

## Pengujian Mekanik Material S355J2 Pengelasan SAW Dengan Standar DNVGL-OS-C401 2019

Aulia Fajrin<sup>1\*</sup>, Muhammad Rafa S<sup>2</sup>, Hendra Butar Butar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam, Batam 29461, Indonesia  
\*auliafajrin@polibatam.ac.id

**Abstract:** Mechanical testing is a test conducted to determine the quality of the material using destructive methods, namely by damaging the material. The material used uses the BS EN ISO 10025-2: 2004 S355J2 standard with the type of material, namely carbon steel. The required tests include tensile testing, impact testing, bending testing, macro examination testing and hardness testing with the Vickers hardness scale (HV10) with 10 Kgf loading. The results of tensile testing showed a difference in strength between specimens 1 and 2 with a difference of 5 N/mm<sup>2</sup>, but these results are still within the required range. Specimens 1 and 2 are part of the test coupon cut with different cutting locations on the test coupon. In the charpy impact V-notch test, the results were obtained above the required value of a minimum of 27 J. In the bending test, the surface of the test specimen did not show any opening defects. The hardness test results show the hardness value in the base metal, HAZ, and weld metal areas with a hardness value in the base metal of 192 HV, a hardness value in the HAZ of 194 HV, and a hardness value in the weld metal of 209 HV. The difference in hardness value is due to the rapid heating and cooling process of the welding process, thus affecting the material properties. The purpose of this research is to fulfill the requirements for making WPS (welding procedure qualification) based on the DNVGL-OS-C401: 2019 specification.

**Keywords:** material type, testing procedure, mechanical testing

**Abstrak:** Pengujian mekanik merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas dari material dengan menggunakan metode destruktif yaitu dengan merusak material. Material yang digunakan menggunakan standar BS EN ISO 10025-2:2004 S355J2 dengan jenis material yaitu baja karbon. Pengujian yang disyaratkan meliputi pengujian tarik, pengujian *impact*, pengujian *bending*, pengujian *macro examination* dan pengujian kekerasan dengan skala *hardness vickers* (HV10) dengan pembebanan 10 Kgf. Hasil dari pengujian tarik didapatkan perbedaan kekuatan antara spesimen 1 dan 2 dengan selisih 5 N/mm<sup>2</sup>, akan tetapi hasil ini masih dalam rentang yang dipersyaratkan. Spesimen 1 dan 2 merupakan bagian dari test coupon yang dipotong dengan lokasi pemotongan yang berbeda pada test couponnya. Pada pengujian *charpy impact* V-notch didapatkan hasil di atas nilai yang dipersyaratkan yaitu minimum 27 J. Pada pengujian *bending* didapatkan permukaan spesimen uji tidak menunjukkan adanya *opening defect*. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan pada area *base metal*, HAZ, dan *weld metal* dengan nilai kekerasan pada *base metal* sebesar 192 HV, nilai kekerasan pada HAZ sebesar 194 HV, dan nilai kekerasan pada *weld metal* sebesar 209 HV. Perbedaan nilai kekerasan ini diakibatkan proses pemanasan dan pendinginan yang cepat dari proses pengelasan, sehingga mempengaruhi sifat material tersebut. Tujuan penelitian ini adalah memenuhi persyaratan pembuatan WPS (*Welding Procedure Qualification*) berdasarkan spesifikasi DNVGL-OS-C401: 2019.

**Kata kunci:** jenis material, prosedur pengujian, pengujian mekanik

### I. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan permintaan produk manufaktur untuk menunjang proses penambangan minyak bumi maupun gas alam di offshore dan onshore, maka dilakukan pengujian mekanik untuk mengetahui ketahanan material. Pengujian mekanik merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas dari material yang diuji dengan menggunakan metode destruktif yaitu merusak material [1]. Berbagai teknik NDT (*Non-Destructive Test*) digunakan dalam industri untuk mendeteksi cacat aplikasi deteksi. Setiap teknik NDT memanfaatkan properti yang berbeda [2].

Pengujian mekanik pada produk manufaktur seperti hasil pengelasan membutuhkan standar yang dapat dijadikan acuan, salah satunya adalah standar DNVGL OS-C4019 2019. Standar ini juga dapat dijadikan acuan untuk pembuatan *Welding Procedure Specification* (WPS).

