

The Effect of Welding Parameters on Microstructure in Dissimilar Welding of Stainless Steel 316L and Structural Steel on Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Ario Sunar Baskoro^{1*}, Danurengga Ubaszti Putra² dan Dominggus Benhur Rumbiak²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

²Prodi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

*Corresponding author: ario@eng.ui.ac.id

Abstract. Welding is one of the merging methods that are extensively used in various engineering applications, one of which is in the maritime field. One type of electrical welding technique using protective gas is Gas Metal Arc Welding (GMAW). This welding uses the heat generated by electricity to melt the filler metal. This study aims to determine the effect of welding currents on the dissimilar microstructure and macrostructure of Gas Metal Arc Welding (GMAW). In this study, the material used is 316L stainless steel and structural steel. Welding currents used are 175A, 185A, 195A, 205 A and 215 A. The welding results are then performed SEM & EDX testing and Vickers Microhardness test. From the results of the study, based on macrostructure observations, it can be shown that the 215 A welding current has a wider weld bead and the resulting HAZ is wider than the variation of the welding current below. For the test results from SEM & EDX, the welding results show that the Ferrite-Austenite solidification mode occurs, which is shown by the formation of a vermicular ferrite microstructure. And for the microhardness test results obtained changes in microhardness on 316L stainless steel from base metal to HAZ are very small from 159 HV to 166 HV to 163 HV to 168 HAZ.

Abstrak. Pengelasan adalah salah satu metode penggabungan yang secara ekstensif digunakan dalam berbagai aplikasi teknik salah satunya dalam bidang kemaritiman. Salah satu jenis teknik pengelasan listrik dengan menggunakan gas pelindung adalah *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Pengelasan ini menggunakan panas yang dihasilkan oleh listrik untuk melelehkan logam pengisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap mikrostruktur dan makrostruktur dissimilar *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Pada penelitian ini material yang digunakan adalah *stainless steel 316L* dan *structural steel*. Arus pengelasan yang digunakan adalah 175A, 185A, 195A, 205 A dan 215 A. Hasil pengelasan kemudian dilakukan pengujian SEM & EDX dan uji *Vickers Microhardness*. Dari hasil penelitian, berdasarkan pengamatan makrostruktur dapat ditunjukkan bahwa pada arus pengelasan 215 A memiliki *weld bead* yang lebih lebar dan HAZ yang dihasilkan juga lebih lebar dibandingkan dengan variasi arus pengelasan di bawahnya. Untuk hasil pengujian dari SEM & EDX didapatkan hasil pengelasan terjadi mode solidifikasi *Ferrite – Austenite* yang di tunjukkan dengan pembentukan mikrostruktur *vermicular ferrite*. Dan untuk hasil pengujian *microhardness* didapatkan hasil perubahan *microhardness* pada *stainless steel 316L* dari *base metal* ke HAZ sangat kecil dari 159 HV hingga 166 HV ke 163 HV hingga 168 HAZ.

Kata kunci: las GMAW, *dissimilar welding*, mikrostruktur, *microhardness*, arus pengelasan.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Pengelasan GMAW adalah salah satu *fusion welding* yang menyambungkan bermacam material melalui pelelehan dan solidifikasi. Proses pada pengelasan ini menyambung logam dengan menggunakan busur listrik antara kawat elektroda dan logam. Perlindungan *weld pool* didapatkan dari *gas inert* seperti argon atau helium, oleh karena itu terkadang proses pengelasan dinamakan proses *metal inert gas* (MIG). Gas pelindung digunakan dalam pengelasan ini karena gas tersebut berguna

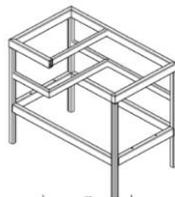
untuk melindungi *weld pool* agar tidak terkontaminasi dari kandungan udara lingkungan [1].

Hal yang menjadi kekuatan utama dalam pengelasan GMAW adalah pengelasan ini dapat dilakukan dengan kecepatan tinggi dan mudah untuk diotomatisasi. Material yang dapat digunakan dalam pengelasan GMAW sangat luas yaitu: *carbon steel*, *stainless steel*, aluminium, magnesium, tembaga, nickel dan lainnya. Oleh karena itu teknik

pengelasan GMAW memiliki potensi dalam pengelasan *dissimilar*.

