



## Pengujian Rusak Untuk *Procedure Qualification Record* Sambungan Kombinasi Las SMAW-FCAW Pada Material BS EN 10025 S355J2 Berdasarkan Standar AWS D1.1/D1.1M:2020

Gulam Fazlur Rahman<sup>1</sup>, Nugroho Pratomo Ariyanto<sup>2</sup>, Benny Haddli Irawan<sup>3\*</sup>

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

<sup>2</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

<sup>3\*</sup>benny@polibatam.ac.id

### Abstract

PQR Qualification (Procedure Qualification Record) is an important part of welding. To ensure that the welding procedures used meet the quality requirements of the welding fabrication project. The purpose of this study was to determine the quality of welding and material thickness resistance test coupon. One way to determine welding qualifications by means of this procedure is to use damage testing which is carried out on the material and welding until it is damaged and meets the set standards. This research will discuss PQR based on the AWS D1.1/D1.1M:2020 standard by requiring two tensile test specimens, two sets of Charpy V-notch (a set of three specimens), four side bend specimens and one macro specimen. The number and type of specimens are set in the AWS D1.1/D1.1M:2020 standard. Results of testing tensile obtained the difference in tensile strength between specimens 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> specimens. The value obtained for tensile strength are 508 MPa and 515 MPa with 7 MPa of differences, but these results still within the limits range of 470 to 630 MPa. Charpy impact testing obtained the results above required value of minimum 27 Joule. The surface bending test of the test specimen did not show any defect as well as in the macro testing. From the results of these tests, the quality of the welding and the thickness of the material can be determined.

Keywords: qualification PQR, destructive test, AWS standard, SMAW, FCAW welding

### Abstrak

Kualifikasi PQR (*Procedure Qualification Record*) merupakan bagian penting dalam pengelasan. Karena memastikan bahwa prosedur pengelasan yang digunakan memenuhi persyaratan kualitas pada proyek fabrikasi pengelasan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas pengelasan dan ketahanan ketebalan material pada *test coupon*. Salah satu cara menentukan kualifikasi pengelasan dengan cara prosedur ini menggunakan pengujian rusak yang dilakukan terhadap material dan pengelasan hingga mengalami kerusakan dan memenuhi standar yang ditetapkan. Penelitian ini akan membahas PQR berdasarkan standar AWS D1.1/D1.1M:2020 dengan membutuhkan dua spesimen *tensile test*, dua set spesimen *Charpy V-notch* (satu set terdiri dari tiga spesimen), empat spesimen *side bend* dan satu spesimen *macro*. Jumlah dan tipe spesimen sudah diatur dalam standar AWS D1.1/D1.1M:2020. Hasil dari pengujian *tensile* didapatkan perbedaan kekuatan tarik antara spesimen 1 dan 2, diketahui nilai *tensile strength* yaitu sebesar 508 MPa dan 515 MPa dengan selisih 7 MPa tetapi hasil ini masih dalam batas *range* yang dipersyaratkan 470 sampai 630 MPa. Pengujian *Charpy impact* mendapatkan hasil di atas nilai yang dipersyaratkan yaitu minimum 27 Joule. Pengujian *bend* permukaan spesimen uji tidak menunjukkan adanya *opening defect* hal ini juga ditunjukkan pada pengujian *macro*. Dari hasil pengujian ini bisa kita mengetahui kualitas pengelasan dan ketahanan ketebalan material.

Kata kunci: Kualifikasi PQR, Pengujian Rusak, Standar AWS, Las SMAW, FCAW

### 1. Pendahuluan

Perkembangan zaman yang semakin meningkat membutuhkan proyek fabrikasi pengelasan untuk menunjang proses penambangan minyak dan gas alam di *offshore* dan *onshore*. Hal ini juga harus diimbangi dengan prosedur yang baik dan terjamin di dalam nya

seperti kualifikasi pengelasan. Untuk mengetahui kualitas pengelasan dan material yang ada dibagian fabrikasi pengelasan dibutuhkan proses pengujian rusak. Pengujian rusak adalah pengujian yang dilakukan terhadap suatu material yang akan diujikan sampai material tersebut mengalami kerusakan hingga patah [9]. Latar belakang pengujian ini untuk

mengetahui material yang diuji apakah layak digunakan untuk *structure* di *offshore* dan material yang dipakai tahan dengan berbagai macam kondisi dengan menggunakan *thickness* 60mm [1].