DNVGL-OS-C401 2019 adalah standar yang dibuat sebagai acuan persyaratan minimum untuk fabrikasi pembuatan unit lepas pantai (offshore), instalasi dan peralatan dengan pengelasan,

termasuk persyaratan untuk pengujian mekanik dan sistem korosi [3]. Welding Procedure Specification (WPS) adalah dokumen tertulis yang berisi parameter pengelasan dan disusun sebagai acuan welder. Dokumen ini dibuat sebelum pengelasan dilakukan. Pembuatan WPS dan pengujian mekanik dilakukan dengan mengacu kepada standard DNVGL OS-C401 2019 [4].

Umumnya, WPS dibuat oleh perusahaan galangan kapal saat mendapatkan proyek, misalnya pembuatan tangki kilang minyak. WPS tersebut belum terqualifikasi maka harus dilakukan kualifikasi menggunakan Procedure Qualification Record (PQR). Kualifikasi WPS membutuhkan material atau test coupon yang dibuat mengikuti parameter yang tercantum pada WPS. Test coupon tersebut diuji secara mekanik dengan metode dan jumlah spesimen sesuai standar DNVGL OS-C401 2019.

Pengelasan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengelasan SAW (*Submerged Arc Welding*), dimana pengelasan dilakukan dengan memanaskan benda kerja dan logam pengisi atau elektroda dengan busur listrik yang ada diantara logam induk dan elektroda (logam pengisi) [5]. Pengelasan SAW menggunakan fluks berbentuk pasir yang bertujuan untuk melindungi logam pengisi yang mencair saat proses pengelasan agar tidak terkontaminasi udara luar dan menghasilkan hasil pengelasan yang baik. *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Weld Metal* (WM) adalah bagian dari pengelasan dan menunjukkan sifat dari sambungan las dan konstruksi yang dilas. WM dihasilkan dari reaksi kimia dan fisika elektroda las, logam dasar, fluks, dan paduan elemen dari reaksi tersebut. Struktur mikro dan sifat mekanik HAZ dipengaruhi oleh temperatur pengelasan yang digunakan dan siklus termal yang terjadi [6].

## II. METODE PENELITIAN

### A. Pengelasan SAW (*Submerged Arc Welding*)

Pada pengelasan SAW, dua materi yang digunakan adalah pasir flux dan elektroda. Elektroda berfungsi untuk mengisi bagian yang ingin dilas dan diumpukan secara terus menerus (*electrode wire*) pada benda kerja selama proses las berlangsung. Sedangkan pasir flux berfungsi untuk melindungi busur dan logam yang mencair dari kontaminasi udara. Flux ini mengandung *deoxidizer* dan *scavengers* yang membantu untuk menghilangkan kotoran dari logam yang mencair. Komposisi dari *electrode wire* pada pengelasan SAW ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia SAW Wire Electrode [7]

Unsur (wt.%)					
SAW Electrode Wire	C	Mn	Si	P	S
	0,100	1,010	0,080	0,013	0,012
	Ni	Cr	Mo	Pb	Fe
	0,030	0,050	0,010	0,012	Bal.

Kampuh las yang digunakan adalah kampuh V dengan urutan pengelasan mulai dari akar (*root*), pengisian (*filler*), dan penutup (*capping*). Kampuh las digunakan bertujuan untuk mendapatkan penetrasi atau penembusan yang dalam dari hasil pengelasan. Posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi 1G (posisi pengelasan datar) untuk *groove weld plate*.

### B. Lokasi pemotongan sampel uji dan preparasi sampel berdasarkan DNVGL OS-C401-2019

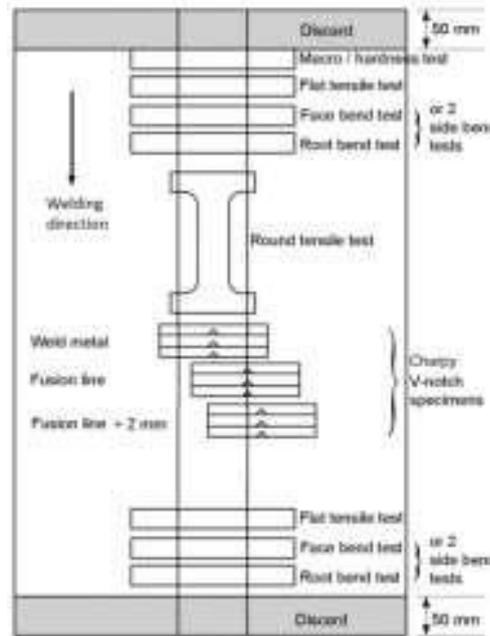
Material yang digunakan untuk pengujian adalah *Carbon Steel S355J2*. Material ini termasuk dalam baja *low carbon* dengan unsur karbon sebesar 0,15% dan kandungan mangan sebesar 1,46% sesuai dengan tabel berikut.