Tetapi dalam penyambungan kedua material tersebut banyak tantangan dan banyak yang harus diperhatikan, dikarenakan perbedaan dalam sifat termofisik dan komposisi, migrasi karbon dari karbon yang lebih tinggi ke karbon yang lebih rendah, residual stress, dan perubahan fasa [2]. Oleh karena itu pengelasan *dissimilar* ini sangat rentan terhadap solidification crack, dilusi yang tidak seimbang dan perubahan fasa

Untuk mengakomodasi kapabilitas dari mesin GMAW untuk melakukan pengelasan dengan kecepatan yang tinggi, dibuatlah rangka dengan menggunakan konstruksi baja. Arduino digunakan sebagai pengontrol dari kecepatan pengelasan dikarenakan arduino memiliki sifat yang *user friendly* dan mudah untuk digunakan. Alat penggerak ini dapat dikembangkan lebih dalam untuk pengaplikasiannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap bentuk dari mikrostruktur dan makrostruktur *dissimilar* GMAW. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah *stainless steel* 316L dan *structural steel*. Arus pengelasan pengelasan yang digunakan antara lain adalah 175A, 185A, 195A, 205A dan 215 A.



Gambar 1. Alat Penggerak

Metode Penelitian

Pengukuran dan Kalibrasi

Dengan menggunakan arduino maka harus dilakukan pertama kali ialah melakukan kalibrasi kecepatan pada motor stepper. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pergerakan motor stepper yang diubah menjadi gerak translasi dengan ballscrew. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara memasukkan nilai *delay* yang diinput ke dalam konsol arduino, dan digunakan coding dengan output gerakan motor stepper selama 5 detik. Kemudian akan didapatkan jarak yang ditempuh oleh meja kerja selama 5 detik tersebut. Hasil dari nilai *delay* dengan kecepatan gerak meja kerja (dapat disebut juga kecepatan pengelasan) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan *delay* dan kecepatan pengelasan

No.	Delay	Kecepatan (mm/s)		Error
		Aktual	Perhitungan	
1	600	5,2	5,21	0,01
2	650	4,8	4,81	0,01
3	700	4,5	4,46	0,04
4	750	4,2	4,17	0,03
5	800	3,9	3,91	0,01
6	850	3,6	3,68	0,08
7	900	3,5	3,47	0,03
8	950	3,3	3,29	0,01
9	1000	3,2	3,13	0,08
10	1050	3	2,93	0,02
11	1100	2,85	2,84	0,01
12	1150	2,7	2,72	0,02
13	1200	2,6	2,6	0
14	1250	2,5	2,5	0
15	1300	2,4	2,4	0
16	1350	2,3	2,31	0,01
17	1400	2,25	2,23	0,02
18	1450	2,2	2,16	0,04
19	1500	2,1	2,08	0,02
20	1550	2	2,02	0,02
21	1600	1,95	1,95	0
22	1650	1,9	1,89	0,01
23	1700	1,85	1,84	0,01
24	1750	1,8	1,79	0,01
25	1800	1,75	1,74	0,01
26	1850	1,7	1,69	0,01
27	1900	1,65	1,64	0,01
28	1950	1,6	1,6	0
29	2000	1,55	1,56	0,01
30	2050	1,5	1,52	0,02
31	2100	1,47	1,49	0,02
32	2150	1,45	1,45	0
33	2200	1,4	1,42	0,02
34	2250	1,38	1,39	0,01
35	2300	1,36	1,36	0
36	2350	1,32	1,33	0,01
37	2400	1,3	1,3	0
38	2450	1,25	1,25	0
39	2500	1,2	1,2	0
40	2550	1,15	1,16	0,01
41	2600	1,1	1,12	0,02
42	2650	1	1,01	0,01

Nilai perhitungan dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kecepatan} = \frac{5.000.000 / \text{Delay}}{2 \times 800} \text{ mm/s} \quad (1)$$

dimana:

- Nilai 5.000.000 = nilai untuk menggerakkan motor selama 5 detik
- Delay = nilai delay
- Nilai 800 = jumlah step motor untuk satu putaran

Komposisi Material

Sebelum melakukan eksperimen, dilakukan pengujian komposisi pada material sehingga dapat diprediksi apakah filler yang digunakan dalam pengujian. Pengujian ini menggunakan *stainless steel* 316L dan *structural steel*. Pengujian dilakukan di Lab CMPFA Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tabel 2 dan 3 berikut merupakan hasil dari uji coba komposisi dari material yang digunakan.

Tabel 2. Tabel komposisi *stainless steel* 316L (wt%)

Kode Sampel	C	Si	Mn	P
316L	0,025	0,442	1,33	0,025
	Ni	Al	Cu	Nb
	10,2	0,009	0,354	0,032
	S	Cr	Mo	
	0,009	17,5	2,63	
	Ti	V	Fe	
<0,002	0,064	bal.		

Tabel 3. Tabel komposisi *structural steel* (wt%)

Kode Sampel	C	Si	Mn	P
Structural	0,153	0,822	1,08	0,035
	Ni	Al	Cu	Nb
	0,018	0,002	0,047	0,015
	S	Cr	Mo	
	0,019	0,093	0,066	
	Ti	V	Fe	
<0,002	0,01	bal.		

Berdasarkan hasil komposisi digunakan *schaeffler diagram* untuk menentukan filler yang digunakan dan juga untuk memprediksi fasa apakah yang terbentuk. Perhitungan dari *schaeffler diagram* digunakan untuk menentukan filler yang akan digunakan. Dalam perhitungan kali ini, dilusi yang dihasilkan diasumsikan sebagai total 25%, yaitu 12,5% di bagian *stainless steel* 316L dan 12,5% di bagian *structural steel* dikarenakan nilai tersebut merupakan nilai yang ideal. Nilai persentase dari dilusi tersebut merupakan nilai teoritis. Hal yg dilakukan pertama kali ada mencari Cr_{eq}/Ni_{eq} dari

masing masing material yaitu kedua base metal dan filler metal.

Untuk mencari Cr_{eq} dan Ni_{eq} dapat menggunakan rumus berikut:

$$Cr_{equivalent} = \%Cr + \%Mo + \%Si + (0,5 \times \%Nb) + (2 \times \%Ti) \quad (2)$$

$$Ni_{equivalent} = \%Ni + 30 \times \%C + 0,5 \times \%Mn \quad (3)$$

Dengan menggunakan rumus di atas didapatkan hasil pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan Ni_{eq} dan Cr_{eq}

Material	Cr_{eq}	Ni_{eq}
SS 316L	20,84	11,615
ER 309 L	24,2	13,4
Structural Steel	0,83	0,99

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan dilusi sebesar 25% ditentukanlah penggunaan filler ER309L dikarenakan dengan menggunakan filler tersebut dapat dihasilkan nilai *delta ferrite* sebesar 5% hingga 10%. Nilai tersebut merupakan nilai yang ideal. Jika *delta ferrite* yang dihasilkan dari pengelasan memiliki nilai lebih rendah dari 5% dapat memperbesar kemungkinan terjadinya *solidification crack*, sedangkan jika melebihi dari 10% hasil pengelasan akan beresiko korosi selektif yang diketahui sebagai *intragranular corrosion*. Komposisi dari filler ER309L adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Tabel komposisi filler ER309L (%wt)

Kode Sampel	C	Si	Mn	P
ER309L	0,03	3,00	1,00	0,035
	Ni	Al	Cu	Nb
	12	0,002	0,047	0,02
	S	Cr	Mo	
	0,019	23	0,75	
	Ti	V	Fe	
<0,002	0,01	bal.		

Hasil dan Pembahasan

Visual Hasil Pengelasan

Berdasarkan Gambar 2 terdapat perubahan yang signifikan pada lebar *weld bead*. Pada saat dibandingkan, spesimen pada 175A dengan arus pengelasan 215A memiliki perubahan lebar *weld bead* yang signifikan. Perubahan ini disebabkan karena mesin yang digunakan, yaitu OPTIMARC CC/CV 500 dengan menggunakan *wire feeders* LWF-24 PLUS, merupakan jenis mesin GMAW yang dimana tingginya *wire feeding* tergantung dari nilai arus pengelasannya, dimana memiliki range *wire feeding* dari 1,5 hingga 18m/min. Semakin tinggi nilai arus pengelasan maka semakin tinggi juga *wire feeding*-nya.

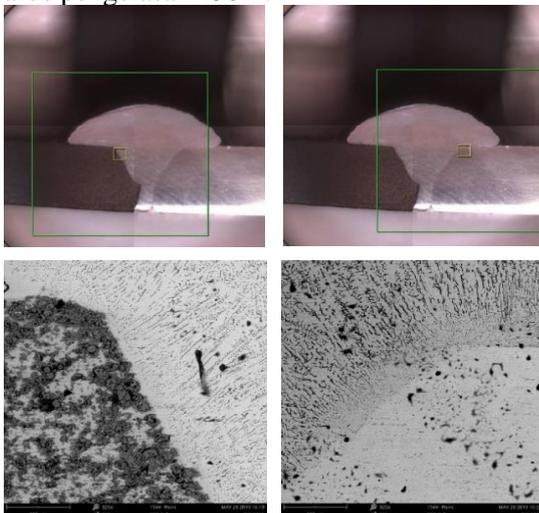


Gambar 2. Hasil pengelasan dengan arus pengelasan a) 175A, b) 185A, c) 195A, d) 205A dan e) 215A

Berdasarkan hasil pengelasan dapat dilihat bahwa tinggi dari *weld bead* dari masing-masing parameter arus pengelasan 175A - 215A kurang dari 6mm. Tinggi dari *weld bead* ini sudah sesuai dengan AWS D1.5. Untuk pengujian selanjutnya digunakan spesimen dengan menggunakan arus pengelasan 195 A.

Hasil pengujian SEM & EDX

Pada penelitian ini, pengujian menggunakan SEM & EDX yang dimulai dengan SEM dilanjutkan dengan penggunaan mesin EDX dengan cara melintang dari daerah baja atau *stainless steel* ke daerah *fusion zone* melalui *fusion boundary* (Gambar 3). Pengambilan gambar untuk uji SEM dilakukan pada 3 titik yaitu pada daerah *fusion boundary* pada masing-masing material yaitu *stainless steel* dan *structural steel*, dan titik terakhir adalah *fusion zone*. Pada pengujian ini menggunakan plat yang dimana secara visual menghasilkan penetrasi penuh disini menggunakan pelat yang pengelasannya menggunakan parameter arus pengelasan 195A.

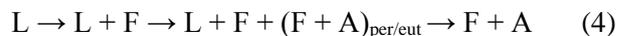


Gambar 3. *Fusion boundaries* dari masing-masing base metal

• Base metal *stainless steel* dengan filler metal

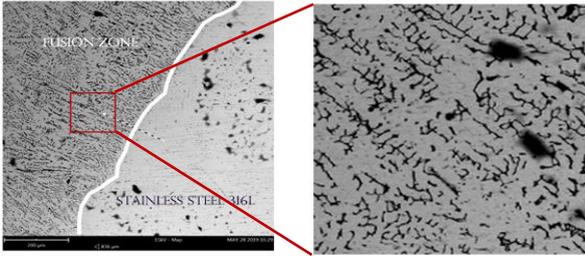
Pada hasil las pada bagian logam *austenitic stainless steel* pada bagian mikrostruktur di FZ (Gambar 4) terdiri dari matriks *Austenitic* (putih) dengan *Vermicular ferit*. Hal ini menandakan bahwa mikrostruktur tersebut memiliki solidifikasi tipe FA (*Ferrite + Austenite*) [3].

Solidifikasi FA bermula dari solidifikasi ferit primer. Solidifikasi *ferrite* tersebut menghasilkan reaksi *peritectic-eutectic* dalam bentuk *austenite* sepanjang daerah segitiga 3 fasa. Ketika solidifikasi selesai mikrostruktur akan terdiri dari dendrit *primary ferrite* dengan *interdendritic layer austenite*. Jumlah *austenite* tersebut bergantung pada rasio Cr_{eq}/Ni_{eq} dan kondisi solidifikasi. Pada titik ini solidifikasi bergeser dari mode FA ke F. Pada saat hasil lasan mendingin melewati daerah dua fasa, yaitu *delta ferrite + austenite*, *ferrite* tersebut akan semakin tidak stabil dan *austenite* mulai mengkonsumsi *ferrite* melalui reaksi difusi terkontrol [3]. Terbentuknya *vermicular ferrite* merupakan konsekuensi dari peningkatan *austenite* mengkonsumsi *ferrite* hingga *ferrite* cukup diperkaya di elemen yang mendorong pembentukan *ferrite* dan habis di daerah elemen yang mendorong pembentukan *austenite*. Jika mode solidifikasi FA dijabarkan secara keseluruhan dapat menjadi seperti berikut:

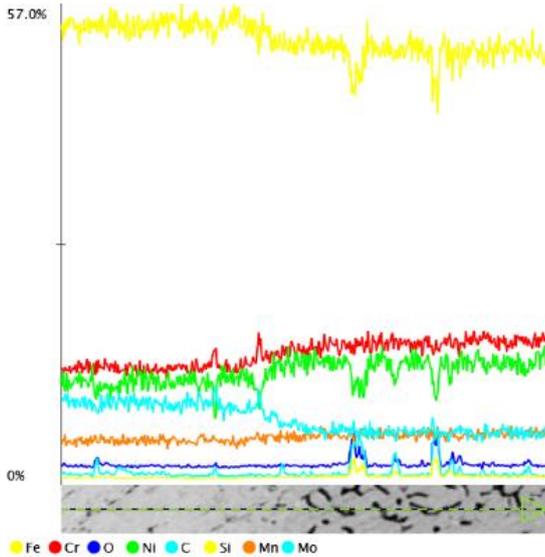


Elemen yang mendorong *ferrite* dalam pembentukan *ferrite* pada percobaan ini adalah Chromium dan molybdenum. Gambar 5 merupakan grafik EDX melintang dari 316L hingga filler ER309L. Dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan signifikan dari *chromium* dan penurunan signifikan terhadap *molybdenum*. Dibandingkan dengan jumlah elemen pendorong pembentukan *Austenite*, elemen pembentukan *ferrite* bisa dikatakan lebih rendah dibandingkan dengan elemen pembentukan *austenite*.

Elemen pembentukan *austenite* dalam hal ini berasal dari elemen Mangan dan Nickel dimana mangan itu sendiri merupakan elemen yang mendorong pembentukan *austenite*. Jika dilihat dari EDX yang ditarik melintang dari base metal hingga FZ, dapat dilihat bahwa terdapat kenaikan signifikan elemen Mn dan Ni pada daerah FZ. Tingginya Mn dan Ni mendorong pembentukan *austenite* dimana *austenite* tersebut nantinya memakan daerah *ferrite* melalui difusi terkontrol.



Gambar 4. Miskroskopis fusion boundary stainless steel 316L dengan filler metal ER309L



Gambar 5. Diagram hasil pengujian EDX melintang stainless steel 316L hingga filler ER309L

Pada grafik EDX dapat juga disimpulkan bahwa ketahanan korosi terutama tipe korosi *pitting corrosion* dan *crevice corrosion* pada *fusion zone* lebih rendah dibandingkan di daerah *base metal stainless steel 316L*. Hal itu disebabkan karena tingkat elemen *Molybdenum* pada daerah *fusion zone* lebih rendah dari *base metal stainless steel 316L*. *Molybdenum* sendiri merupakan elemen yang berguna untuk menahan titik aktif pada *stainless steel* dengan membentuk *oxy-hydroxide* atau bisa disebut *molybdate*.

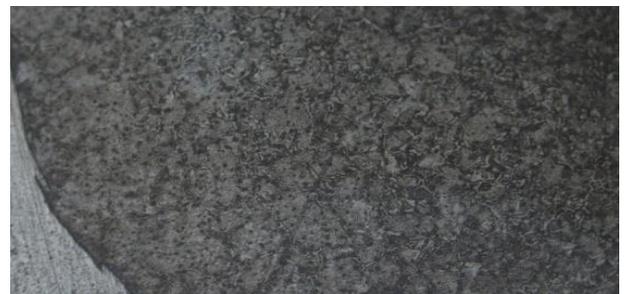
Tabel 6. Massa elemen berdasarkan hasil uji EDX melintang stainless steel 316L hingga filler ER309L

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
26	Fe	Iron	48.88	59.64
24	Cr	Chromium	15.39	17.48
28	Ni	Nickel	8.67	11.11
8	O	Oxygen	14.74	5.15
6	C	Carbon	8.40	2.20
42	Mo	Molybdenum	0.88	1.84
25	Mn	Manganese	1.18	1.42
14	Si	Silicon	1.87	1.15

• **Base metal structural steel**

Pada Gambar 7 pada bagian *fusion boundary* antara *structural steel* dengan *stainless steel* menunjukkan adanya perubahan *grain size* dimana

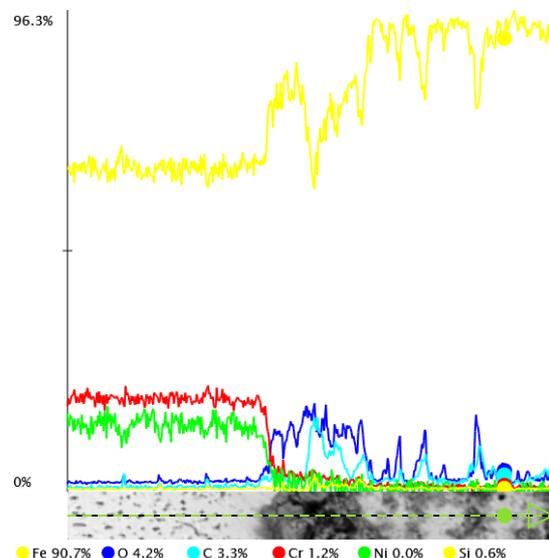
semakin menjauhi FZ ukuran dari *grain* semakin kecil. Hal ini membuktikan adanya fenomena rekristalisasi dan *grain growth*. Salah satu dampak dari fenomena ini adalah pengurangan nilai kekerasan. Semakin besar *grain growth* maka semakin besar ruang untuk terjadinya pergeseran antar *grain* sehingga hal ini menyebabkan meningkatnya *ductility*. Seperti yang dilihat pada Gambar 7, semakin menjauhi daerah fusi maka semakin kecil ukuran *grain*. Kecilnya *grain* tersebut disebabkan karena daerah tersebut cukup jauh dari *fusion zone* sehingga efek dari temperatur tidak terlalu besar pada daerah ini, sehingga mikrostruktur yang terbentuk pada daerah ini ialah *fine grain* akibat terjadinya peristiwa rekristalisasi dan belum terjadinya *grain growth*.



Gambar 6. Gambar miskroskopis structural steel pada daerah fusion boundary



Gambar 7. Perubahan ukuran grain pada structural steel

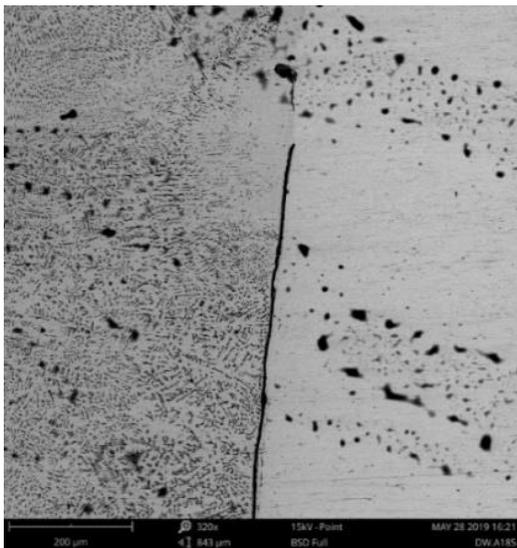


Gambar 8. Diagram hasil pengujian EDX melintang structural steel hingga filler ER309L

Tabel 7. Massa elemen berdasarkan hasil uji EDX melintang *structural steel* 316L hingga *filler* ER309L

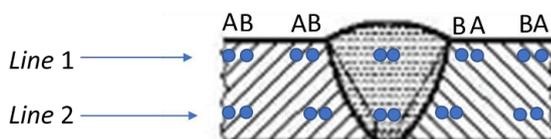
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
26	Fe	Iron	40,32	65,32
8	O	Oxygen	25,10	11,65
6	C	Carbon	24,80	8,64
24	Cr	Chromium	5,37	8,10
28	Ni	Nickel	3,03	5,17
14	Si	Silicon	1,38	1,12

Selain pengujian menggunakan pelat dengan parameter 195A, dilakukan juga pengujian dengan plat yang menggunakan parameter arus pengelasan sebesar 185 A. Pada hasil pengujian SEM ditemukan adanya cacat pengelasan. Cacat tersebut ditemukan pada bagian *root face* di bagian antara *fusion zone* dengan base metal *stainless steel* 316L seperti terlihat pada Gambar 9. Cacat tersebut dikarenakan kurangnya *fusion*. Kurangnya *fusion* di *root face* terjadi karena pengaturan parameter yang kurang tepat, pembersihan yang tidak benar, *welding speed* yang tinggi, adanya oksida, dan lain-lain, yang menyebabkan *weld metal* tidak berfusi secara baik dengan *base metal* [4].

**Gambar 9.** Defect pada *fusion boundary* dikarenakan kurangnya penetrasi pengelasan

Vicker Microhardness Test

Profil dari *microhardness* test diambil di lima titik. Lima titik tersebut adalah *base metal* dari masing-masing material, HAZ masing masing material, dan yang terakhir adalah *fusion zone*. Uji coba ini menggunakan alat MITUYOTO *Microhardness Test* dimana menggunakan *load* sebesar 500 gr dengan *dwelling time* sebesar 15-20 detik. Pengambilan dari lima titik tersebut diambil sebanyak dua kali. Berikut adalah tabel hasil dari *vicker hardness test*:

**Gambar 10.** Skema indentasi *Microhardness Test*

Dalam barisan pertama pengukuran, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Pada *Line 1*, maksimum kekerasan *base metal* berkisar dari 170 HV hingga 179 HV untuk *structural steel*. Pada daerah HAZ *structural steel* terdapat kenaikan nilai yang cukup signifikan menjadi 200 HV hingga 197 HV. Kenaikan tersebut dapat menandakan terjadinya rekristalisasi yang disebabkan oleh panas yang dihasilkan oleh pengelasan memberikan energi yang cukup untuk terjadinya proses rekristalisasi seperti terlihat pada Gambar 2. Pada daerah *fusion zone* didapatkan *microhardness* dengan nilai 158 HV hingga 160 HV. Dibandingkan dengan daerah lain *fusion zone* memiliki nilai *microhardness* lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh nilai *austenite* yang dominan yang disebabkan oleh elemen pembentuk *austenite* pada *filler* yang digunakan yaitu ER309L seperti pada Gambar 2. Pada bagian *base metal stainless steel* 316L didapatkan nilai sebesar 159 HV hingga 166 HV. Pada bagian HAZ *stainless steel* 316L didapatkan kenaikan sebesar 2 – 4 poin dimana menjadi 163 HV hingga 168 HV. Kenaikan tersebut cukup rendah dikarenakan nilai elemen molybdenum yang tinggi dan jumlah Niobium yang rendah serta adanya elemen Titanium dan Vanadium. Elemen-elemen tersebut efektif dalam pencegahan *grain growth*. Pada sample tersebut, *grain growth* pada logam 316L dapat dicegah karena tingginya elemen *molybdenum* dan rendahnya Niobium yang akhirnya menyebabkan ketiadaan HAZ atau mengurangi pertumbuhan HAZ di struktur mikro [2].

Pada baris kedua, maksimum kekerasan base metal berkisar dari 180 HV hingga 185 HV untuk *structural steel* dengan nilai HAZ sebesar 199 HV hingga 216 HV. Pada base metal *stainless steel* didapatkan nilai kekerasan sebesar 191 HV hingga 203 HV serta kekerasan pada HAZ sebesar 197 HV hingga 206 HV. Pada hasil FZ ditemukan *hardness* sebesar 193 HV hingga 198 HV.

Tabel 8. Hasil *microhardness test* stainless steel 316L dengan *structural steel*

Baris 1							
		D1 (A)	D2 (A)	HV (A)	D1 (B)	D2 (B)	HV (B)
<i>Structural</i>	<i>Base metal</i>	225,4	230,3	179	228,8	238,1	170
	HAZ	203,7	226	200	207,1	226,9	197
<i>Fusion Zone</i>		213,3	267,3	160	217,4	267,3	158
<i>Stainless Steel 316L</i>	HAZ	222	248,2	168	204,5	230,6	163
	<i>Base metal</i>	214	259,5	166	218,5	265,1	159
Baris 2							
		D1 (A)	D2 (A)	HV (A)	D1 (B)	D2 (B)	HV (B)
<i>Structural</i>	<i>Base metal</i>	224,3	223,5	185	224,3	230,3	180
	HAZ	210,5	221,3	199	202,5	212,3	216
<i>Fusion Zone</i>		207,1	231,4	193	201,4	231,4	198
<i>Stainless Steel 316L</i>	HAZ	216	249,3	197	215,5	247,8	206
	<i>Base metal</i>	217,4	223,5	191	211,7	215,7	203

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian tentang pengaruh parameter pengelasan terhadap mikrostruktur pada pengelasan *dissimilar stainless steel 316L* dan *structural steel* pada *gas metal arc welding* (GMAW), dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Besar lebar dari *weld bead* bergantung dengan arus pengelasan yang digunakan, dikarenakan semakin tinggi arus pengelasan maka semakin tinggi pula *filler feed* sehingga menyebabkan melebarnya *weld bead*.
- Arus pengelasan sangat berpengaruh kepada penetrasi suatu pengelasan. Jika arus pengelasan terlalu rendah dapat menyebabkan kurang penetrasi atau fusinya suatu plat. Hal ini ditunjukkan pada hasil uji coba SEM dengan menggunakan heat input sebesar 1134.67.
- Mikrostruktur yang dihasilkan pada *fusion zone* dengan *heat input* 1196 menghasilkan mikrostruktur dengan mode solidifikasi FA, dimana hal ini ditandai dengan kemunculan struktur *vermicular ferrite* yang disebabkan oleh tingginya elemen pendukung *Austenite* yaitu Mangan dan Nickel.
- Berdasarkan hasil uji coba *microhardness*. Dapat disimpulkan bahwa *fusion zone* memiliki *microhardness* yang lebih rendah di bandingkan dengan daerah lainnya dengan *microhardness* sebesar 158 HV hingga 160 HV pada baris 1 dan 193 HV hingga 198 HV.
- Berdasarkan hasil uji *microhardness* besar perubahan *microhardness* pada *stainless steel*

316L dari base metal ke HAZ sangat kecil dari 159 HV hingga 166 HV ke 163 HV hingga 168 HV. Hal ini dapat disebabkan karena adanya *molybdenum* yang menahan pertumbuhan butir atau dikarenakan terbentuknya *chrome karbida*.

Referensi

- Kou, S., 2003. *Welding metallurgy*. New Jersey, USA, 431-446.
- Khalifeh, A.R., A. Dehghan, and E. Hajjari, 2013. Dissimilar joining of AISI 304L/St37 steels by TIG welding process. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)* 26, 721-727.
- Lippold, J.C. and D.J. Kotecki, 2005. *Welding metallurgy and weldability of stainless steels. Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*, by John C. Lippold, Damian J. Kotecki, pp. 376. ISBN 0-471-47379-0. Wiley-VCH, March 2005., 376.
- Biswas, A.R., et al., 2018. Study Of Parametric Effects On Mechanical Properties Of Stainless Steel (AISI 304) And Medium Carbon Steel (45C8) Welded Joint Using GMAW. *Materials Today: Proceedings* 5, 12384-12393.