Pengujian rusak memungkinkan untuk memverifikasi kualitas dan memastikan bahwa benda atau material memenuhi standar yang ditetapkan. Untuk kualifikasi WPS (*Welding Procedure Specification*) diperlukan PQR (*Procedure Qualification Record*) yang diuji secara *mechanical*. Untuk kualifikasi PQR dibutuhkan pengujian rusak yang dilakukan pada material seperti uji tarik, uji ketangguhan dan uji lengkung dan keuletan. Jumlah dan tipe spesimen sudah diatur dalam standar AWS D1.1/D1.1M:2020 dari hasil pengujian untuk mengetahui *acceptance criteria* dengan standar digunakan sebagai acuan kualifikasi PQR [2]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas pengelasan dan ketahanan ketebalan pada *test coupon*.

## 2. Metode Penelitian

Metodologi yang dilakukan pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pengujian

Diagram alir digunakan sebagai acuan pada proses pengujian untuk menentukan spesifikasi pengelasan, menyiapkan sampel, pengujian spesimen dari *tensile test*, *charpy impact test*, *bend test*, *macro* hingga proses pengumpulan data dan analisa kesimpulan.

### 2.1. Menentukan Spesifikasi Pengelasan

Dilakukan spesifikasi pengelasan terlebih dahulu supaya untuk mengurangi kegagalan dalam proses

pengelasan. Tabel 1 menjelaskan mengenai spesifikasi pengelasan :

Material	BS EN10025 S355J2
<i>Thickness</i>	60mm
<i>Welding Process</i>	SMAW-FCAW
<i>Position</i>	1G
<i>Joint Design</i>	Single Bevel Butt Joint

Tabel 1 menjelaskan material BS EN 10025 S355J2 merupakan baja karbon rendah yang mengandung karbon 0,24% [3]. Baja karbon rendah mempunyai keuletan dan ketangguhan yang tinggi, *thickness* 60mm dan *process* pengelasannya SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) *root* dan FCAW (*Flux Core Arc Welding*) *caping*. Posisi mengelas mempermudah *welde* 1G untuk material datar dan material di lapangan, *joint design single bevel butt joint* karena plat karbon rendah.

### 2.2. Menyiapkan Sample

Untuk lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 2.

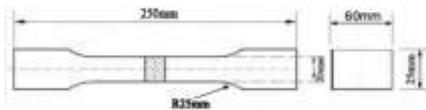


Gambar 2. Lokasi pengambilan spesimen [2]

Setelah dilakukan *sectioning* pada *test coupon*, proses selanjutnya di *machining*. Hasil dari *machining* terdiri dari beberapa bagian spesimen yaitu: dua spesimen *tensile test*, dua set spesimen *charpy* (satu set tiga pcs), empat spesimen *side bend* dan satu spesimen *macro*. Jumlah dan tipe spesimen sudah diatur dalam standar AWS D1.1/D1.1M:2020 pada klausa 6 *table* 6.2. Tahapan dari menyiapkan sampel material hingga menjadi spesimen uji yaitu melakukan proses *marking* pada *test coupon* yang menjadi spesimen. Kemudian melakukan proses pemotongan pada *test coupon* menggunakan mesin gergaji potong *brand bend shaw*. Selanjutnya membuang *face weld* dan *root weld* pada *test coupon* menggunakan mesin gerinda tangan sehingga ukurannya sama dengan *base metal*, untuk spesimen *tensile* dan *side bend*.

a) Untuk spesimen *tensile* dilakukan pembuatan *gauge length* (gagang pada bagian spesimen

tensile dengan panjang tertentu dan radius (sudut pada ujung *gauge length*) menggunakan mesin *milling*. Untuk penjelasan dimensi spesimen *tensile* untuk *test coupon* dan referensi dari perusahaan tersebut pada Gambar 3 sebagai berikut:



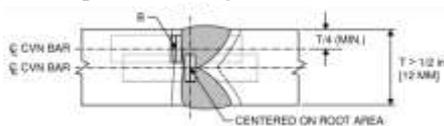
Gambar 3. Dimensi spesimen *tensile*

- b) Untuk spesimen *charpy v-notch* dilakukan proses pemotongan dengan menggunakan mesin potong sehingga spesimen tersebut sesuai dengan standar *charpy v-notch* yang telah diatur dalam AWS D1.1/D1.1M:2020 pada klausa 6 dan dimensi spesimen *charpy v-notch* mengacu pada standar ASTM E23-2018 dijelaskan pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Dimensi spesimen CVN [4]

- c) Pengambilan lokasi spesimen *charpy v-notch* dijelaskan Gambar 5 menunjukan lokasi spesimen *double bevel* untuk mengconvert *single bevel* karena di dalam standar AWS D1.1/D1.1M:2020 tidak terdapat lokasi *single bevel*.



Gambar 5. Lokasi pengambilan spesimen

- d) Untuk spesimen *side bend* dilakukan proses penghalusan permukaan *face weld* dan *root weld*, menggunakan mesin gerinda tangan dan sebaiknya dibuat lebar supaya terlihat jelas dilakukan uji *bend test*. Untuk penjelasan dimensi *side bend* terdapat Gambar 6 dan referensi perusahaan.



Gambar 6. Dimensi spesimen *side bend*

- e) Untuk spesimen *macro* dilakukan pemotongan tapi tidak melakukan penghalusan permukaan *face weld* dan *root weld*. Pemotongan tersebut mengikuti *thickness* 60mm pada material dan pemotongan tersebut hanya mengurangi *base*

*metal* agar mudah dilakukan uji *macro*. Melakukan pengukuran ulang dengan menggunakan *caliper* sudah sesuai apa tidak dimensi yang telah dipotong, selanjutnya spesimen tersebut bisa dilakukan pengujian rusak.

### 2.3. Pengujian Spesimen

Pengujian Spesimen dilakukan melalui empat jenis tahapan pengujian rusak yaitu, pengujian *tensile test*, pengujian *charpy impact test*, pengujian *bend test* dan pengujian *macro examination* [10].

#### 1. Pengujian *Tensile Test*



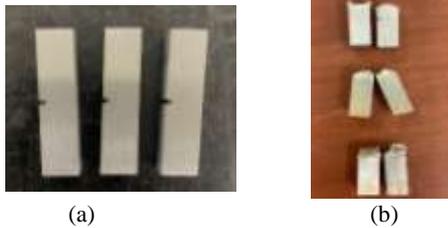
Gambar 7. (a) Sebelum Spesimen *Tensile* diuji (b) Setelah Spesimen *Tensile* diuji

Pengujian dilakukan untuk menentukan *ultimate strength* dari sambungan pengelasan tipe *groove* pada *test coupon* [8]. Gambar 7 menunjukkan spesimen *tensile test* yang telah *dimachining* dan diuji sesuai *test method* ASTM E8/E8M:2021 [5]. Ukuran dimensi aktual *thickness* 60mm, radius 25mm, *length* 250mm, *width* dalam 20mm dan *width* luar 25mm. Proses pengujian *transverse weld tensile* dilakukan dengan cara spesimen *tensile* ditarik dengan menggunakan mesin *tensile Universal Testing Machine* 100kN dan kecepatan tarik 25mm/min. Prosedur yang dilakukan pengujian *tensile test* sebagai berikut:

1. Melakukan pengukuran ulang pada spesimen *tensile*.
2. Mengatur ulang perangkat lunak pada mesin uji yang akan digunakan .
3. Memasukan data dokumen yang meliputi nama perusahaan, jenis material dan bentuk material.
4. Metode pengujian yang digunakan hingga ukuran spesimen *tensile* sebelum dilakukan uji tarik dan memasang *jig* (pencekam) sesuai dengan bentuk spesimen *tensile*.
5. Pemasangan spesimen *tensile* ke *jig* dan melakukan kalibrasi perangkat lunak pada mesin uji dengan mengatur ulang *load* (beban) menjadi "0".
6. Kemudian klik *run* (jalan) pada menu perangkat lunak pada mesin uji.
7. Setelah pengujian selesai spesimen yang telah ditarik dilakukan pengecekan patahan pada specimen.
8. Kemudian pengukuran kembali untuk mengetahui perbedaan spesimen setelah diuji tarik dan masukan data keperangkat lunak pada mesin uji.

9. Kemudian data dicetak untuk sebagai dokumen hasil pengujian *tensile* tersebut.

## 2. Pengujian Charpy Impact Test



Gambar 8. Spesimen Charpy V-Notch (a) sebelum diuji, (b) setelah diuji

Pengujian ini untuk menentukan nilai dari *impact strength* atau *notch toughness* dari spesimen hasil pengelasan [7]. Gambar 8 menunjukkan spesimen *charpy v-notch* yang sudah *disurface grinding* dengan *brand yamara*. Untuk dimensi aktual *thickness* 10mm, *width* 10mm, *length* 55mm dan ketebalan striker pedulum 8mm *test method* ASTM E23-2018. Ada dua spesimen *charpy v-notch* yang akan diuji yaitu :

- Spesimen *charpy v-notch (weld metal)* merupakan bagian logam yang mencair saat proses pengelasan, tujuan pengambilan spesimen di lokasi *weld metal* ingin mengetahui kekerasan dari hasil pengelasan.
- Spesimen *charpy v-notch HAZ (Head Affected Zone)* merupakan bagian *base metal* yang terkena pada saat proses pengelasan terjadi. Penyebab pengambilan spesimen di lokasi *HAZ* yaitu mengevaluasi ketangguhan *impact* dan ketahanan retak material di *area* spesifik dipengaruhi pengelasan. Prosedur yang dilakukan pengujian *charpy impact test* yaitu :
  - Melakukan pengukuran pada spesimen *charpy v-notch*
  - Melakukan *conditioning temperature* dengan cara letakan ke dalam *temperature box*
  - Masukan cairan *acetone* dan gas  $\text{CO}_2$  ke dalam *temperature box* dan mengatur *temperature charpy v-notch*  $-20^\circ\text{C}$  sesuai *Cient request* dan membantu menilai ketahanan material terhadap beban yang di terima dalam kondisi apapun.
  - Setelah mencapai suhu  $-20^\circ\text{C}$  dilakukan *holding* selama 5menit dan posisi pengujian *charpy v-notch* dengan posisi *vertical* yang membelakangi pendulum
  - Setelah 5 menit dilakukan proses pengujian *charpy impact test* hingga spesimen patah dan jenis mesin *impact test brand* DMG (*Dension Mayes Group*), jenis proyektor *v-notch brand* mitutoyo.

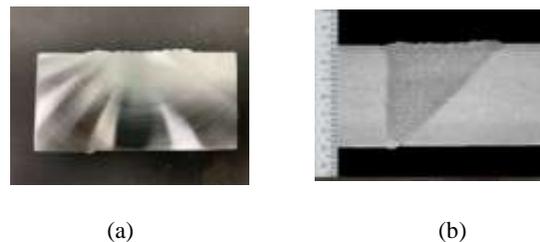
## 3. Pengujian Bend Test



Gambar 9. Spesimen Side Bend (a) sebelum diuji, (b) setelah diuji

Pengujian ini untuk menentukan derajat kemulusan (*soundness*) adalah kondisi spesimen bebas *imperfection (discontinuities and defects)* dan kelenturan (*ductility*) dari sambungan pengelasan tipe *groove*. Gambar 9 menunjukkan spesimen *side bend* yang sudah digerinda tangan dengan dimensi aktual *thickness* 10mm, *width* 60mm, *length* 220mm dan *former* 38.1mm dalam standar AWS D1.1/D1.1M:2020, uji lengkung hingga  $180^\circ$  dan jenis mesin *bend test three point*. Prosedur pertama yang dilakukan pengujian *bend test*: melakukan pengukuran pada spesimen *side bend*, kemudian melakukan pemilihan *former*, meletakan spesimen *side bend* diatas *roller jig*. Selanjutnya melakukan proses pengujian *bend test* sampai spesimen melengkung  $180^\circ$ . Setelah melakukan uji spesimen *side bend* kemudian bisa kita lihat secara *visual* apabila terdapat yang *open* pada bagian spesimen dan pengukuran kembali pada bagian yang terdapat *open*.

## 4. Pengujian Maco Examination



Gambar 10. Spesimen Maco Examination (a) sebelum diuji, (b) setelah diuji

Pengujian ini bersifat kualitatif untuk mengetahui hasil pengelasan. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengamati *area* secara *visual* kemudian dikatakan berhasil jika tidak terdapat *area* cacat las yang disebabkan oleh pengelasan. Gambar 10 menunjukkan spesimen *macro* yang telah *dimachining* sesuai standar ASTM E340 [6] dan dimensi aktual *thickness* 60mm. Pematangan tersebut hanya mengurangi *base metal* agar mempermudah uji *macro*. Tahapan selanjutnya *polishing* dengan menggunakan kertas amplas *grade* 80 hingga 1200 dan *etching* spesimen *macro* menggunakan larutan kimia dengan komposisi volume 1:4 yaitu, larutan  $\text{HNO}_3$  (1) dan Methanol (4).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, berikut adalah hasil yang diperoleh dan penjelasannya.

#### 3.1. Hasil Pengujian *Tensile Test*

Setelah pengujian pada kedua spesimen, maka diperoleh hasil kekuatan tarik yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Tensile Strength*

Spesimen No.	<i>Tensile Strength</i>
Spesimen 1	508 MPa
Spesimen 2	515 MPa

Lokasi patahan dari kedua spesimen terdapat di *area base metal*. Untuk lokasi patahan ini tidak termasuk dalam *acceptance criteria* dari uji tarik karena yang termasuk ke dalam *acceptance criteria* di AWS D1.1/D1.1M:2020 klausa 6.10.3.5 adalah hasil kekuatan tarik dari spesimen tidak boleh kurang dari nilai *minimum material grade*, jika lokasi patahan berada di *weld metal* maka nilai *minimum tensile strength* mencapai 100% nilai *minimum material grade*. Jika lokasi patahan berada di *area base metal* maka nilai kekuatan yang diperoleh mencapai 95% dari nilai *minimum material grade*. Pada pengujian ini didapatkan nilai pada spesimen satu yaitu 508 MPa dan spesimen dua yaitu 515 MPa. Hasil pengujian memperoleh lebih besar dari nilai *minimum material grade* yaitu 470 MPa sehingga perbedaan kekuatan tarik antara spesimen 1 dan 2 memiliki selisih 7 MPa dan melebihi *minimum* rentang tarikan dari material yang digunakan. Perbedaan hasil pengujian pada spesimen 1 dan 2 masih dalam rentang yang wajar mengingat pada saat proses pengelasan berlangsung sulit untuk menjaga penyebaran panas agar merata keseluruhan bagian. Berdasarkan hasil yang diperoleh maka lokasi patahan yang terletak pada *weld metal* atau *base metal* tidak akan mempengaruhi dari *acceptance criteria* tersebut

#### 3.2. Hasil Pengujian *Charpy Impact Test*

Setelah pengujian dua *set* spesimen *charpy v-notch*, maka diperoleh hasil ketangguhan pada Tabel 3. a dan b.

Tabel 3. a. Hasil Pengujian *Charpy Impact Test* pada *Weld Metal* dan *Head Affected Zone (HAZ)*

<i>Temperature -20°C</i>		
<i>V-Notch Position</i>	<i>Specimen No.</i>	<i>Impact Value (Joule)</i>
<i>Weld Metal</i>	1	88
	2	95
	3	105
<i>Average</i>	96	

Tabel 3. b. Hasil Pengujian *Charpy Impact Test* *Head Affected Zone (HAZ)*

<i>Temperature -20°C</i>		
<i>V-Notch Position</i>	<i>Specimen No.</i>	<i>Impact Value (Joule)</i>
<i>HAZ</i>	1	85
	2	90
	3	94
<i>Average</i>	90	

Berdasarkan standar AWS D1/D1.1M:2020 pada klausa 6.27.7, *acceptance criteria charpy v-notch test* ditentukan langsung oleh *welding engineer*. Selain itu pada klausa 4.3.2 tugas seorang *engineer* pada saat *charpy v-notch test* yaitu menentukan lokasi *v-notch* dari *charpy* dan *test temperature* pengujian *charpy impact test*. Untuk nilai *minimum* pengujian *charpy impact 27 Joule*, sedangkan yang dapat diperoleh dari nilai pengujian *charpy impact test* yaitu bagian spesimen *weld metal* 88,95,105, *average 96 Joule* dan bagian spesimen *haz* 85,90,94, *average 90 Joule*, sudah melebihi dari nilai *minimum material grade*. Maka dinyatakan *acceptance criteria* apabila sudah melebihi dari 27 Joule.

#### 3.3. Hasil Pengujian *Bend Test*

Setelah pengujian empat spesimen *bend test*, maka diperoleh hasil keuletan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Bend Test*

<i>Specimen No.</i>	<i>Type of Bend</i>	<i>Result</i>
Spesimen 1	<i>Side Bend</i>	<i>No open defect was observed</i>
Spesimen 2	<i>Side Bend</i>	<i>No open defect was observed</i>
Spesimen 3	<i>Side Bend</i>	<i>No open defect was observed</i>
Spesimen 4	<i>Side Bend</i>	<i>No open defect was observed</i>

Pada pengujian *bend test* yang dilakukan empat spesimen *side bend* bisa dilihat bahwa sambungan pengelasan mengalami fusi dengan baik dan tidak terdapat indikasi *crack* atau *porosity* pada permukaan atau sudut dari spesimen. Dilihat dari hasil yang diperoleh dari empat spesimen menunjukkan bahwa spesimen *side bend* sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan dan memenuhi *acceptance criteria* AWS D1.1M:2020.

#### 3.4 Hasil Pengujian *Macro Examination*

Setelah pengujian *macro examination*, maka diperoleh hasil secara *visual* pada Tabel 5. Pada pengujian *macro examination* yang dilakukan pada spesimen dilihat bahwa spesimen tidak mengalami *welding defect* dan permukaan spesimen *macro* dalam kondisi baik dan tidak terdapat indikasi *crack* atau *porosity* pada permukaan *macro* atau *cap* hingga *root*. Untuk *acceptance criteria macro examination 6.23.32.2 macro etch test acceptance criteria* pada AWS D1.1/D1.1M:2020 dilihat dari hasil yang diperoleh spesimen *macro* menunjukkan bahwa spesimen *macro* sesuai dengan persyaratan yang telah dan memenuhi *acceptance criteria* AWS D1.1/D1.1M:2020.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Macro Examination*

<i>Spesimen</i>	<i>Thickness</i>	<i>Result</i>
<i>Macro</i>	60mm	<i>Complete root penetration and freedom from weld defects</i>



#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan penelitian mengenai pengujian dengan cara merusak (*destructive test*) untuk kualifikasi prosedur pengelasan, dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Pengujian *tensile test* pada material BS EN 10025 S355J2 menghasilkan nilai *ultimate strength* 508 MPa dan 515 MPa menunjukkan bahwa material ini sudah sesuai dengan *range* persyaratan *minimum* yaitu 470 MPa.
2. Pengujian *charpy impact test* yang didapatkan dari *charpy v-notch* pada *temperature* (-20<sup>0</sup>C) memiliki nilai ketangguhan yang sudah sesuai dan melebihi nilai *minimum* pada material *grade* yaitu 27 Joule.
3. Pengujian *bend test* dengan former 38.1 mm menunjukkan bahwa spesimen tidak terdapat indikasi *crack* pada permukaan atau sudut dari spesimen.
4. Pengujian *macro examination*, spesimen uji tidak ditemukan *defect* sehingga hasilnya sudah sesuai dengan yang dipersyaratkan.

Hasil dari pengujian rusak atau destruktif ini berdasarkan AWS D1.1/D1.1M:2020 sudah memenuhi dan mengetahui kualitas pengelasan. Adapun untuk mengetahui ketahanan ketebalan material maka dilakukan uji *charpy impact test* dan uji *bend test* pada *test coupon*.

#### Daftar Rujukan

- [1] Ayomi, G., Marsela, D. P., Purwantoro, R., Merta, I. M. P.

W., 2022. Analisis Pengendalian Kualitas Fabrikasi *Pressure Vessel* menggunakan Mesin Las *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) di PT XYZ. Jawa Timur, Indonesia 2022. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

- [2] An American National Standard., 2020., *Structural Welding Code – Steel. 24th Edition. AWS D1.1/D1.1M. 2020.* American Welding Society.
- [3] BSI Standards Publication., 2019. *Hot rolled products of structural steels, (Table 3 - Chemical composition of the product analysis).* BS EN 10025-2. 2019. Brussels.
- [4] ASTM International., 2018. *Standard test method for notched bar impact testing of metallic materials.* Designation: E23. United States.
- [5] ASTM International., 2021. *Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials.* Designation: E8/E8M. United States.
- [6] ASTM International., 2015. *Standar Practice for Macroetching Metals and Alloys.* Designation: E340:2015. United States
- [7] ASTM International., 2018. *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials<sup>1</sup>.* Designation: E23 – 18. United States
- [8] Dhiyaulhaq, A. F., 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*, 6 (1), pp.100-104.
- [9] Abdulloh, M. J., Irawan, B. H., Mutiarani., 2023. Pengujian *Non Destructive Test* WPS untuk *Product Tubular Lower Leg Jacket S420 G2+M Z35.* *Industrial Research Workshop and National Seminar*, 14(1), pp.88-95.
- [10] Riyanto, A., Tatak, A. R., & Ali, T., 2021. Analisa Pengujian *Destructive Test* pada Pengelasan Sambungan Pipa API X52 dengan Standar API-1104. *Prosiding Seminar Rekayasa Teknologi (SemResTek) 2021.* Universitas Pancasila, Indonesia.