IX-2019. Pada spesimen *tensile test* 1 dan 2, diketahui nilai *ultimate tensile strength* yaitu sebesar 584 MPa dan 594 MPa. Salah satu spesimen *root bend* pada *bend test* memiliki diskontinuitas terbuka di area *weld* sebesar 0.5 mm. Berdasarkan pada ASME BPVC Sec. IX-2019, nilai minimum yang diijinkan untuk *tensile test* pada material SA-312 TP304L yaitu sebesar 485 MPa, serta ukuran maksimum diskontinuitas terbuka yang diperbolehkan untuk *bend test* pada area *weld* dan HAZ, yaitu sebesar 3 mm.

**Kata kunci:** Kualifikasi PQR, Pengujian Mekanikal, *Test Coupon*

### Abstract

In accordance with ASME BPVC Sec.IX, the *Welding Procedure Specification* (WPS) is declared fit for use for welding projects by first being qualified using a *Procedure Qualified Record* (PQR). Mechanical testing by causing damage to determine the resistance of a material by pressing, pulling, and bending. The research aims to determine the quality of the exploration and the thickness range of the material that can be qualified using the PQR test coupon. The mechanical tests required for this PQR are two tensile test specimens and four bending test specimens with the acceptance criteria for ASME BPVC Sec specifications. IX-2019. In the tensile test specimens 1 and 2, it is known that the ultimate tensile strength values are 584 MPa and 594 MPa. One of the root bend specimens in the bend test has an open discontinuity in the weld area of 0.5 mm. Based on ASME BPVC Sec. IX-2019, the minimum value allowed for the tensile test on SA-312 TP304L material is 485 MPa, and the maximum open discontinuity size allowed for bending tests in the weld area and HAZ is 3 mm.

**Keywords :** Qualification of PQR, Mechanical Testing, Test Coupon

### PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman, proyek industri di sektor migas mengalami kemajuan teknologi yang pesat untuk menciptakan produk pipa yang berkualitas, termasuk dalam hal pengelasan pipa. Kini terdapat beragam metode pengelasan yang bertujuan untuk bisa menyesuaikan situasi pekerjaan di lapangan. Pengelasan adalah sebuah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas baik sumbernya dari panas aliran listrik maupun api dari pembakaran gas [1].

Sebelum melakukan proyek pengelasan, hal yang harus dilakukan terlebih dahulu yakni

membuat Welding Procedure Specification (WPS) yang dikualifikasi menggunakan Procedure Qualified Record (PQR). Mengacu pada ASME Sec. IX, Welding Procedure Specification (WPS) merupakan dokumen mengenai prosedur tertulis yang telah terqualifikasi untuk memberikan arahan kepada juru las dalam proses pengelasan sesuai dengan standar yang dipakai. Isi dari WPS harus menjelaskan semua tentang essential variable (variabel yang dapat mempengaruhi sifat mekanis pada pengelasan), supplementary variable (variabel yang menjadi essential variable apabila pada proses pengelasan mengharuskan melakukan uji dampak (impact test)) dan nonessential variable (variabel tidak mempengaruhi sifat mekanis pada pengelasan) serta WPS harus mengacu pada catatan Procedure Qualified Record (PQR) yang di jelaskan dalam QW-200.2. Sedangkan Procedure Qualified Record (PQR) merupakan rekaman variabel yang dicatat selama proses pengelasan material sampel (test coupon) untuk mengqualifikasi WPS. Didalam PQR terdapat informasi mengenai parameter pengelasan, metode pengelasan, hingga hasil pengujian terhadap semua spesimen test coupon[2].

Salah satu cara untuk mengetahui kualitas pengelasan dengan melakukan serangkaian pengujian merusak (Destructive Test) [3]. Destructive Test adalah metode pengujian logam dengan menimbulkan kerusakan logam yang sedang diuji. Tujuan metode pengujian ini adalah untuk mengetahui ketahanan suatu material dengan dirusak menggunakan alat uji dengan cara ditekan, ditarik, dan dilengkungkan sehingga material yang rusak dapat diketahui kualitasnya[4].