Tabel 2. Komposisi Kimia Carbon Steel S355J2 [7]

Unsur (wt.%)					
--------------	--	--	--	--	--

S355J2	C	Mn	Si	P	S
	0,150	1,460	0,340	0,022	0,009
	Ni	Cr	Mo	Pb	Fe
	0,030	0,050	0,006	0,010	bal.

Spesimen pengujian berupa *test coupon* yang dipotong dan dibentuk sesuai lokasi yang ditunjukkan pada gambar 1.



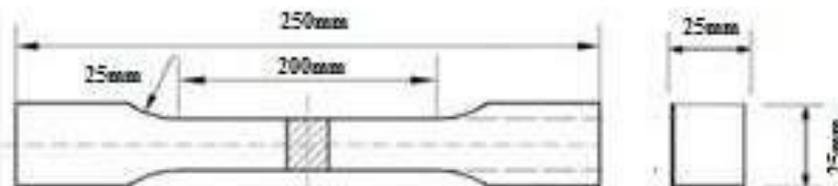
Gambar 1. Lokasi Pemotongan Spesimen Pengujian pada *Test Coupon*

**C. Pengujian material**

• *Tensile test*

*Tensile test* merupakan metode pengujian destruktif untuk mengetahui nilai kekuatan material dengan memberi gaya yang berlawanan arah hingga material patah [8]. Pengujian ini menggunakan mesin tensile: Universal Testing Machine- Gotech 1000 kN. Formula dari pengujian ini sesuai dengan ASTM E8, yaitu sebagai berikut:

$$UTS \text{ (Ultimate Tensile Strength)} = \frac{F \text{ (Load) kN}}{A \text{ (Cross Section Area) mm}^2} \quad [9]$$



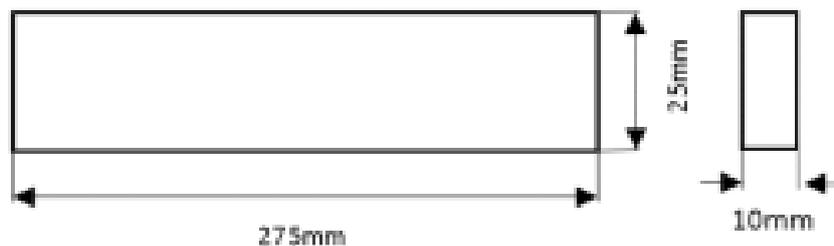
Gambar 2: Dimensi Spesimen *Tensile Test*



Gambar 3: Spesimen *Tensile Test*

- ***Bend test***

*Bend test* atau uji tekuk adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui *discontinuity* material saat ditekuk. Spesimen uji ditekan menggunakan mesin *bend* dengan *former* berdiameter 4 x ketebalan spesimen uji sampai melengkung 180°. Pengujian ini menggunakan Press/Bend Machine. Jenis pengujian ini adalah *side bend 3 point*. Spesimen *bend test* ditunjukkan pada gambar 5.



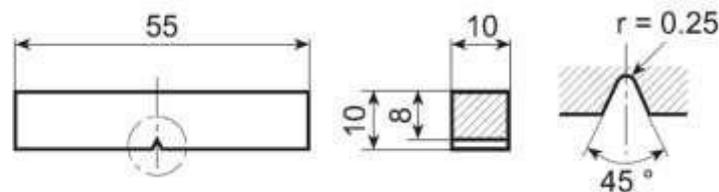
Gambar 4: Dimensi Spesimen *Bend Test*



Gambar 5: Spesimen *Bend Test*

- ***Charpy impact test***

*Charpy impact test* dilakukan dengan memberikan beban kejut pada spesimen uji, dimana beban yang diberikan saat pengujian memanfaatkan energi potensial dari ayunan pendulum. Pengujian ini menggunakan Impact Testing Machine Ratnakar Enterprise-R1300). *Striker* yang digunakan berdasarkan standar DNVGL OS-C401 2019. Ketebalan *striker* pendulum yaitu 8 mm sesuai dengan ASTM E23 untuk prosedur pengujian *charpy impact test* [10]. Beban kejut yang diberikan oleh *striker* kemudian diterima oleh spesimen. Beban yang diterima kemudian dikonversi dalam *joule* oleh *charpy impact test machine*. Dimensi dan penampakan *specimen charpy impact test* ditunjukkan pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6: Dimensi Spesimen Charpy V-Notch



Gambar 7: Spesimen Charpy V-Notch

- **Macro examination**

*Macro examination* adalah jenis pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kualitas hasil pengelasan dengan mengamati area pengelasan secara visual dengan memberi larutan etsa berupa *nital etch*. Hasil dinyatakan *accepted* apabila tidak terdapat *defect* setelah pengelasan. *Defect* yang sering terjadi pada pengelasan diantaranya *crack* yaitu retak yang terjadi pada area *welding*, *porosity* adalah udara atau gas yang terperangkap area *welding* dan *slag inclusion* adalah cacat yang berupa *flux* yang mencair saat proses pengelasan. Spesimen untuk *macro examination* ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8: Spesimen Macro Examination

- **Hardness Test**

*Hardness test machine* yang digunakan pada pengujian ini yaitu Vickers Microhardness tester 10kg/f Mitutoyo dengan pembebanan 10 Kgf. Indentor yang digunakan berupa kerucut intan yang menekan spesimen uji dan memberikan jejak indentor diagonal. Jejak Indentor kemudian diukur pada setiap ujung diagonal 1 dan diagonal 2 pada bekas indentasi uji vickers, sehingga akan didapatkan nilai kekerasan suatu material. Spesimen untuk *hardness Vickers* ditunjukkan pada gambar 9. Formula dari pengujian *hardness vickers* sesuai dengan ASTM E92 adalah sebagai berikut.

$$HV \text{ (Hardness Vickers)} = 1.8544 \frac{\text{Force (kgF)}}{\Delta d \text{ (mm}^2\text{)}} \quad [11]$$

Gambar 9: Spesimen *Hardness Vickers Test*

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil pengujian tensile test

Berikut ini merupakan spesimen setelah *tensile test* yang ditunjukkan pada gambar 10.

Gambar 10: Spesimen *Tensile Test*

Setelah melakukan pengujian pada dua spesimen dengan lokasi yang berbeda, maka diperoleh hasil kekuatantarik (*tensile strength*) yang ditunjuk pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tarik

	Spesimen 1	Spesimen 2
Thickness (mm)	25,10	25,12
Width (mm)	25,02	25,05
Area (mm <sup>2</sup> )	628	629,26
UTS (N/mm <sup>2</sup> )	510	515
UTS Load (kN)	320,28	324,07
Type of failure	Ductile failure	Ductile failure
Location of Broken	Base Metal	Base Metal

Pada pengujian *tensile* untuk spesimen 1 dan 2 menggunakan kecepatan tarik sebesar 25 mm/min dengan luas area spesimen 1 adalah 628 mm<sup>2</sup>, didapatkan hasil kekuatan tarik maksimum 510 N/mm<sup>2</sup> dan beban maksimum 320,28 kN dengan lokasi patahan di area *base metal* dan tipe patahan *ductile* atau ulet. Spesimen 2 dengan luas area 629,26 mm<sup>2</sup>, didapatkan nilai tarik maksimal 515 N/mm<sup>2</sup> dan beban maksimal 324,07 kN dengan lokasi patahan di area *base metal* dan tipe patahan *ductile*. Dari hasil pengujian tarik dua spesimen ini didapatkan perbedaan kekuatan tarik 5 N/mm<sup>2</sup>. *Acceptance criteria* berdasarkan material yang digunakan merujuk pada BS EN ISO 10025-2:2004 (450N/mm<sup>2</sup> – 600N/mm<sup>2</sup>) dapat dinyatakan pengujian material hasil pengujian *tensile* sesuai dengan standar DNVGL OS-C401 2019.

**B. Hasil pengujian *bending***

Setelah melakukan pengujian pada empat spesimen yang berbeda, maka didapatkan bahwa spesimen tidakterdapat *opening defect* yang ditunjuk pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Bending*

Spesimen uji	Hasil Pengujian	Keterangan
Spesimen 1		<i>No open defect was observed</i>
Spesimen 2		<i>No open defect was observed</i>
Spesimen 3		<i>No open defect was observed</i>
Spesimen 4		<i>No open defect was observed</i>

Pengujian *bending test* atau uji lengkung didapatkan bahwa material yang diuji tidak terdapat indikasi *opening defect* atau *crack* pada spesimen uji 1, 2, 3 dan 4. Hal ini sesuai dengan *acceptance criteria* yang dipersyaratkan DNVGL-OS-C401:2019, dimana *defect* yang diizinkan maksimal 3 mm dengan *opening defect* individual. Berdasarkan *acceptance criteria* tersebut dapat dinyatakan bahwa hasil pengujian sesuai dengan yangdipersyaratkan.

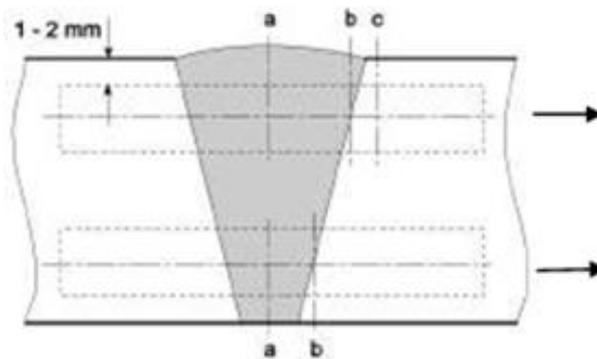
**C. Hasil pengujian *macro examination***

Berikut merupakan table hasil pengujian *maco examination*.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Macro Examination*

Macro	Result: <i>Complate root Fusion and no other defect was observed</i>
	

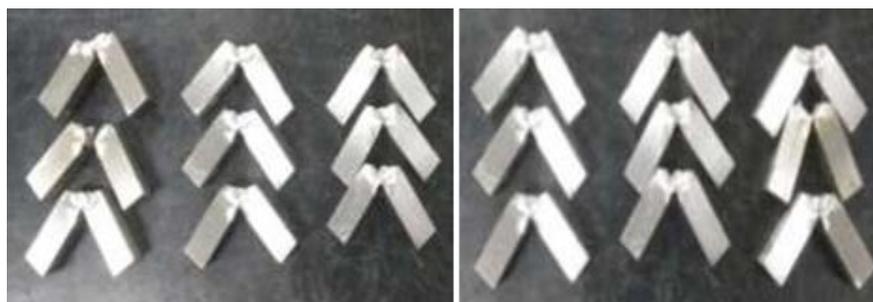
Dari pengujian *macro* didapatkan bahwa pada area *weld* terutama area *cap* dan *root* tidak terdapat cacat las. Area *welding* terisi oleh logam pengisi atau *complete root penetration and fusion* antara *base metal* dengan area *welding*. Hasil pengujian *macro* menunjukkan bahwa material pengujian ini sudah sesuai dengan *acceptance criteria* dari DNVGL-OS-C401:2019. Karena pengujian bersifat kuantitatif maka hasil pengujian ini tidak bisa dijadikan acuan untuk kekuatan mekanik atau pun sifat material lainnya, pengujian ini hanya menunjukan kualitas baik atau tidaknya suatu hasil pengelasan. Apabila terdapat cacat las pada area *welding* dapat dinyatakan masalahnya terdapat dari kemampuan *welder* atau perhitungan yang kurang tepat saat melakukan persiapan awal pada proses pengelasan. Area *cap* dan *root* dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11: *Cap* dan *Root*

**D. Hasil pengujian *charpy impact test***

Berikut ini adalah spesimen hasil pengujian *charpy impact* yang menunjukkan patah ulet dan terlihat pada gambar 12 berikut.



Gambar 12: Spesimen Hasil Pengujian *Charpy* Area *Cap* dan *Root*

Hasil pengujian *charpy impact* pada tiga set spesimen ditunjukkan pada tabel berikut.

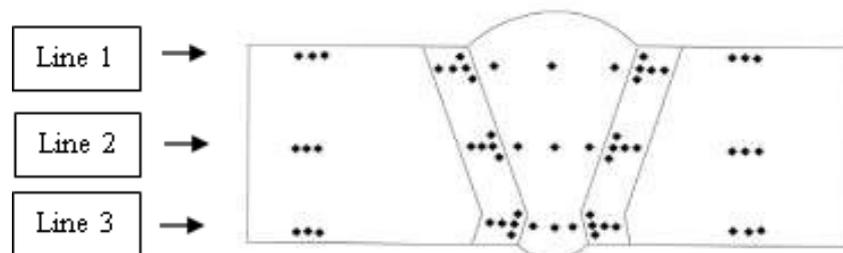
Tabel 6. Hasil Pengujian *Charpy Impact Test* Patah Ulet pada Area *Cap* dan *Root*

Location		Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Average
Cap	Weld Metal (Joule)	192	190	191	191
	Fusion Line (joule)	99	87	85	90
	Fusion Line +2mm (Joule)	101	112	108	107
Root	Weld Metal (Joule)	180	170	176	175
	Fusion Line (Joule)	76	75	80	77
	Fusion Line (Joule) +2mm (Joule)	88	80	86	85

Pengujian *charpy impact* dilakukan pada dua area *weld metal* yaitu *cap* dan *root* dimana setiap area dilakukan pengujian pada *weld metal*, *fusion line* dan *fusion line +2 mm* sesuai dengan standar DNVGL-OS- C401:2019. Pengujian dilakukan pada temperature 20°C sehingga didapatkan hasil tertinggi pada area *cap weld metal* yaitu 192 Joule pada spesimen 1, 190 joule pada spesimen 2 dan 191 joule pada spesimen 3 dengan rata rata 191 joule, dengan nilai terendah pada area *fusion line cap* dengan nilai 99 joule pada spesimen 1, 87 joule pada spesimen 2 dan 90 joule pada spesimen 3 dengan rata rata 90 joule, untuk area *root* nilai tertinggi pada area *weld metal* dengan nilai 180 joule pada spesimen 1, 170 joule pada spesimen 2 dan 176 joule pada spesimen 3 dengan rata rata 175 joule, dan untuk nilai terendah di daerah *fusion line root* yaitu 76 joule pada spesimen 1, 75joule pada spesimen 2 dan 80 joule pada spesimen 3 dengan rata rata 77 joule. Hasil pengujian ini masih sesuai dengan yang dipersyaratkan dalam DNVGL OS-C401:2019 yaitu 27 joule sehingga dapat dinyatakan hasil sesuai dengan *acceptance criteria*.

**E. Hasil pengujian *hardness***

Berikut merupakan lokasi indentasi *hardness vickers* yang ditunjuk pada gambar 13.



Gambar 13: Lokasi Indentasi *Hardness Test*

Hasil dari pengujian *hardness vickers* ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Hardness Vickers Test*

No	Location	Line 1 (HV)	Line 2 (HV)	Line 3 (HV)
1	Base Metal	165	155	166
2		166	157	169
3		166	159	159
4	HAZ	176	170	188
5		188	189	195
6		199	200	207
7		201	197	200
8		200	197	218
9	Weld Metal	*236	218	198
10		220	208	189
11		218	215	190
12	HAZ	208	198	202
13		195	190	199
14		185	179	178
15		200	200	199
16		198	199	205
17	Base Metal	166	157	160
18		165	157	158
19		159	162	169

Pengujian *hardness* menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda dari setiap lokasi indentasi, dari hasil pengujian menunjukkan bahwa area *weld metal cap* pada line 1 lebih keras yaitu 236 HV apabila dibandingkan dengan area *weld metal root* pada line 3 dengan nilai yang di dapat yaitu 189 HV. Nilai kekerasan terendah pada area *base metal line 2* pada nomor 2 dengan nilai 155 HV. Hal ini terjadi karena pada area tersebut sangat jauh dari area *welding* dan tidak terpengaruh panas saat proses pengelasan, sedangkan pada area *HAZ (Heat Affected Zone)* dan *weld metal* sangat dipengaruhi oleh pemanasan dan pendinginan cepat dari proses pengelasan dan mengakibatkan perubahan pada sifat mekanik material awal. Pemanasan dan pendinginan cepat dapat meningkatkan nilai kekerasan material, perubahan sifat material dan struktur mikro. Perubahan struktur mikro material dapat dilakukan dengan pengujian lanjutan yaitu pengujian metalografi.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Hasil pengujian tarik terdapat perbedaan antara spesimen 1 dan 2, dimana spesimen 1 menunjukkan hasil kekuatan tarik  $510 \text{ N/mm}^2$  dan spesimen 2 mendapatkan hasil  $515 \text{ N/mm}^2$ , selisih dari hasil pengujian yang didapatkan masih dalam *range* yang dipersyaratkan, dimana nilai minimum kekuatan tarik S355J2 adalah  $470 \text{ N/mm}^2$  dan nilai maksimum  $630 \text{ N/mm}^2$ , sehingga hasil uji tarik ini dapat dijadikan WPS (*Welding Procedure Specification*).
- b. Hasil pengujian *bending* menunjukkan bahwa area permukaan spesimen tidak terdapat *opening defect*, seperti yang dipersyaratkan dalam DNVGL-OS-C401:2019, dimana maksimal *opening defect* individual yaitu 3 mm.
- c. Hasil pengujian *charpy v-notch* dilakukan di dua area *welding* yaitu *cap* dan *root*. Dari *cap* dan *root* kemudian dibagi lagi pengujian *charpy v-notch* pada *weld metal*, *fusion line* dan *fusion line+2 mm* dengan temperatur pengujian  $-20^\circ\text{C}$ . Hasil tertinggi pengujian ini terdapat pada area *cap weld metal* dengan rata-rata 191 Joule. Nilai terendah hasil pengujian ini pada area *fusion line cap* dengan rata-rata 90 Joule. Pada area *root*, nilai tertinggi pada area *weld metal* dengan rata-rata 175 Joule dan nilai terendah di daerah *fusion line root* dengan nilai rata-rata 77 Joule. Pengujian ini sesuai dengan yang dipersyaratkan dalam DNVGL OS-C401:2019 yaitu 27 Joule.
- d. Pada pengujian *macro* tidak terdapat cacat las dan area *welding* terisi oleh logam pengisi atau *complete root penetration and fusion* antara *base metal* dengan area *welding*. Hasil pengujian ini sudah sesuai dengan *acceptance criteria* dari DNVGL OS-C401:2019.
- e. Hasil *hardness test* menunjukkan nilai kekerasan yang berbeda pada setiap lokasi indentasi. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada area *weld metal cap* yaitu 236 HV, sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada area *base metal line 2* dengan nilai 155 HV. Pengujian ini sudah sesuai dengan yang dipersyaratkan dalam DNVGL OS-C401:2019 maksimal hasil kekerasan 350 HV dengan pembebanan 10 Kgf.. Perbedaan nilai kekerasan ini diakibatkan proses pemanasan dan pendinginan yang cepat dari proses pengelasan, sehingga mempengaruhi sifat material tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bayu (2016). Jenis Pengujian dengan Cara Merusak (Destructive Testing). CV. Jaya Multi Mandiri.
- [2] MR Jolly, A. Prabhakar, B. Sturzu, K. Hollstein, R. Singh, S. Thomas, P. Foote & A. Shaw. Review of Non-destructive Testing (NDT) Techniques and their applicability to thick walled composites. Elsevier. 2015.
- [3] DNVGL OS-C401:2019 – Fabrication and testing of offshore procedure.
- [4] Multazam, Emil (2019). Proses Pembuatan Welding Procedure Spesification (WPS) Pengelasan Pipa Baja Karbon A106 dengan Metode SMAW.
- [5] Perdana, Shandy, dkk (2020). Pengaruh Variasi Waktu Penahanan ( *Holding Time*) pada Perlakuan Panas *Normalizing* Setelah Pengelasan *Submerged Arc Welding (SAW)* pada Baja SS400 terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Mikrografi. Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 8, No. 1

Januari 2020.

- [6] Sirin, K., Sirin, Y. S., Kaluc, E. (2016). Influence of the interpass temperature on t<sub>8/5</sub> and the mechanical properties of submerged arc welded pipe. *Journal of Materials Processing Technology*. 238, pp. 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.07.008>
- [7] K. Borko, B. Hadzima, F. Pastorek. (2019). The Corrosion Properties of S355J2 Steel Welded Joint in Chlorides Environment. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 47(4), pp. 342-347, 2019. <https://doi.org/10.3311/PPtr.12111>.
- [8] Robert Denti Salindeho (2016). *Pemodelan Pengujian Tarik untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*.
- [9] ASTM E8 – Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.
- [10] ASTM E23 – Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.
- [11] ASTM E92 – Standard Test Method for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials.