

Analisis Variasi *Interpass Temperature* dan Arus Pengelasan pada Pengelasan Hardox 450 terhadap Nilai Kekerasan, Nilai Ketangguhan dan Struktur Mikro

M. Septa Dwi Miarsa^{1*}, Bachtiar², Eriek Wahyu Restu Widodo³

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya
60111^{1,2,3}

Email: arshadwi48@gmail.com¹

Abstract – The more technology develops, the demand for steel and iron specifications is increasingly diverse. One of the steels that are often used in the industrial world is Hardox steel. In the case of PT. X in FCAW welding uses excessive current welding and the interpass temperature is not applied properly. So that in this study the authors will conduct experiments on the impact of variations in welding currents at 120A and 200A amperage and interpass temperatures at 150°C and 200°C on Hardox 450 material on welding results in terms of hardness, toughness and microstructure. The results of this study for hardness testing experienced an increase in the increasing current variation but a decrease in the increasing interpass variation. The highest hardness was found in specimens with variations of 150°C and 200A with an average value of 204.2 kgf/mm² in the weld metal area and in the HAZ area with an average value of 287.03 kgf/mm². Then in the highest toughness test found in specimens with variations of 200°C and 120A with an average value of 123 J in the weld metal area and in the HAZ area with an average value of 103 J. The micro test results show that the higher the interpass produces an even acicular ferrite structure and the higher the current, the denser the pearlite structure is.

Keyword: Hardox 450, Interpass Temperature, Welding Current, FCAW

1. PENDAHULUAN

Kini besi dan baja adalah logam yang sering digunakan. Selain sering digunakan material tersebut memiliki keunggulan tersendiri salah satunya yaitu kekerasan. Semakin berkembangnya teknologi, permintaan spesifikasi besi dan baja makin beragam. Salah satu pabrik baja di Swedia memproduksi banyak material salah satunya Hardox. Dalam perkembangannya, baja digunakan pada pembuatan produk seperti *excavator*, *impeller* dan *crusher*.

Hardox adalah material yang memiliki ketahanan terhadap abrasi yang cukup baik dan memiliki *weldability* yang relatif baik, dimana kekerasan yang dimiliki material tersebut berada pada kisaran 425-475 *Hardness Brinell*. Namun baja ini sangat sensitif terhadap perlakuan panas. Baja dari kelas ini sangat sensitif terhadap *heat input* dan perlu perhatian khusus harus diberikan pengaruh prosedur pengelasan yang diterapkan dan risiko munculnya fase keras dan rapuh di struktur Hardox [5].

Pada PT. X terdapat beberapa *project*, salah satunya yaitu pembuatan *impeller* yang memerlukan material dengan *toughness* tinggi dan ketahanan aus yang baik. Maka PT. X menggunakan material Hardox 450 sebagai *base material* produk ini. Dalam kasus PT. X pada pengelasan FCAW (*Flux Core Arc Welding*) menggunakan arus pengelasan yang berlebih dan *interpass temperature* yang tidak diterapkan dengan semestinya. Penggunaan arus yang berlebih dapat mengakibatkan perubahan sifat mekanik dikarenakan baja ini sensitif terhadap input panas yang berlebih dan *interpass temperature* yang

tidak diterapkan semestinya dapat menyebabkan *hydrogen diffusive*.

Rumusan masalah yang akan dikemukakan yaitu bagaimana pengaruh variasi arus pengelasan dan *interpass* terhadap nilai kekerasan pada pengelasan material Hardox 450, bagaimana pengaruh variasi arus pengelasan dan *interpass* terhadap nilai ketangguhan pada pengelasan material Hardox 450, dan bagaimana hasil pengujian struktur mikro variasi arus pengelasan dan *interpass* terhadap pengelasan material Hardox 450.

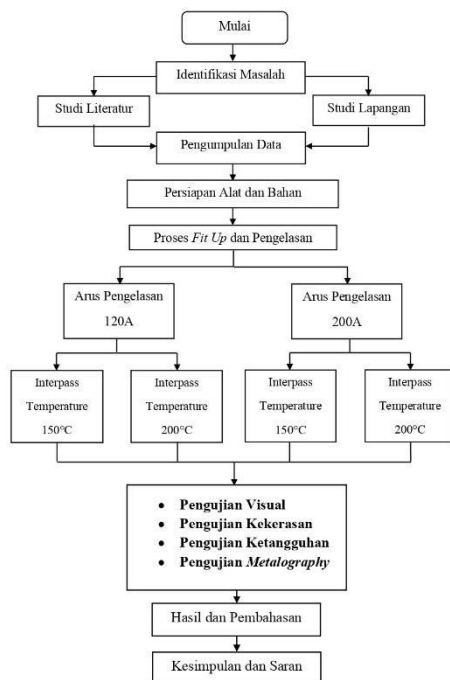
Batasan masalah pada penelitian ini yaitu material yang digunakan untuk spesimen uji adalah Hardox 450 tebal 8 mm, menggunakan jenis sambungan *single bevel butt joint*, menggunakan proses pengelasan FCAW, posisi pengelasan yang digunakan adalah 1G, menggunakan *filler metal* NKF-71T Ø 1,2 mm, menggunakan shielding gas CO₂ 100% dengan *flowrate* sebesar 20 - 25 lt/min, variasi arus pengelasan yang digunakan sebesar 200A dan 120A, variasi *interpass* yang digunakan sebesar 200°C dan 150°C, pengujian yang dilakukan adalah *hardness test*, *impact test*, struktur mikro dan ANOVA, ANOVA hanya digunakan pada hasil uji kekerasan dan ketangguhan saja, pengujian diutamakan mencari nilai kekerasan dan ketangguhan karena kegunaan material yang sering berinteraksi dengan bahan keras.

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan dan *interpass* terhadap nilai kekerasan pada pengelasan material Hardox 450, mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan dan *interpass* terhadap nilai ketangguhan pada pengelasan material Hardox 450, dan mengetahui hasil pengujian struktur mikro variasi arus pengelasan dan *interpass* terhadap pengelasan material Hardox 450.

2. METODOLOGI.

2.1 Diagram Air

Penelitian ini dilakukan berdasarkan diagram alir seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Air Penelitian

2.2 Persiapan material dan Bahan

Pada penelitian ini menggunakan material plat Hardox 450 dengan dimensi 300 mm x 150 mm sebanyak 4 buah, sedangkan variasi filler yang digunakan pada pengelasan adalah *ASME II Part C* dengan No. SFA 5.20.

2.3 Proses Fit Up dan Pengelasan

Pada penelitian ini proses pengerjaan menggunakan proses *fit up* dan pengelasan material Hardox 450. Parameter pengelasan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1: Parameter Pengelasan Hardox 450

Pass	Size of Filler Metal	Current (A)	Voltage (V)	Travel Speed (mm/min)	HI (Kj/mm)
Root	1,2 mm	115 - 220	23 - 27	140 - 400	0.8 - 1,2
Filler	1,2 mm	115 - 220	23 - 27	140 - 400	0.8 - 1,2
Capping	1,2 mm	115 - 220	23 - 27	140 - 400	0.8 - 1,2
Back	1,2 mm	155 - 220	23 - 27	140 - 400	0.8 - 1,2

2.4 Penamaan Spesimen

Pada penelitian ini spesimen dengan variasi arus pengelasan 120A ditandai dengan kode A sedangkan arus pengelasan 200A ditandai dengan kode B. Untuk variasi *interpass temperature* 150°C ditandai dengan kode 1 sedangkan *interpass temperature* 200°C ditandai dengan kode 2. Adapun kode spesimen pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Penamaan Spesimen

Nama Spesimen	Arus Pengelasan (A)	Interpass Temperature (°C)
A1	120	150
A2		200
B1	200	150
B2		200

2.5 Proses Pengelasan

Proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan dengan proses pengelasan FCAW (*Flux Core Arc Welding*) dengan polaritas DCEP (*Direct Current Electrode Positive*) dan posisi yang digunakan saat proses pengelasan adalah posisi 1G. Proses pengelasan dilakukan dengan 2 variasi *interpass temperature* yaitu 150°C dan 200°C serta 2 variasi arus yaitu 120A dan 200A.

2.6 Proses Pengujian

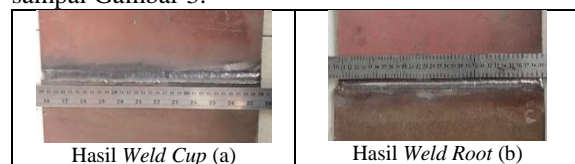
Proses *visual test* dilakukan untuk mengidentifikasi cacat terbuka pada permukaan suatu pengelasan dengan metode standart *ASME Section IX* pada QW 194, pengujian *impact* dilakukan metode *charpy* menggunakan *V notch* pada daerah *weld metal* dan HAZ yang mengacu pada ASTM E23.

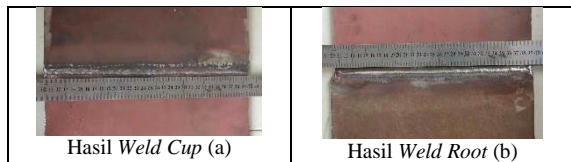
Pengujian *vickers* merupakan metode pengujian untuk kekerasan material uji tipis dan luas area yang diamati terbatas dengan standar ASTM E92. Sedangkan pengujian foto mikro ialah pemeriksaan bahan logam dimana bentuk kristal logam tergolong halus sehingga diperlukan angka pembesaran lensa mikroskop antara 50 kali sampai 3000 kali atau lebih dengan menggunakan mikroskop industri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

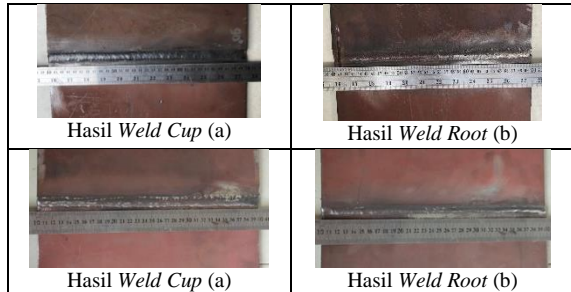
3.1 Hasil Pengujian Visual (*Visual Test*)

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi cacat terbuka pada permukaan hasil pengelasan yang mengacu pada standart *ASME Section IX* pada QW 194 yang mana hasil permukaan suatu pengelasan tidak boleh terdapat *crack*, *incomplete fusion* dan *incomplete penetration*. Adapun hasil visual test dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 3.





Gambar 2. Hasil Visual Test Spesimen Uji Dengan Variasi *Interpass* 150°C dan Arus 120A (Atas), Variasi *Interpass* 200°C dan Arus 120A (Bawah)



Gambar 3. Visual Test Spesimen Uji Dengan Variasi *Interpass* 150°C dan Arus 200 A (Atas), Variasi *interpass* 200°C dan Arus 200 A (Bawah)

Gambar diatas dapat dilihat bahwa pada hasil pengelasan masing-masing variasi *interpass* temperature dan arus pengelasan tidak terdapat cacat pengelasan, khususnya cacat pengelasan crack, incomplete fusion dan incomplete penetration sesuai dengan syarat keberterimaan pengujian visual ASME Section IX pada QW 194. Hal ini dikarenakan saat proses pengelasan parameter yang digunakan benar-benar dijaga, sehingga crack pada hasil las dapat minimalisir.

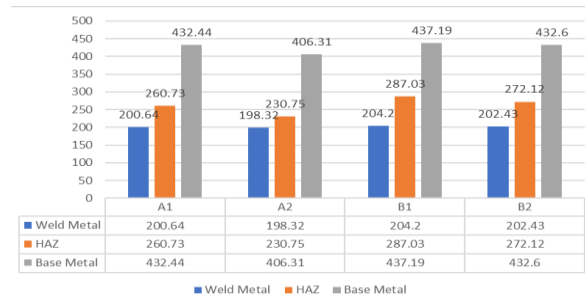
3.2 Hasil Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan pada 9 titik pada tiap spesimen. Berikut merupakan hasil dari pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4: Hasil Pengujian Kekerasan

Kode Spesimen	Lokasi Pengujian	Hasil <i>Hardness Test</i>			
		Indentasi 1	Indentasi 2	Indentasi 3	Rata-Rata
A1	Weld Metal	193.99	205.59	202.34	200.64
	HAZ	237.41	286.69	258.52	260.73
	Base Metal	423.63	446.81	426.89	432.44
A2	Weld Metal	201.87	188.52	204.57	198.32
	HAZ	232.15	227.78	232.31	230.75
	Base Metal	390.84	404.46	423.63	406.31
B1	Weld Metal	207.8	202.74	202.07	204.20
	HAZ	288.16	285.83	287.71	287.03
	Base Metal	436.89	433.52	441.17	437.19
B2	Weld Metal	202.07	203.28	201.94	202.43
	HAZ	277.45	265.91	273	272.12
	Base Metal	437.53	417.82	415.45	432.6

Berdasarkan Tabel 4 rata-rata dari pada nilai kekerasan terdapat perbedaan yang cukup jauh. Hal ini disebabkan filler metal yang digunakan sesuai yang digunakan pada perusahaan dan pada filler metalnya memang kurang dapat memenuhi kekerasan pada *base metal* sehingga nilai pada *weld metal* terpaud cukup jauh. Hasil rata-rata dapat disajikan dalam grafik pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen *Interpass* 150°C dan 200°C dan Arus 120A dan 200A

Hasil pengujian spesimen dengan suhu *interpass* semakin tinggi didapatkan nilai kekerasannya semakin turun, kemudian arus semakin tinggi didapatkan nilai kekerasan yang semakin naik. Pada daerah *weld metal* dan HAZ menunjukkan spesimen dengan variasi *interpass* 150°C dan arus 200A memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi diantara keempat variasi. Hal tersebut dikarenakan pada *interpass temperature* yang tinggi memiliki laju pendinginan yang lebih rendah dibandingkan dengan *interpass temperature* yang lebih rendah, dimana temperatur *interpass* yang lebih tinggi akan memungkinkan lebih banyak waktu bagi spesimen untuk mendingin ke suhu yang diperlukan untuk pengelasan berikutnya [6]. Sedangkan data yang terambil pada arus pengelasan yang semakin naik memiliki nilai *heat input* yang lebih kecil. Pengelasan dengan *heat input* kecil dapat menaikkan kekerasan material (SSAB).

Hasil ini dapat dibuktikan dengan metode *two way ANOVA* untuk mengetahui adanya pengaruh pada setiap variabel yang divariasikan pada penelitian ini dengan hasil pengujian kekerasan. Untuk formulasi hipotesis pada penelitian *two way ANOVA* dengan data *hardness test* adalah sebagai berikut:
 H_0 : Kekerasan material tidak berpengaruh terhadap arus pengelasan dan *interpass temperature*.
 H_1 : Kekerasan material berpengaruh terhadap arus pengelasan dan *interpass temperature*.

Adapun hasil analisis *two way ANOVA* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5: *Two way ANOVA*

ANOVA	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Source of Variation						
Sample (Interpass)	306573.5	5	61314.69	539.5163	7.92E-24	2.620654
Columns (Arus)	1621.941	1	1621.941	14.27168	0.000922	4.259677
Interaction (Keduanya)	18675.17	5	3735.033	32.86507	5.52E-10	2.620654
Within	2727.541	24	113.6475			
Total	329598.1	35				

Dari hasil *two way ANOVA* pada tabel, dapat dilihat bahwa nilai *sig* atau *P-Value* sebesar 0,000000 pada *interpass* dan 0.000922 pada arus. Karena tingkat kepercayaan yang diinginkan adalah 95% maka diasumsikan tingkat signifikansi sebesar 5% atau 0.05 [1]. Didapatkan *P-Value* dari *interpass* dan arus

kurang dari 0,05 maka variasi *interpass temperature* dan arus pengelasan memiliki pengaruh yang signifikan pada nilai kekerasan di *base metal*, HAZ dan *weld metal*.

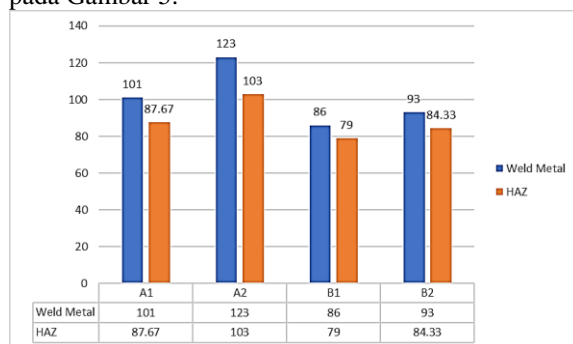
3.3 Hasil Pengujian Ketangguhan (Impact Test)

Pada penelitian ini pengujian ketangguhan untuk mengidentifikasi ketangguhan dari masing-masing spesimen hasil pengelasan pada daerah HAZ dan *weld metal*, setelah dilakukan variasi *interpass temperature* dan arus pengelasan. Hasil dari pengujian RAW Material nilai ketangguhan yang dihasilkan pada Hardox 450 adalah 55 J. Hasil energi (Joule) dari pengujian ketangguhan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6: Hasil Pengujian Ketangguhan (Impact Test)

Kode Spesimen	Hasil Pengujian	
	pada Weld Metal (J)	HAZ (J)
(A1)	110	61
	82	111
	111	91
Rata – rata	101	87.67
(A2)	100	103
	121	101
	148	105
Rata – rata	123	103
(B1)	88	92
	95	73
	75	72
Rata – rata	86	79
(B2)	82	80
	110	88
	88	85
Rata – rata	93.33	84.33

Berdasarkan nilai hasil pengujian ketangguhan pada Tabel 6, maka hasil dapat disajikan dalam grafik pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Nilai Pengujian Ketangguhan Spesimen Kekerasan Spesimen *Interpass* 150°C dan 200°C dan Arus 120A dan 200A

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa hasil pengujian spesimen dengan variasi *interpass* 150°C dan 200°C serta arus pengelasan 120A dan 200A menunjukkan spesimen yang menggunakan variasi *interpass* 200°C dan arus 120A memiliki nilai ketangguhan lebih tinggi diantara variasi *interpass temperature* dan arus pengelasan yang lainnya. Hal tersebut berbanding terbalik dengan hasil pengujian kekerasan, yang mana spesimen yang menggunakan variasi *interpass* 150°C dan arus 200A memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi namun memiliki nilai ketangguhan paling rendah dan spesimen yang menggunakan variasi *interpass* 200°C dan arus 120A

memiliki nilai kekerasan paling rendah namun memiliki nilai ketangguhan paling tinggi. Kekerasan akan menurun ketika ketangguhan meningkat dan material menjadi lebih *ductile* [3].

Hasil ini dapat dibuktikan dengan metode *two way* ANOVA untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi arus pengelasan dan *interpass temperature* terhadap nilai ketangguhan material Hardox 450. Untuk formulasi hipotesis pada penelitian *twoway* ANOVA adalah sebagai berikut:
 H_0 : Ketangguhan material tidak berpengaruh terhadap arus pengelasan dan *interpass temperature*.
 H_1 : Ketangguhan material berpengaruh terhadap arus pengelasan dan *interpass temperature*.

Adapun hasil analisis *two way* ANOVA dapat dilihat pada Tabel 7.

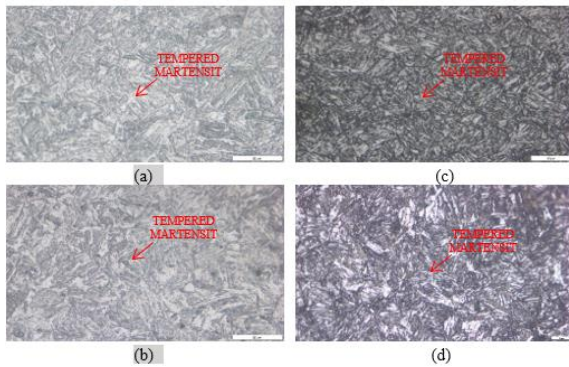
Tabel 7: Hasil *two way* ANOVA Ketangguhan

ANOVA	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Source of Variation						
Sample (Interpass)	2897.667	3	965.8889	3.96059	0.027435584	3.238872
Columns (Arus)	170.6667	1	170.6667	0.699812	0.415166735	4.493998
Interaction (Keduanya)	1103	3	367.6667	1.507603	0.250665999	3.238872
Within	3902	16	243.875			
Total	8073.333	23				

Dari hasil perhitungan ANOVA pada tabel 7 didapatkan nilai *sig* atau *P-Value* sebesar 0.027435584 pada *interpass* dan 0.415166735 pada arus. Karena tingkat kepercayaan yang diinginkan adalah 95% maka diasumsikan tingkat signifikansi sebesar 5% atau 0.05 [1]. Didapatkan *P-Value* dari *interpass* kurang dari 0,05 dan pada arus lebih dari 0,05 maka *interpass* memiliki pengaruh yang signifikan pada nilai ketangguhan namun arus tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada nilai ketangguhan di *base metal*, HAZ dan *weld metal*.

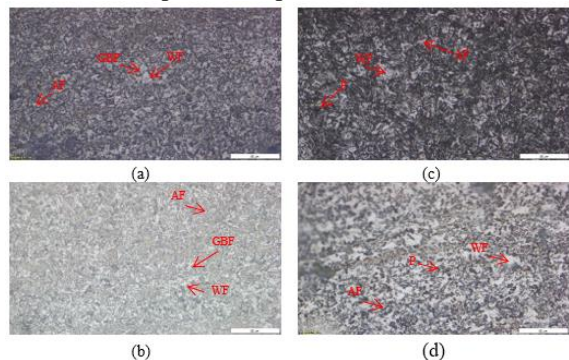
3.4 Hasil Pengujian Metalography

Pada penelitian ini pengujian mikro untuk mengamati struktur mikro menggunakan *optical microscopy* yang terbentuk setelah proses pengelasan. Struktur mikro yang diamati yakni pada daerah *weld metal*, HAZ dan *base metal* dengan perbesaran 500X. Hasil dari uji mikro dapat dilihat pada Gambar



Gambar 6. Hasil *Micro Test* Dengan Perbesaran 500x pada *Base Metal* (a) Spesimen A1 (b) Spesimen A2 (c) Spesimen B1 (d) Spesimen B2

Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan bahwa material dari hasil penelitian terdiri dari struktur mikro *tempered martensite*. Semua struktur yang dihasilkan oleh perlakuan panas, martensit membentuk tingkat kekuatan tertinggi pada baja [4]. Fase martensit jarang digunakan dalam kondisi yang tidak mengalami tekanan. Tempering meningkatkan keuletan dan ketangguhan yang penting untuk meningkatkan penyerapan energi benturan sehingga struktur *tempered martensit* juga memberikan kekuatan dinamis terbaik pada baja, Untuk struktur mikro HAZ dapat dilihat pada Gambar 7.

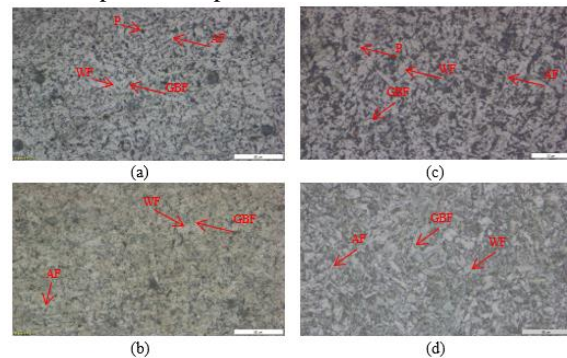


Gambar 7. Hasil *Micro Test* Dengan Perbesaran 500x pada HAZ (a) Spesimen A1 (b) Spesimen A2 (c) Spesimen B1 (d) Spesimen B2

Struktur mikro yang terbentuk pada specimen dengan variasi temperature *interpass* 200°C didominasi oleh acicular ferrite yang lebih halus daripada variasi yang lainnya, hal ini dikarenakan meningkatnya temperature *interpass* akan meningkatkan area reheated (area yang terpapar panas ulang) [2]. Hal tersebut dapat meningkatkan pertumbuhan struktur mikro *ferrite*, sehingga sifat kekerasan specimen dengan variasi *interpass temperature* 200°C lebih rendah dari pada variasi yang menggunakan *interpass temperature* 150°C. Dilihat dari besar arus yang dipakai dalam penjelasan, susunan *ferrite* dan *pearlite* pada daerah HAZ cenderung akan lebih sedikit pada arus listrik yang dipakai semakin besar [7].

Berdasarkan analisa diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi *interpass temperature* yang digunakan saat proses pengelasan akan menghasilkan struktur *acicular ferrite* (AF) yang lebih merata pada

hasil pengelasan. Selanjutnya struktur mikro *weld metal* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil *Micro Test* Dengan Perbesaran 500x pada *Weld Metal* (a) Spesimen A1 (b) Spesimen A2 (c) Spesimen B1 (d) Spesimen B2

Pada hasil pengujian struktur mikro di daerah *weld metal* ditemukan beberapa macam struktur mikro, diantaranya terdapat *acicular ferrite* (AF), *grain boundary ferrite* (GF) dan *widmanstatten ferrite* (WF) dan *pearlite* (P). Terlihat pada Gambar 8 adanya *acicular ferrite* yang semakin bertambah seiring bertambahnya temperature *interpass* yang dapat memperlambat laju pendinginan berkelanjutan karena terpapar panas ulang (*reheating*), sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan struktur mikro *ferrite*. Semakin bertambah arus pengelasan akan semakin bertambah struktur *ferrite* dan *pearlite* (P) yang makin padat [8].

4. KESIMPULAN

1. Dari hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai tertinggi terdapat pada variasi *interpass* 150°C dan arus 200A pada *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Berdasarkan hasil nilai *P-Value* pada *interpass* dan arus kurang dari 0,05. Maka dapat disimpulkan *interpass temperature* dan arus pengelasan terdapat pengaruh yang signifikan pada nilai kekerasan.
2. Dari hasil pengujian energi ketangguhan didapatkan nilai variasi *interpass* 200°C lebih tinggi dibandingkan dengan variasi *interpass* 150°C dan variasi arus 200A. Berdasarkan hasil nilai *P-Value* pada *interpass* kurang dari 0,05 dan arus lebih dari 0,05. Maka dapat disimpulkan variasi *interpass temperature* terdapat pengaruh signifikan namun variasi arus pengelasan tidak terdapat pengaruh yang signifikan pada nilai ketangguhan.
3. Dari Hasil pengujian mikro menunjukkan semakin tinggi *interpass temperature* yang digunakan maka menghasilkan struktur *ferrite* yang merata pada hasil pengelasan serta semakin tinggi arus pengelasan menghasilkan struktur *pearlite* yang terlihat semakin banyak.

5. SARAN

Saran yang diberikan penulis kepada peneliti yang akan melakukan penelitian selanjutnya antara lain:

1. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan *preheating* dan *radiography test* pada penelitian untuk menghindari adanya *crack*.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan pengujian SEM untuk mendeteksi adanya inisiasi *crack* dan melihat lebih jelas struktur mikro yang terbentuk.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyusunan jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan banyak motivasi, doa dan dukungan selama menempuh pendidikan Diploma IV.
2. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., F.RINA., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Ruddianto ST., M.T., M.RINA., selaku Ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal.
4. Bapak Moh. Syaiful Amri, S.ST., M.T., selaku Ketua Prodi Teknik Pengelasan.
5. Bapak Mukhlis ST., M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir Progam Studi Teknik Pengelasan.
6. Bapak Bachtiar ST., MT. dan Bapak Eriek Wahyu Restu Widodo, S.Si., M.T, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran, dan semangat pada penulis sehingga tugas akhir dapat selesai dengan baik.
7. Bapak Hendri Budi Kurniyanto S.ST., M.T., serta seluruh staf lab Uji Bahan yang telah membantu pengerjaan tugas akhir ini.
8. Semua teman-teman yang telah membantu dalam penulisan tugas akhir.

7. PUSTAKA

- [1] Datta, D. K., J. P. Guthrie, and P. M. Wright, (2005). *Human Resource Management and Labor Productivity: Does Industry Matter? In Source: The Academy of Management Journal* (Vol. 48, Issue 1).
- [2] Evans, G. M. (1982). *The Effect of Carbon on the Microstructure and Properties of C-Mn All-Weld Metal Deposits Carbon promotes acicular ferrite, at the expense of grain boundary polygonal ferrite, and causes grain refinement of the reheated regions.*
- [3] Ismail, N. M., N. A. A. Khatif, Kecik, M. A. K. A., and M. A. H. Shaharudin, (2016). *The effect of heat treatment on the hardness and impact properties of medium carbon steel. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 114(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/114/1/012108>
- [4] Jena, P. K., B. Mishra, M. RameshBabu, A. Babu, A. K. Singh, K. SivaKumar, and T. B. Bhat, (2010). *Effect of heat treatment on mechanical and ballistic properties of a high strength armour steel. International Journal of Impact Engineering*, 37(3), 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2009.09.003>
- [5] Lazic, V., D. Arsic, R. R. Nikolic, D. Djordjevic, R. Prokic-Cvetkovic, and O. Popovic, (2017). *Application of the high strength steel hardox 450 for manufacturing of assemblies in the military industry. Key Engineering Materials*, 755, 96–105. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KE M.755.96>
- [6] Ma, Y., D. Cuiuri, C. Shen, H. Li, and Z. Pan, (2015). *Effect of interpass temperature on in-situ alloying and additive manufacturing of titanium aluminides using gas tungsten arc welding. Additive Manufacturing*, 8, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2015.08.001>
- [7] Mohruni, A. S., dan B. H. Kembaren, (2013). STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON RENDAH DENGAN ELEKTRODA E6013.
- [8] Parekke, S., J. Leonard, and A. H. Muchsin, (2014). *The Effects of Dissimilar Metal Welding (AISI 1045) with (AISI 316l) on Mechanical Properties and Micro Structure. J. Sains & Teknologi*, Desember, 3(2), 191–198.