Tensile test (uji tarik) dilakukan dalam memilih bahan untuk aplikasi teknik untuk memastikan kualitas material. Uji tarik merupakan metode pengujian logam dengan menarik logam hingga putus melalui penambahan gaya tarik ke material yang diuji[5].

Bending test (uji tekuk) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Proses pembebanan menggunakan mandrel atau pendorong yang dimensinya telah ditentukan untuk memaksa bagian tengah bahan uji atau spesimen tertekuk diantara dua penyangga yang dipisahkan oleh jarak yang ditentukan[6]

Logam adalah salah satu bahan utama yang digunakan dalam proses pembuatan produk [4], sedangkan logam dasar (base metal) yang digunakan pada test coupon ini memiliki grade TP304L yang pada huruf terakhir menunjukkan bahwa material memiliki karbon yang rendah (low carbon). Pada material ini terdapat standarisasi Unified Numbering System (UNS) S30403 yang pada huruf awal menandakan material ini merupakan stainless steel dan lima digit angka menunjukkan komposisi kimia yang terdapat pada material tersebut [7].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas pengelasan dan rentang ketebalan material yang dapat dikualifikasi menggunakan test coupon pada PQR ini.

## **METODE**

### **Detail material**

Material yang digunakan untuk test coupon yaitu seamless pipe yang telah di las menggunakan metode pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) dengan posisi pengelasan 6G. Spesifikasi material yaitu SA-312 Grade TP304L, P-No 8 Group No 1, UNS No S30403, thickness 3.91 mm, outside diameter 60.3 mm (2" NPS), nominal composition (%): Cr = 18; Ni = 8. Kandungan unsur kimia dalam material bisa dilihat pada tabel 1 dan mechanical properties pada material bisa dilihat pada tabel 2.

**Tabel 1. Unsur kimia pada material**

Unsur Kimia	(%)
Carbon (C)	0.035
Mangan (Mn)	2
Fosfor (P)	0.045
Sulfur (S)	0.030
Silicon (Si)	1
Chromium (Cr)	18-20
Nikel (Ni)	8-13

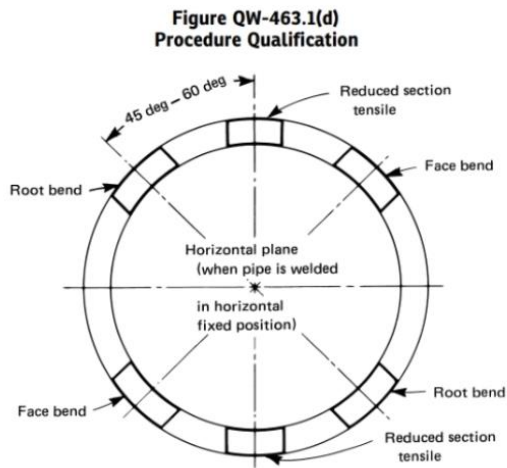
**Tabel 2. Mechanical Properties material**

Mechanical Properties	
Tensile Strength [MPa]	485
Yield Strength [MPa]	170
Elongation	25

### Preparasi Material

Alur preparasi material hingga menjadi spesimen uji dijelaskan sebagai berikut:

