

Destructive Test Material SA516 70N Untuk Kualifikasi Pengelasan Standar ASME BPVC Sec. IX-2021

Jonas Felix Siregar¹, Nugroho Pratomo Ariyanto², Benny Haddli Irawan^{3*}

^{1,3}Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

²Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam
benny@polibatam.ac.id

Abstract

This research contains about destructive test for WPS qualification (welding qualification record) in making pressure vessel. WPS can be declared qualified if they have PQR (procedure qualification record). In making PQR required testing destructive test the test is carried out by damaging the specimen based on ASME standards (american society of mechanical engineers) BPVC (boiler pressure vessel code) Sec. IX-2021 with SA516 70N material. Indestructive test for this welding qualification, there are 4 types of testing with the number of specimens to be tested, namely: testing tensile (2 specimens), testing bend (4 specimens), testing Charpy iMPact (2 sets or 6 pcs specimen), and testing hardness vickers (1 specimen). Number of specimens tensile and bend specified in ASME BPVC Sec. IX-2021 on QW-451.1 and for the number of test specimens Charpy iMPact has been specified in ASME BPVC Sec. VIII. 1-2021 on UG-84 as well as for total specimen hardness vickers specified in NACE MR0175/ISO 15156-2:2023E table A.1. Results of testing tensile obtained a figure of 542 MPa (N/mm²) with a minimum requirement of 485 MPa (N/mm²), testing bend no open discontinuities found, for test results Charpy iMPact the smallest is 47 joules with a minimum requirement of 20 joules for single hairy. And for testing hardness vickers highest value 217 HV on section weld cap with requirements weld root is 250 HV while the highest value is on the part weld cap is 275 HV. The results of this test indicate that the welding procedure complies with the requirements and conditions set out in ASME BPVC Sec. IX-2021 in testing destructive test.

Keywords: welding procedure, destructive test, ASME BPVC Sec. IX-2021

Abstrak

Penelitian ini berisi tentang *destructive test* untuk kualifikasi WPS (*welding qualification record*) dalam pembuatan *pressure vessel*. WPS dapat dinyatakan terqualifikasi jika memiliki PQR (*procedure qualification record*). Dalam pembuatan PQR dibutuhkan pengujian *destructive test* yang pengujiannya dilakukan dengan cara merusak spesimen berdasarkan standar ASME (*american society of mechanical engineers*) BPVC (*boiler pressure vessel code*) Sec. IX-2021 dengan material SA516 70N. Dalam *destructive test* kualifikasi pengelasan ini, ada 4 jenis pengujian dengan jumlah spesimen yang akan diuji yaitu: pengujian *tensile* (2 spesimen), pengujian *bend* (4 spesimen), pengujian *Charpy iMPact* (2 set atau 6 pcs spesimen), dan pengujian *hardness vickers* (1 spesimen). Jumlah spesimen *tensile* dan *bend* telah ditentukan dalam ASME BPVC Sec. IX-2021 pada QW-451.1 dan untuk jumlah spesimen pengujian *Charpy iMPact* telah ditentukan dalam ASME BPVC Sec. VIII. 1-2021 pada UG-84 serta untuk jumlah spesimen *hardness Vickers* telah ditentukan dalam NACE MR0175/ISO 15156-2:2023E tabel A.1. Hasil dari pengujian *tensile* memperoleh angka 542 MPa dengan persyaratan minimum 485 MPa, pengujian *bend* tidak ditemukan diskontinuitas terbuka, untuk hasil pengujian *Charpy iMPact* terkecil adalah 47 joule dengan persyaratan minimum 20 joule untuk *single value*. Dan untuk pengujian *hardness Vickers* nilai tertinggi 217 HV pada bagian *weld cap* dengan persyaratan *weld root* adalah 250 HV sedangkan nilai tertinggi pada bagian *weld cap* adalah 275 HV. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa prosedur pengelasan memenuhi persyaratan dan ketentuan yang telah diatur dalam ASME BPVC Sec. IX-2021 dalam pengujian *destructive test*.

Kata kunci: prosedur pengelasan, uji rusak, ASME BPVC Sec. IX-2021

1. Pendahuluan

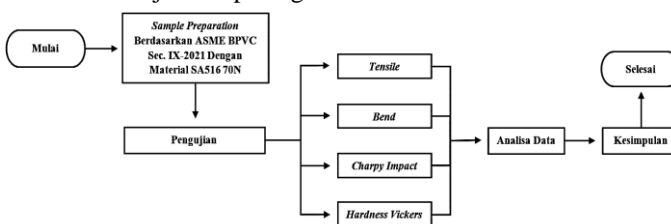
Industri minyak dan gas di Indonesia sudah banyak dilirik oleh investor dalam negeri maupun luar negeri, salah satu yang dibutuhkan untuk industri minyak dan gas adalah *pressure vessel*. Hal ini menyebabkan meningkatnya permintaan untuk produksi *pressure vessel*, dalam memproduksi *pressure vessel* dibutuhkan pengetahuan pengelasan di bidang *boiler pressure vessel* serta memerlukan ketelitian yang tinggi dalam proses pengelasannya.

Pada umumnya proses pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan material logam dengan cara mencairkan sebagian material logam induk dan material logam pengisi dengan atau tanpa material logam penambah dan menghasilkan sambungan yang berkelanjutan [1]. Umumnya setiap pengelasan diarahkan oleh WPS (*welding procedure spesification*). WPS adalah dokumen yang menjelaskan parameter pengelasan untuk mencapai hasil pengelasan yang sesuai dengan kode dan standar yang telah ditentukan. WPS dapat dinyatakan terqualifikasi jika memiliki PQR (*procedure qualification record*). Dalam pembuatan PQR dibutuhkan pengujian *destructive test* yang pengujiannya dilakukan dengan cara merusak spesimen berdasarkan standar ASME (*american society of mechanical engineers*) BPVC (*boiler pressure vessel code*) Sec. IX-2021 [2].

Tujuan penelitian ini untuk menguji dengan cara merusak pada material SA516 70N dengan prosedur pengelasan SMAW berdasarkan standar ASME BPVC Sec. IX-2021 [3], apakah layak untuk digunakan dalam prosedur pengelasan *pressure vessel* dengan jumlah yang banyak. Adapun beberapa prosedur pengujian yang akan dilakukan yaitu: *tensile test* (uji tarik), *bend test* (uji tekuk), *charpy iMPact*, dan *hardness vickers* (uji kekerasan). Jumlah spesimen *tensile* dan *bend* telah ditentukan dalam ASME BPVC Sec. IX-2021 pada QW-451.1 [3] dan untuk jumlah spesimen pengujian *Charpy iMPact* telah ditentukan dalam ASME BPVC Sec. VIII. 1-2021 pada UG-84 [4] serta untuk jumlah spesimen *hardness Vickers* telah ditentukan dalam NACE MR0175/ISO 15156-2:2023E tabel A.1 [5].

2. Metode Penelitian

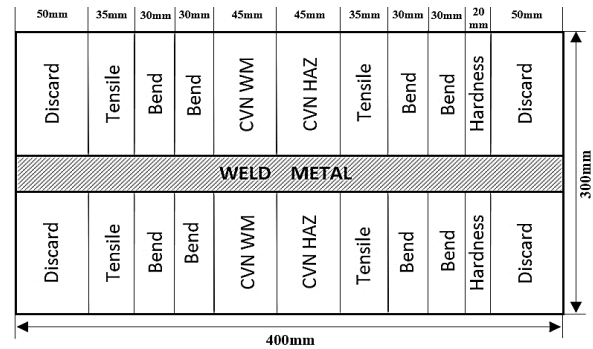
Metodologi penelitian dalam penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan bagian seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2.1. Sample Preparation

Test coupon menggunakan material SA516 70N dengan *mechanical properties tensile strength* dari material berdasarkan ASME BPVC II. A-2021 SA-516/SA-516M table 2 yaitu 485-620 MPa dan *yield strength min* 260 MPa [6]. *Thickness* 22.22 mm, *welding* proses SMAW posisi 1G dengan *joint design single v butt joint* yang nantinya dari *test coupon* tersebut akan dipotong menjadi beberapa bagian/spesimen untuk diuji. Lokasi pengambilan spesimen ditunjukkan pada Gambar 2.

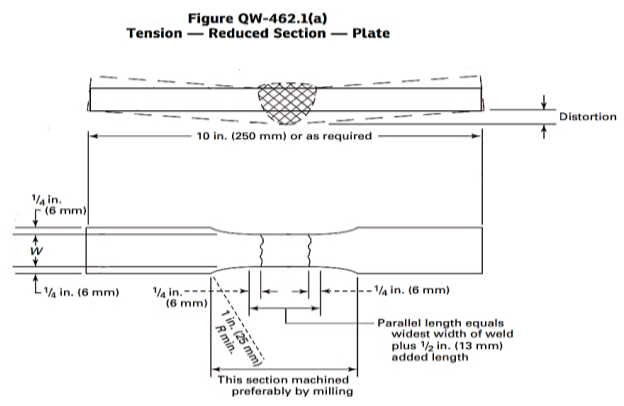


Gambar 2. Sectioning Test Coupon

Setelah lokasi pengambilan spesimen telah diberi sketsa pada *test coupon*, kemudian *test coupon* dipotong sesuai dengan sketsa yang telah digambar, menggunakan *band shaw machine* model: H-500 *serial number*: 931202. Spesimen yang akan diuji berjumlah dua spesimen *tensile*, empat spesimen *side bend*, enam spesimen *CVN* (dua set), dan satu spesimen *hardness vickers*. Adapun spesifikasi yang digunakan dalam mempersiapkan spesimen untuk pengujian, sebagai berikut :

2.1.1. Tensile

Saat mempersiapkan spesimen *tensile* yang perlu diperhatikan dalam pembuatannya adalah dimensi dari spesimen yang harus disesuaikan dengan spesifikasi atau standar yang menjadi persyaratan pengujian, untuk pengujian ini persyaratan yang harus diikuti adalah ASME Sec. IX-2021[3].



Gambar 3. Sketsa pemotongan mengikuti ASME BPVC Sec. IX-2021[3]

Pada Gambar 3 terlihat sketsa pemotongan spesimen *tensile* sesuai dengan ASME BPVC Sec. IX-2021 figure QW-462.1(a). Setelah dipotong dengan panjang minimum 250 mm, kemudian spesimen di *milling* pada bagian *face weld* dan *root weld* untuk mendapatkan *thickness* yang sama dengan *base metal* dan *gauge length* (bagian tengah spesimen *tensile*) dengan panjang yang telah ditentukan, radius (pada ujung *gauge length*) dengan ukuran radius 25 mm. Kemudian spesimen diampelas dengan gerinda amplas, dari ukuran mata gerinda amplas *grade* 80, 180, dan 240 hingga permukaan halus. Setelah spesimen *tensile* selesai melalui tahapan *preparation*, maka spesimen *tensile* dapat melanjutkan ke tahapan pengujian

2.1.2. Bend

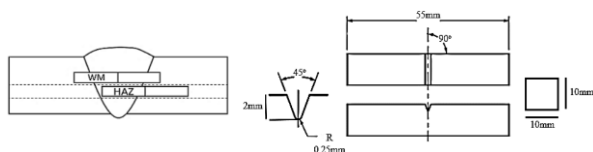
Untuk lokasi pengambilan *bend* yaitu *side bend*, setelah spesimen dipotong dengan mesin *band shaw* sesuai dengan ukuran pada sketsa, lalu memotong panjang spesimen menjadi 150 mm sesuai dengan dimensi pada QW-462.2. Sketsa pemotongan dapat dilihat pada Gambar 4. Setelah spesimen dipotong, kemudian spesimen di *milling* agar permukaan rata dengan *thickness* 10 mm, *width* 22,22 mm dan maksimum radius 3 mm. Setelah itu menggunakan gerinda amplas dengan mata amplas *grade* 240.



Gambar 4. Dimensi dari *side bend* mengikuti ASME BPCV Sec. IX-2021 QW-462.2 [3]

2.1.3. Charpy Impact

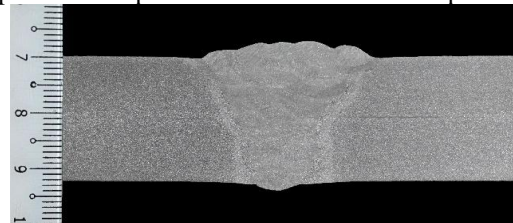
Pengambilan *Charpy impact* pada *weld center line* dan *HAZ (heat affected zone)* dipotong menggunakan *band shaw machine* menjadi 1 set (3pcs) lokasi *weld center line* dan 1 set (3pcs) lokasi *HAZ*. Kemudian di *surface* menggunakan mesin *surface grinding* hingga mendapat *thickness* 10 mm dan *width* 10 mm serta panjang 55 mm. Kemudian membuat *notch* dengan mesin *v-notch charpy iMPact brand blacks charpy*. Dengan *angle* 45° dan radius 0.25 mm. Ukuran pemotongan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sketsa pengambilan spesimen *charpy v-notch* mengikuti ASTM E23-2018 [7]

2.1.4. Hardness Vickers

Pada tahapan *preparation* spesimen *hardness Vickers* setelah dipotong menggunakan mesin *band shaw* kemudian dipoles dengan mesin *universal polisher* dengan kertas amplas *grade* 80, 240, 600, 1200, dan selanjutnya tahapan *etching* menggunakan larutan kimia dengan komposisi 1:3 yaitu larutan *nitric acid* (1) dan *aquadest* (3) mengikuti ASME BPVC Sec. IX-2021 pada QW-472.4 [3]. Pada Gambar 6 memperlihatkan spesimen *hardness Vickers* siap untuk diuji.



Gambar 6. Spesimen *hardness vickers*

2.2. Pengujian

Tahapan pengujian dilakukan, sebagai berikut:

2.2.1. Pengujian Tensile

Pada pengujian ini menggunakan lokasi *transverse weld tensile* dengan cara spesimen ditarik dengan mesin *tensile* hingga patah/putus untuk mengukur *tensile strength*. Pada pengujian *tensile* menggunakan mesin *tensile: universe machine* 1000 kN dengan kecepatan 25 mm/min yang mampu menarik hingga 101.97 ton, untuk kecepatan tarik dalam pengujian *tensile* tidak diatur dalam standar atau *code* karena kecepatan tarik hanya menentukan seberapa cepat spesimen putus ketika ditarik. Sebelum pengujian *tensile* dimulai, harus dilakukan pengukuran *actual* pada *thickness* dan *width*. Spesimen *tensile* yang siap untuk diuji dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Spesimen *Tensile*

2.2.2. Pengujian Bend

Pengujian *bend* dengan lokasi *side bend* merupakan pengujian yang tidak memiliki nilai untuk mengetahui kemulusan dan kelenturan dari sambungan pengelasan. Proses pengujian dilakukan dengan cara menekuk spesimen dengan mesin *bend test* hidrolis

hingga 180° untuk mengetahui ketangguhan dari spesimen tersebut. Untuk diameter *former* yang digunakan yaitu 40 mm sesuai dengan ASME BPVC Sec. IX-2021 figure QW-466.1 [3]. Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa spesimen *side bend* siap untuk diuji.



Gambar 8. Spesimen *Side Bend*

2.2.3. Pengujian *Charpy Impact*

Pengujian *Charpy impact* pada ASME BPVC Sec. IX-2021 merupakan pengujian tambahan atau tidak ada dalam tabel QW-451.1 [3] namun berdasarkan ASME BPVC Sec. VIII.1-2021 pada UG-84 *Charpy impact test* yang menjelaskan bahwa mewajibkan pengujian *charpy iMPact* dalam pembuatan *vessel* [4]. Pengujian *charpy iMPact* dengan metode *v-notch* merupakan pengujian dengan memukul spesimen dengan mesin *avery dension charpy iMPact machine model: 6705*, Serial No: 00019 dengan *striker* radius: 8 mm. *Test method* yang digunakan yaitu ASTM E23-2018 dengan suhu -30°C [7]. Spesimen *charpy* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Spesimen *Charpy v-notch* (a) lokasi *weld metal* dan (b) lokasi *HAZ*

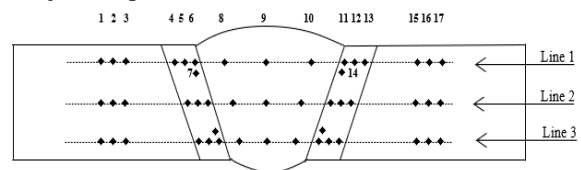
Pada Gambar 9 (a) merupakan spesimen *Charpy* dengan lokasi pengambilan *weld metal* atau bagian logam yang mencair dengan tujuan untuk menguji *toughness* dari lokasi pengelasan. Pada gambar 9 (b) merupakan spesimen *charpy* dengan lokasi pengambilan *HAZ* (*heat affected zone*) atau lokasi yang terkena panas akibat hasil pengelasan. Lokasi ini termasuk daerah yang tidak bisa dikontrol karena tidak *homogen*. Tujuan pengambilan *Charpy* pada daerah ini untuk mengetahui *toughness* lokasi *HAZ*.

Sebelum pengujian dilakukan, spesimen diukur *thickness*, *width*, panjang dengan kaliper dan untuk pengukuran *v-notch* menggunakan proyektor *v-notch* dengan *brand* mitutoyo agar mengetahui ukuran *actual v-notch* spesimen *Charpy*. Setelah pengukuran sesuai dengan standar, selanjutnya tahapan pengujian.

Spesimen disusun dalam *temperature box* untuk tahapan *conditioning temperature*. Pada tahapan *conditioning temperature* menggunakan *dry ice* dari CO₂ yang telah dipadatkan dan dilarutkan dengan *acetone*. Pengujian ini dengan *temperature* suhu -30°C sesuai *minimum design metal temperature* oleh *client* untuk suhu *actual* dilapangan. Saat mencapai suhu -30° C maka dilakukan *holding temperatur* minimal selama 5 menit. Setelah waktu telah mencapai 5 menit, maka spesimen *Charpy* siap untuk diuji

2.2.4. Pengujian *Hardness Vickers*

Pengujian *hardness vickers* pada ASME BPVC Sec. IX-2021 merupakan pengujian tambahan atau tidak tercantum dalam tabel QW-451.1 [3] namun berdasarkan NACE MR0175/ISO 15156-2:2003(E) pada bagian 7.3.3.1-*general* menjelaskan bahwa prosedur kualifikasi *pressure vessel* yang mengandung *fluida* didalamnya wajib menggunakan pengujian *hardness* [5]. Pada Pengujian ini menggunakan mesin *Vickers hardness tester* (Mitutoyo-HV) Serial No: C00231405. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kekerasan dari material maupun hasil pengelasan. Pengujian ini menggunakan *test method* ASTM E92: 2017. Dengan pembebanan 10 kgf. Posisi pengambilan *indentasi hardness* ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Lokasi *indentasi hardness* mengikuti NACE MR0175/ISO 15156-2:2003E, tabel A.1 [5]

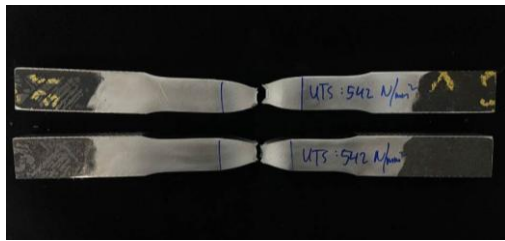
Posisi pengambilan lokasi *indentasi* 1,2,3,15,16 dan 17 pada *line* 1,2 dan 3 dilokasi *base metal*. Sedangkan lokasi *indentasi* 4,5,6,11,12 dan 13 pada *line* 1,2 dan 3 dilokasi *HAZ* (*heat affected zone*) dan lokasi pengambilan *indentasi* 8,9 dan 10 dilokasi *weld metal*. Lokasi pengambilan *indentasi* mengikuti NACE MR0175/ISO 15156-2:2023E [5].

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah pengujian *destructive test* dilakukan, maka didapatkan hasil dari pengujian yang akan dijelaskan sebagai berikut:

3.1. Hasil Pengujian *Tensile*

Hasil pengujian *tensile* dapat dilihat pada Gambar 11. Dari hasil pengujian *tensile*, maka diperoleh hasil kekuatan tarik (*tensile strength*) yang dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 11. Spesimen *tensile* yang telah diuji
 Dari hasil pengujian *tensile*, maka diperoleh hasil kekuatan tarik (*tensile strength*) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

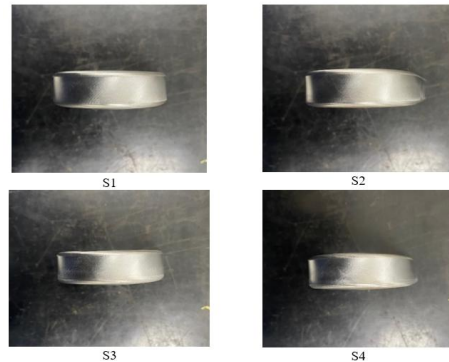
Tabel 1. Hasil Pengujian *Tensile*

Specimen Number	Tensile 1	Tensile 2
Measured Thickness	21.23 mm	21.43 mm
Measured Width	19.07 mm	19.09 mm
Effective Area	404.86 mm ²	409.10 mm ²
Ultimate Tensile Load	219.43 kN	221.73 kN
Ultimate Tensile Strength	542 N/mm ²	542 N/mm ²
Location of Failure	Broke at Weld Metal	Broke at Weld Metal
Type of Failure	Ductile Failure	Ductile Failure

Lokasi patahan dari kedua spesimen terlihat pada *area weld metal*. Untuk lokasi patahan dalam ASME BPVC Sec. IX-2021 pada QW-153 *acceptance criteria-tension test* jika lokasi patahan pada *weld metal* maka harus mencapai nilai *minimum* dari *tensile strength* yaitu 485 MPa [3]. Nilai dari hasil pengujian *tensile* 1 dan 2 diperoleh dengan hasil 542 MPa yang menunjukkan bahwa pengujian ini sesuai dengan persyaratan *minimum* atau *acceptance criteria* dalam tahapan pengujian *tensile*.

3.2. Hasil Pengujian Bend

Acceptance criteria pada pengujian *bend* mengikuti ASME BPVC Sec. IX-2021 pada QW-163 *acceptance criteria-bend* yang menjelaskan bahwa spesimen tidak boleh memiliki diskontinuitas terbuka pada *area weld* atau *heat affected zone* melebihi 3 mm. Dari hasil pengujian spesimen *bend* seperti yang terlihat pada gambar 12 dan informasi pada Tabel 2 bahwa spesimen *bend* tidak terdapat diskontinuitas terbuka dan dapat dinyatakan memenuhi persyaratan *acceptance criteria* berdasarkan ASME BPVC Sec. IX-2021 [3].



Gambar 12. Spesimen *bend* yang telah diuji: S1 (spesimen 1), S2 (spesimen 2), S3 (spesimen 3), S4 (spesimen 4)

Tabel 2. Hasil Pengujian *Specimen Bend*

Nomor Spesimen	Keterangan
Spesimen 1	No open discontinuity in the weld or heat affected zone was observed
Spesimen 2	No open discontinuity in the weld or heat affected zone was observed
Spesimen 3	No open discontinuity in the weld or heat affected zone was observed
Spesimen 4	No open discontinuity in the weld or heat affected zone was observed

3.3. Hasil Pengujian Charpy Impact



Gambar 13. Spesimen *charpy* yang telah diuji: a. lokasi *weld metal*, b. lokasi *heat affected zone*

Acceptance criteria pengujian *Charpy impact* seperti yang terlihat pada Gambar 13 mengikuti ASME BPVC Sec. VIII.1-2021 pada figure UG-84.1M yang menjelaskan untuk *acceptance criteria* dari *Charpy impact* dengan *single value* adalah 20 joule dan untuk *average* adalah 2/3 atau 13 joule dari nilai 3 spesimen [4]. Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwasannya nilai dari pengujian *Charpy impact* memenuhi persyaratan *acceptance criteria* sesuai dengan ASME BPVC Sec. VIII.1-2021 [4].

Tabel 3. Hasil Pengujian *Charpy Impact*

Testing temperature (°C) : -30		
Position	No. Spesimen	Impact value (J)
at weld metal	1	98
	2	82
	3	78
	average	86
at heat affected zone	1	60
	2	61
	3	47
	average	56

3.4 Hasil Pengujian *Hardness Vickers*

Tabel 4. Hasil Pengujian *Hardness Vickers*

Test location	No	Line 1	Line 2	Line 3
Base Metal	1	197	184	177
	2	180	193	187
	3	185	192	178
	4	180	194	182
Heat Affected Zone	5	208	187	190
	6	202	196	197
	7	181	-	198
	8	180	179	188
Weld Metal	9	185	164	185
	10	188	165	185
	11	204	203	187
	12	209	210	199
Heat Affected Zone	13	199	193	192
	14	217	-	200
	15	172	181	198
Base Metal	16	174	179	195
	17	176	174	184

Acceptance criteria pada pengujian *hardness Vickers* seperti yang terlihat pada Gambar 6 mengikuti NACE MR0175/ISO 15156-2:2023E tabel A.1 yang menjelaskan bahwa nilai tertinggi pada bagian *weld root* adalah 250 HV sedangkan nilai tertinggi pada bagian *weld cap* adalah 275 HV [5]. Dari hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian *hardness Vickers* menunjukkan bahwa pengujian ini memenuhi persyaratan *acceptable criteria* sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan dalam NACE MR0175/ISO 15156-2:2023E tabel A.1 [5] Hasil pengujian dari *hardness Vickers* dapat dilihat pada Tabel 4.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisa dan pembahasan pengujian *destructive* untuk kualifikasi pengelasan pada prosedur pengelasan *pressure vessel* dengan material SA 516 grade 70N pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Pengujian *tensile test* pada material SA 516 grade 70N menghasilkan nilai *tensile strength* 542 MPa pada kedua spesimen *tensile* yang menunjukkan bahwa material ini sudah sesuai dengan persyaratan *minimum* dari *tensile strength* yaitu 485 MPa.
2. Pengujian *bend test* dengan diameter *former* 40 mm menunjukkan bahwa spesimen tidak memiliki diskontinuitas terbuka pada *area weld* atau *heat affected zone*.
3. Hasil yang didapatkan dari pengujian *Charpy impact* pada *temperature* (-30°C) memiliki nilai *toughness* yang sesuai dengan *acceptance criteria*

dengan *single value* melebihi 20 joule dan untuk *average* melebihi 2/3 dari nilai 3 spesimen.

4. Hasil pengujian spesimen *hardness Vickers* uji tidak melewati nilai maksimal yang telah ditentukan dalam NACE MR0175/ISO 15156-2:2023E tabel A.1 sehingga hasilnya sudah sesuai dengan yang dipersyaratkan.

Hasil dari *destructive test* untuk kualifikasi pengelasan berdasarkan ASME BPVC Sec. IX-2021 sudah memenuhi persyaratan untuk kualifikasi pada prosedur pengelasan *pressure vessel*.

Daftar Rujukan

- [1] T. Cahyo Wahyudi, S. Dri Handono, H. A. Sanjaya, A. Basir, and S. Azis., 2021. Analisa pengaruh media pendingin dan arus listrik pada proses pengelasan titik (*spot welding*) *stainlees steel* terhadap nilai kekuatan Tarik. *Artikel Teknik Mesin dan Manufaktur*. Vol. 2 (2), hal. 94-99.
- [2] A. Rahmatika dkk., 2021. Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*. Vol 3 (1), hal. 24 – 30.
- [3] *Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators SECTION IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications ASME Boiler and Pressure Vessel Code an International Code.*
- [4] *SECTION VIII R ules for Construction of Pressure Vessels ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code.* [Online].
- [5] *NACE International.2001.Petroleum and Natural Gas Industries: Materials for use in H2S-containing Environments in Oil and Gas Production. NACE.*
- [6] *SECTION II Part a Ferrous Material Specifications (SA-451 to End) 2021 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code.*
- [7] *A. American and N. Standard, Designation: E23 – 18 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials 1, doi: 10.1520/E0023-18.*
- [8] A.F. Dhiyaulhaq. K., et al., 2022. Tinjauan Hasil Welding dan Proses *Non Destructive Test* pada Piping HRB – 333 di PT. Kaliraya Sari Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Seminar Sains dan Teknologi Kelautan*. Universitas Hasanuddin, Indonesia. 3 November 2022.
- [9] M.J. Abdulloh., B.H. Irawan., Mutiarani., 2023. Pengujian *NonDestructive Test* WPS untuk Product Tubular Lower Leg Jacket S420 G2+M Z35. *Industrial Research Workshop and National Seminar*. Politeknik Negeri Bandung, Indonesia. 25 – 26 Juli 2023.
- [10] A. Riyanto., A. R. Tatak., T. Ali., 2021. Analisa Pengujian *Destructive Test* pada Pengelasan Sambungan Pipa API X52 dengan Standar API-1104. *Seminar Rekayasa Teknologi*. Universitas Pancasila, Indonesia. 03 – 04 2021.