1. Melakukan marking (penandaan) pada test coupon di bagian yang akan diambil sebagai spesimen uji tensile dan bending. Pada test coupon ini, jumlah spesimen yang akan diambil yaitu dua spesimen tensile, dua spesimen transverse face bend dan dua spesimen transverse root bend sesuai pada persyaratan di tabel QW-451.1 (Groove-Weld Tension Test and Transverse-Bend Tests). Lokasi pengambilan spesimen uji pada test coupon ini terdapat pada QW-463.1(d) (Procedure Qualification) yang bisa dilihat pada gambar 1, sedangkan bentuk test coupon yang akan diberi marking bisa dilihat pada gambar 2
2. Melakukan proses pemotongan pada test coupon menggunakan mesin potong mengikuti marking yang telah diberikan. Untuk mesin potong yang akan digunakan bisa dilihat pada gambar 3:
3. Membuang face weld dan root weld pada test coupon menggunakan mesin gerinda asah hingga ukurannya sama dengan base metal. Mesin gerinda asah dan poles yang digunakan bisa dilihat pada gambar 4;
4. Untuk spesimen tensile, dilakukan proses pembuatan gauge length dan radius menggunakan mesin milling. Penjelasan mengenai dimensi specimen tensile untuk test coupon ini terdapat pada QW-462.1(c) (Tension-Reduced Section Alternate for Pipe) yang bisa dilihat pada gambar 5 dan untuk jenis mesin milling yang akan digunakan bisa dilihat pada gambar 6:
5. Untuk spesimen face bend dan root bend, dilakukan proses penghalusan permukaan face weld dan root weld menggunakan mesin gerinda poles. Ukuran pemolesan permukaan face weld dan root weld sebaiknya dibuat lebar agar bisa terlihat jelas pada saat dilakukan bending test. Dimensi spesimen face bend dan root bend untuk test coupon ini terdapat pada QW-462.3(a) (Face and Root Bends-Transverse) yang bisa dilihat pada gambar 7:
6. Memberikan marking pada spesimen tensile dan bending berupa hard stamping (pembuatan angka atau huruf pada material menggunakan stempel besi yang dipukul dengan palu) agar spesimen uji tidak tertukar pada saat dilakukan pengujian mekanikal
7. Melakukan pengukuran ulang pada spesimen. setelah ukuran spesimen sesuai, spesimen tensile dan bending bisa dipakai untuk pengujian mekanikal



**Gambar 1: Posisi pengambilan spesimen uji**



**Gambar 2: Test Coupon yang diberi marking**

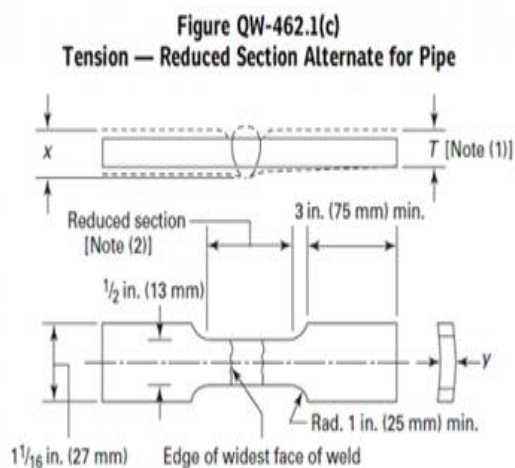
Sesuai kode ASME BPVC Sec. IX-2019[2]



**Gambar 3: Mesin Potong yang Digunakan**



**Gambar 4: Mesin Gerinda Asah dan Poles Digunakan**



**Gambar 5. Dimensi Spesimen Tensile sesuai**

Kode ASME BPVC Sec. IX-2019 [2]



**Gambar 6. Mesin Milling yang Digunakan**

## Jenis Pengujian Yang Dilakukan

### 1. Uji *Tensile*

Uji *Tensile* dilakukan dengan menggunakan universal testing machine untuk memperoleh data dari kekuatan material yang digunakan pada percobaan ini, yaitu pada material SA-312 TP340L.

Acceptance criteria (kriteria penerimaan) untuk pengujian *tensile* terdapat di QW-153 (*Acceptance Criteria – Tension Test*) dibagian QW-153.1 (*Tensile Strength*). Dalam QW-153.1 dijelaskan bahwa untuk lulus pada uji tegangan, kekuatan tarik pada specimen *tensile* tidak boleh lebih rendah dari ketentuan minimum uji tarik (*minimum specified tensile*) pada *base metal*. Minimum Specified *Tensile* pada material SA-312 TP340L yaitu sebesar 485 MPa.

### 2. Uji *Bending*

Uji *bending* yang dilakukan guna menentukan mutu material secara visual dan juga mengukur kekuatan material akibat pembebanan di weld metal maupun HAZ.

Acceptance criteria (kriteria penerimaan) untuk pengujian *bending* terdapat di QW-163. Dalam QW-163 dijelaskan bahwa weld dan HAZ (*Heat Affected Zone*) dari specimen transverse *weld bend* harus berada di area yang ditebuk / area yang dikenai *bending*. Specimen uji *bending* tidak boleh terdapat diskontinuitas yang terbuka pada *weld* atau HAZ melebihi 1/8 inch (3 mm), di ukur ke segala arah apda permukaan cembung dari specimen setelah di tekuk / *bending*.

## ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Sesuai yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada penelitian ini terdapat dua specimen transverse weld *tensile*, dua specimen transverse face bend dan dua specimen transverse root bend. Specimen-specimen tersebut dilakukan pengujian mekanikal dengan acceptance criteria merujuk pada ASME BPVC Sec. IX-2019. Untuk hasil pengujian tarik pada specimen *tensile* 1 dan 2 ditampilkan pada tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3. Data pengujian *tensile* pada specimen 1 dan 2**

<i>Specimens Marking</i>	<i>Tensile Test Data</i>			
	<i>Thickness (mm)</i>	<i>Width (mm)</i>	<i>Cross Sectional Area (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Ultimate Tensile Strength (N/mm<sup>2</sup>)</i>
Tensile-T1	3.51	13.01	45.67	584
Tensile-T2	3.48	13	45.24	594

Berdasarkan pada tabel 3, dapat diketahui data pengujian pada specimen *tensile* 1 dan 2. Data yang akan diambil menjadi ajuan pengujian *tensile* yaitu hanya *Ultimate Tensile Strength* saja karena pengujian *Transverse Weld Tensile* digunakan untuk mengetahui kekuatan sambungan pengelasan sehingga tidak diperlukan perhitungan *Cross-Sectional Area* (luas penampang), *Reduction of Area* (reduksi penampang untuk menentukan keuletan material) dan *Elongation* (batas material kehilangan sifat plastis). Untuk nilai *Ultimate Tensile Strength* pada specimen *tensile* 1 dan 2 diperoleh sebesar 584 N/mm<sup>2</sup> dan 594 N/mm<sup>2</sup> atau 584 MPa dan 594 MPa. Berdasarkan standar yang dipakai yaitu ASME BPVC Sec IX-2019 telah dijelaskan bahwa *Minimum specified tensile* pada material SA-312 TP304L yaitu sebesar 485 MPa. Sehingga hasil pengujian tarik pada specimen *tensile* 1 dan 2 dinyatakan *accepted* (lulus pengujian).

Untuk hasil pengujian tekuk pada 2 specimen transverse face bend dan 2 specimen transverse root bend ditambihkan pada gambar 7 dan gambar 8 berikut ini:



**Gambar 7: Spesimen hasil uji *transverse face bend* ( kiri dan tengah) dan *transverse root bend* ( kanan)**



**Gambar 8. Spesimen hasil uji *transverse root bend* yang terindikasi diskontinuitas terbuka**

Berikut ditampilkan data hasil pengujian tekuk pada tabel 4 berikut ini:

**Tabel 4. Data Hasil Uji *Bending***

<i>Specimens marking</i>	<i>Bend Test Result</i>
<i>Face Bend-F1</i>	<i>No open discontinuity and freedom from crack</i>
<i>Face Bend-F2</i>	<i>No open discontinuity and freedom from crack</i>
<i>Root Bend-R1</i>	<i>Open discontinuity 0.5 mm</i>
<i>Root Bend-R2</i>	<i>No open discontinuity and freedom from crack</i>

Berdasarkan pada gambar 7 dan 8 serta tabel 4, dapat diketahui hasil dari pengujian tekuk pada 2 spesimen transverse face bend dan satu spesimen transverse root bend tidak terdapat indikasi open discontinuity (diskontinuitas terbuka) pada bagian weld dan HAZ. Sedangkan satu spesimen transverse root bend lainnya terdapat diskontinuitas terbuka di bagian weld yang dilingkari dengan ukuran lebar yaitu 0.5 mm. Tetapi masih masuk dalam batas toleransi karena berdasarkan standar yang dipakai yaitu ASME BPVC Sec IX-2019 telah dijelaskan bahwa batas diskontinuitas terbuka yang diperbolehkan pada bagian weld dan HAZ yaitu sebesar 1/8 in. (3 mm). Sehingga hasil pengujian tekuk pada 2 spesimen transverse face bend dan 2 spesimen transverse root bend dinyatakan accepted (lulus pengujian).

Setelah dinyatakan lulus pengujian, maka dapat diketahui jika test coupon pada PQR ini bisa digunakan untuk mengkualifikasi material dengan rentang ketebalan tertentu. Untuk kualifikasi ketebalan material Berdasarkan ASME BPVC Sec. IX-2019 di tabel QW-451.1 (Groove-Weld Tension **Test and Transverse-Bend Tests**) dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini:

**Tabel 5. Kualifikasi ketebalan material mengikuti kode ASME BPVC Sec. IX-2019**

Thickness $T$ of Test Coupon, Welded (mm)	Range of Thickness $T$ of Base Metal, Qualified (mm)	
	Min.	Max.
Less than 1.5	$T$	$2T$
1.5 to 10	1.5	$2T$
Over 10, but less than 19	5	$2T$
19 to less than 38	5	$2T$
38 to 150	5	200
Over 150	5	$1.33T$

Ketebalan test coupon yang digunakan pada pengujian ini yaitu 3.91 mm. Berdasarkan tabel 5 diketahui bahwa ketebalan test coupon ini termasuk dalam rentang 1.5 mm sampai dengan 10 mm sehingga yang dapat dikualifikasi menggunakan test coupon ini adalah material dengan rentang ketebalan 1.5 mm sampai dengan  $2(3.91 \text{ mm}) = 7.82 \text{ mm}$ .

## SIMPULAN

Pembahasan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kualitas pengelasan setelah dilakukan pengujian mekanikal dan rentang ketebalan material yang dapat dikualifikasi menggunakan test coupon pada PQR ini. Diketahui nilai ultimate tensile strength yang didapat pada pengujian spesimen tensile 1 dan 2 yaitu sebesar 584 MPa dan 594 MPa. Hasil uji pada spesimen bend terdapat salah satu spesimen root bend yang terdapat indikasi diskontinuitas terbuka sebesar 0.5 mm. Berdasarkan pada ASME BPVC Sec. IX-2019, nilai minimum yang diizinkan untuk tensile test pada material SA-312 TP304L yaitu sebesar 485 MPa, serta ukuran maksimum diskontinuitas terbuka yang diperbolehkan untuk bend test pada area weld dan HAZ yaitu sebesar 3 mm, Sehingga pengujian mekanikal pada test coupon ini dinyatakan accepted serta diketahui bahwa yang dapat dikualifikasi menggunakan test coupon ini adalah material dengan rentang ketebalan 1.5 mm sampai dengan 7.82 mm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Shaloo, M; Schnall, M.; Klein.; Huber, N; Reiting, B. A Review of Non- Destructive Testing (NDT) Techniques for Defect Detection: Application to Fusion Welding and Future Wire Arc Additive Manufacturing Processes. *Materials* 2022, 15, 3697. <https://doi.org/10.3390/ma15103697>.
- ASME BPVC.IX-2019, Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators.
- Fuad, B, Y; Aisyah, I, S; Kurniawati, D; Agussalim. Pengaruh Kombinasi Ketebalan Plat Aluminium 2024 T42 Terhadap Sifat Mekanis pada Proses Resistance Spot Welding

- Part Door Assy Helikopter NBELL 4123P: Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA) 2020 e ISSN
- Assidik ,A; Gusniar, I, N. Analisa Pengaruh Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Material High Strenght Low-Alloy: Jurnal Ilmu Teknik: Vol. 2 No. 3 September 2021
- Davis. J. R. 2004. Tensile Testing: Second Edition. ASM International: The Materials Information Society
- Maylani, G, D; Budiarto, U; Santosa, A, W, B. Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Double V Pada Sambungan Las SMAW (Shield Metal Arc Welding) Baja St 37 Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Impact : Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 10, No. 1 Januari 2022
- ASTM.A312/A312M, (2018), Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes