

ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS *SHIELDING METAL ARC WELDING* PADA PLAT MILD STEEL SS400

¹⁾Enah Setianingrum, ²⁾R. Hengki Rahmanto, ³⁾Novin Syahputra

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam 45 Bekasi,

¹⁾enah_setianingrum@yahoo.com, ²⁾hengki.rahmanto@gmail.com

Abstrak

Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW) atau sering disebut dengan las elektroda terbungkus adalah proses pengelasan dimana panas dihasilkan dari busur listrik antara ujung elektroda dengan logam yang dilas. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama. Pada penelitian ini menggunakan Plat Mild Steel SS400 yang merupakan baja karbon rendah. Material diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 120 A, 130 A dan 140 A dengan menggunakan las Shielding Metal Arc Welding (SMAW) DC+ polaritas terbalik dan elektroda AWS A5.1 E6013 tipe RD 260 diameter 3.2 mm. Jenis kampuh sambungan yang digunakan yaitu Single "V" Groove sudut 60°, dengan posisi pengelasan datar (Flat Position / 1G). Spesimen yang sudah di las kemudian dilanjutkan dengan pengujian tarik, uji kekerasan Rockwell, dan pengamatan struktur mikro.

Kata Kunci: *Shielding Metal Arc Welding (SMAW), Plat Mild Steel SS400, Elektroda AWS A5.1 E6013 Ø3.2mm. Destructive Testing (DT) dan Non Destructive Testing (NDT)*

Abstract

Shielding Metal Arc Welding (SMAW) is welding process where heat is generate from electric arc between the end of electrode and the base metal. Because of the heat from this arc, so the base metal and the end of electrode melt and freeze together. In this research, used Mild Steel Plate SS400 which is low carbon steel. The material gived welding treatment with current variations of 120 A, 130 A and 140 A with Shielding Metal Arc Welding (SMAW) DC+ and electrode AWS A5.1 E6013 type RD 260 diameter 3.2 mm. Type of connection used single "V" groove with angle 60°, with flat position (1G). Specimens had welded then did tensile test, hardness test, and observation of microstructure.

Keywords: *Shielding Metal Arc Welding (SMAW), Plate Mild Steel SS400, Electrode AWS A5.1 E6013 Ø3.2mm. Destructive Testing (DT) and Non Destructive Testing (NDT).*

PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan karena sambungan las mempunyai peranan penting dalam bidang rekayasa dan reparasi atau perbaikan logam. Untuk memperoleh hasil pengelasan yang optimal diperlukan pengetahuan yang mendalam baik pengetahuan tentang material maupun pengetahuan tentang proses pengelasan. Dari semua jenis logam yang ada, tidak semua jenis logam memiliki sifat mampu las yang baik dan dapat dilas dengan semua jenis pengelasan. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang cukup baik diantaranya adalah baja karbon rendah. Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada, dan mempunyai kepekaan retak las yang rendah dibandingkan dengan baja karbon lainnya (Wiryosumarto, 2000).

Plat *Mild Steel SS400* merupakan baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam bidang konstruksi. Produk yang dihasilkan pada baja ini seperti *Conveyor CC7, Meja Cetakan PCI Girder, Ducting, Painting Booth, Dust Collector, Screw Cyclone, Storage Bin* dan lain sebagainya. Pada pembuatan produk di bidang konstruksi ini, banyak melibatkan proses pengelasan. Pengelasan yang sering digunakan yaitu las busur elektroda terbungkus atau *Shielding Metal Arc Welding (SMAW)*. Pemilihan metode pengelasan ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien.

Hasil pengelasan pada beberapa produk konstruksi, ditemukan beberapa cacat las seperti *porosity*. Selain disebabkan oleh prosedur pengelasan yang kurang baik, kegagalan pengelasan ini diakibatkan oleh pemilihan parameter las yang kurang tepat. Dalam jenis cacat las ini, parameter yang berkaitan langsung yaitu kesalahan penggunaan besar arus las. Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan (Arifin, 1997).

METODE

Proses pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Shielded Metal Arc Welding (SMAW) DC+* polaritas terbalik dengan menggunakan material Plat *Mild Steel SS400* ketebalan 12 mm. Material ini tergolong dalam baja karbon rendah, Adapun komposisi kimia yang terkandung dalam material ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Plat Mild Steel SS400

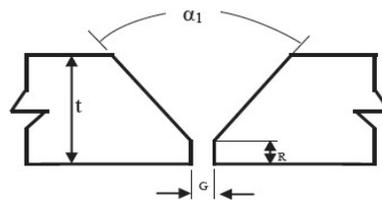
Chemical Composition (%)						Tensile Test		
C	Si	Mn	P	S	Al	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	EL (%)
0.177	0.187	0.683	0.012	0.002	0.044	342	473	26

Sedangkan kawat las yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan karakteristik material dasar yang akan dilas dan metode proses pengelasan yang digunakan. Elektroda untuk proses SMAW yaitu elektroda terbungkus dengan spesifikasi AWS A5.1 E6013 tipe RD 260 diameter 3.2 mm dengan komposisi kimia seperti Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kimia Elektroda AWS A5.1 E6013

Chemical Composition									Mechanical Properties		
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	EL (%)
0.08	0.5	0.3	0.02	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	520	430	28

Jumlah spesimen untuk setiap variabel yang berbeda dibuat 3 spesimen dikalikan jumlah variabel, maka jumlah spesimen yang disiapkan berjumlah 9 buah dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 200 mm dan tebal 12 mm. Pembuatan kampuh *Single "V" Groove* menggunakan mesin *milling*. Setelah material dipotong kemudian permukaan digambr dengan spidol dan diperjelas dengan penggores. Tepi permukaan diukur sedalam 2 mm dan diukur dengan pengukur sudut sehingga benar-benar terbentuk sudut 30°. Setelah material digambar material dicekam dan dilakukan proses *milling* dua buah material dengan sudut 30° (Gambar 1).

**Gambar 1. Kampuh Single "V" Groove**

Proses Pengelasan SMAW

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengelasan dalam penelitian ini adalah:

1. Mempersiapkan mesin las *SMAW* DC sesuai dengan pemasangan polaritas terbalik dimana kutub positif (+) dihubungkan dengan batang elektroda dan kutub negative (-) dihubungkan dengan logam induk.
2. Mempersiapkan benda kerja yang akan dilas pada meja las.
3. Sebelum proses pengelasan dimulai, logam induk dibersihkan dari kotoran debu, minyak, oli dan lain sebagainya untuk menghindari terjadinya cacat las.
4. Posisi pengelasan yang digunakan yaitu posisi pengelasan datar (*Flat Position / 1G*).
5. Kampuh yang digunakan yaitu sambungan *Single "V" Groove* dengan sudut 60°, dengan jarak celah plat 3 mm, tinggi akar 3 mm.
6. Mempersiapkan elektroda yang digunakan dalam penelitian ini yaitu AWS A5.1 E6013 tipe RD 260 diameter 3.2 mm.
7. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Selanjutnya material uji tersebut dilas dengan prosedur dan cara pengelasan yang sesuai serta berdasarkan parameter-parameter yang sudah ditentukan yaitu pengelasan dengan arus pengelasan 120 A, 130 A, 140 A.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengelasan SMAW

Hasil pengelasan Plat *Mild Steel* SS400 dengan metode SMAW. Pada setiap hasil pengelasan, material akan terbagi menjadi tiga lokasi yang memiliki sifat berbeda. Lokasi pada material hasil pengelasan yaitu daerah *Weld Metal*, daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan *Base Metal*.

Hasil Perhitungan Masukan Panas (Heat Input)

Besarnya masukan panas yang terjadi selama proses pengelasan berlangsung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Masukan Panas (Heat Input)

Code	Arus (A)	Dimensi (mm)		A_o (mm ²)	F_y (kN)	F_u (kN)	(σ_y)		(σ_u)		L_o	L_l	ϵ (%)
		Lebar	Tebal				(MPa)	(Psi)	(MPa)	(Psi)			
A	120	39.61	11.38	450.76	143	207	317	46.012	459	66.605	200	248.21	24
B	130	39.83	11.36	452.47	145	208	320	46.479	460	66.674	200	244.11	22
C	140	40.17	11.31	454.32	143	207	315	45.652	456	66.083	200	246.14	23

Dari Tabel 3 diketahui bahwa terjadi peningkatan total *heat input* yang dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan (*travel speed*) dan kuat arus pengelasan. Kecepatan pengelasan yang relatif pelan akan menghasilkan *heat input* yang rendah, dimana energi panas banyak menyebar kebagian logam, sehingga semakin banyak pula daerah yang terpengaruh panas. Hal ini akan memperlambat pencairan elektroda pada logam induk di daerah kampuh las, sehingga terjadi penambahan butir kristal dan perubahan bentuk dari struktur mikro di beberapa lokasi daerah las. Sebaliknya dengan kecepatan pengelasan yang cepat akan menghasilkan *heat input* yang tinggi, maka daerah yang terpengaruh panas las menjadi sempit.

Hasil Uji Tarik

Prinsip dari pengujian tarik yaitu spesimen atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu ditarik dengan beban kontinyu sambil diukur pertambahan panjangnya. Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan. Dalam pengujian tarik ini akan didapatkan besar beban maksimum pada material hasil pengelasan saat mengalami plastisitas hingga putus. Selanjutnya Tabel 4. diolah dan disajikan dalam bentuk grafik dengan keterangan seperti pada Tabel 4.

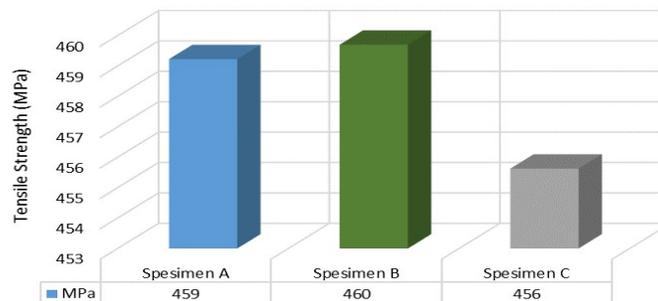
Tabel 4. Data Hasil Pengujian Tarik

Code	Electrode	Current (A)	Voltage (V)	Polarity	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
A	E6013 type RD 260 Ø 3.2 mm	120	21	DC+	142	1.07
B	E6013 type RD 260 Ø 3.2 mm	130	21	DC+	149	1.10
C	E6013 type RD 260 Ø 3.2 mm	140	21	DC+	152	1.16

Keterangan:

- A_o = Luas penampang
- F_y = Beban luluh
- F_u = Beban tarik
- σ_y = Tegangan luluh
- σ_u = Tegangan tarik
- ϵ = Regangan

Grafik Tensile Strength (MPa)

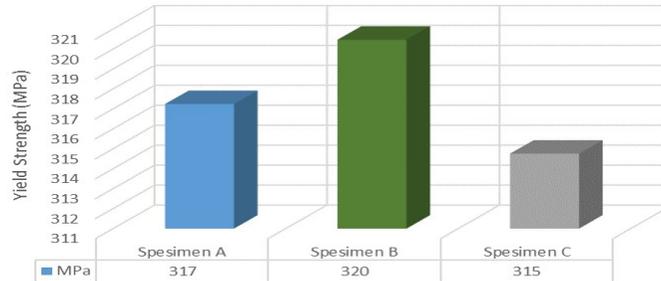


Gambar 2. Grafik Tensile Strength (MPa)

Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik spesimen C pada arus 140 A dengan nilai 456 MPa mempunyai nilai yang paling kecil di antara variasi arus pengelasan 120 A dan 130 A. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengelasan dengan arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan

menambah kerapuhan dari hasil pengelasan. Sedangkan pada spesimen A arus 120 A nilai kekuatan tariknya yaitu 459 MPa dimana hanya selisih 1 MPa lebih kecil dari spesimen B arus 130 A yang nilainya 460 MPa. Penggunaan arus las yang stabil pada spesimen B ini menyebabkan penembusan dan nyala busur yang baik serta kekuatan tarik yang tinggi.

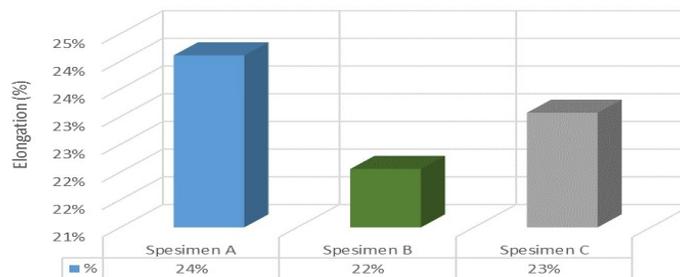
Grafik Yield Strength (MPa)



Gambar 3. Grafik Yield Strength ((MPa)

Hasil pengujian tarik terlihat bahwa arus 130 A terhadap kekuatan luluh mempunyai nilai kekuatan paling tinggi yaitu 320 MPa, diikuti oleh arus 120 A dengan nilai 317 MPa dan nilai terendah terdapat pada arus 140 A yaitu 315 MPa.

Grafik Elongation (%)



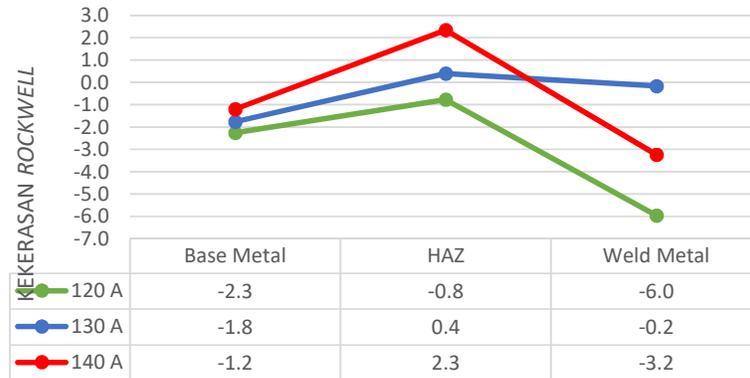
Gambar 4. Grafik Elongation (%)

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai elongation yang dihasilkan pada tiap spesimen tidak ada perbedaan yang signifikan. Nilai elongation tertinggi yaitu spesimen A arus 120 A dengan prosentase 24%. Pada spesimen C arus 130 A nilainya 23% dan spesimen B nilainya 22%. Perbedaan elongation dari setiap spesimen diakibatkan oleh perambatan heat input kesegala arah yang dapat menyebabkan pertumbuhan struktur kristal di daerah terpengaruh panas.

Hasil Uji Kekerasan

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell (HRC)

Spesimen	Titik	Kekerasan Rockwell (HRC)		
		Base Metal	HAZ	Weld Metal
A (120 A)	1	1.0	1.1	-1.7
	2	-2.4	-1.6	-2.2
	3	-5.4	-1.8	-14.0
Rata-rata		-2.3	-0.8	-6.0
B (130 A)	1	-3.4	-2.3	-0.3
	2	-1.8	-0.9	-2.3
	3	-0.1	4.4	2.1
Rata-rata		-1.8	0.4	-0.2
C (140 A)	1	-6.7	-1.9	-14.7
	2	-0.2	5.5	4.5
	3	3.3	3.4	0.5
Rata-rata		-1.2	2.3	-3.2



Gambar 5. Grafik Kekerasan Rockwell Tiap Spesimen

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell*, untuk mengetahui tingkat kekerasan sambungan las pada tiga lokasi yaitu daerah *Base Metal*, daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* dan *Weld Metal*. Nilai kekerasan dari setiap spesimen dimasukkan kedalam Tabel 5.

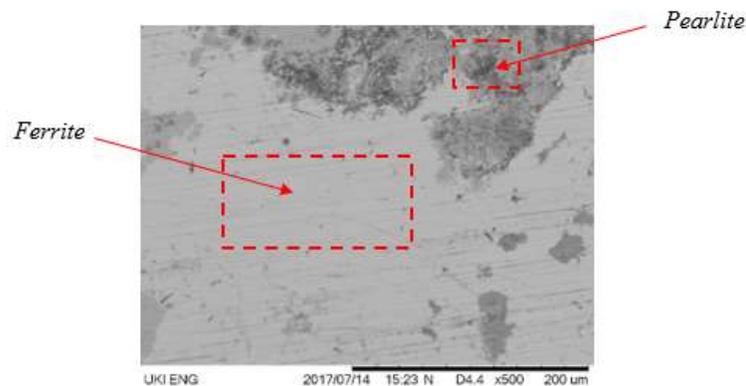
Dalam proses pengujian kekerasan di daerah *base metal* dari beberapa parameter arus 120 A, arus 130 A, dan arus 140 A tidak terjadi perubahan nilai kekerasan yang cukup signifikan, hal ini dikarenakan daerah *base metal* tidak terpengaruh panas secara langsung. Pada daerah *base metal* tidak terjadi perubahan yang besar karena pada daerah ini panas yang terjadi relatif kecil sehingga tidak sampai merubah struktur butiran pada material induk dan nilai kekerasan cenderung hampir sama atau mendekati.

Daerah HAZ yang sangat sensitif, mengakibatkan nilai kekerasan pada daerah HAZ meningkat jika dibandingkan dengan daerah *base metal*. Pada daerah HAZ struktur mikro ukuran butir *perlit* berubah menjadi lebih halus dibandingkan di daerah lainnya sehingga semakin banyak *grain boundary* yang dapat menghalangi terjadinya dislokasi yang membuatnya lebih keras.

Gambar 5 menunjukkan nilai uji kekerasan *Rockwell*, terlihat bahwa nilai kekerasan pada spesimen A, B dan C semakin bertambah besar ketika titik uji kekerasan dari daerah *Base Metal* ke daerah HAZ, dan sebaliknya terdapat penurunan nilai kekerasan pada daerah *Weld Metal*. Nilai kekerasan pada spesimen A arus 120 A pada daerah *Base Metal* yaitu -2.3 HRC, HAZ -0.8 HRC dan pada *Weld Metal* nilainya -6.0 HRC. Pada spesimen B arus 130 A nilai dari kekerasan pada *Base Metal* yaitu -1.8 HRC, HAZ 0.4 HRC dan pada *Weld Metal* nilainya -0.2 HRC. Sedangkan pada spesimen C arus 140 A nilai kekerasannya pada daerah *Base Metal* yaitu -1.2 HRC, HAZ 2.3 HRC dan pada *Weld Metal* nilainya -3.2 HRC.

Hasil Uji Struktur Mikro

Struktur Mikro pada Daerah *Base Metal*

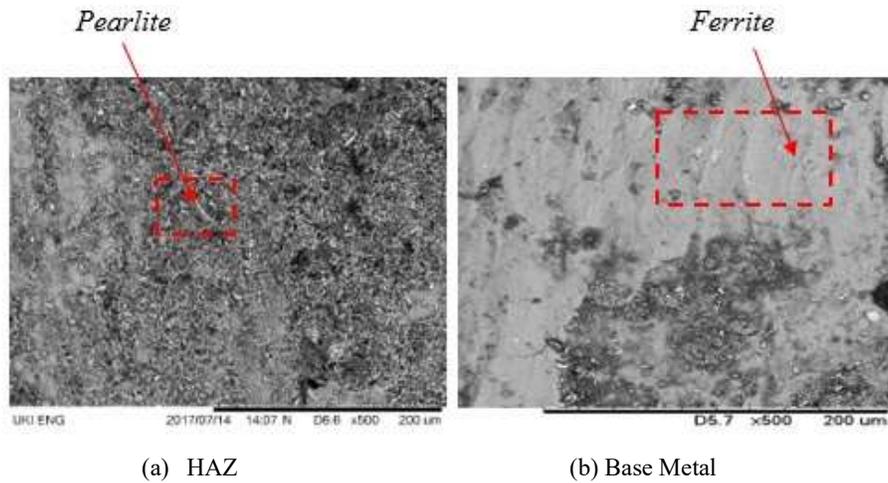


Gambar 6. Struktur Mikro daerah *Base Metal*

Struktur mikro *base metal* pada gambar 4.8 didominasi butir-butir *ferrite* yang berwarna putih (terang), sedangkan fasa *pearlite* lebih sedikit (berwarna gelap). Butir *ferrite* cenderung lebih halus dan lunak sedangkan butir

pearlite lebih kasar dan keras karena mengandung karbon. Adanya fasa *ferrite* dan *pearlite* pada *base metal* ini menandakan bahwa baja bersifat tidak keras namun ulet.

Struktur Mikro pada Spesimen A (120 A)

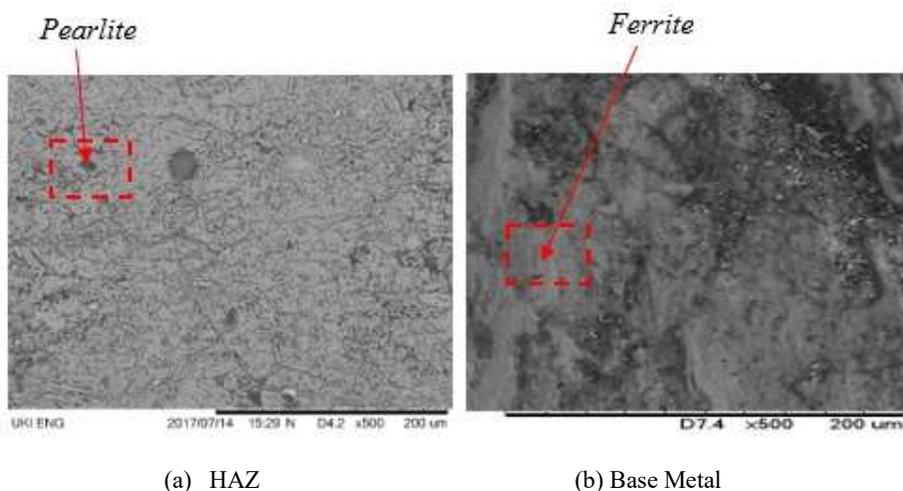


Gambar 7. Struktur Mikro Spesimen A (120A)

Struktur mikro yang terbentuk pada daerah HAZ yaitu *pearlite*. Proses pengelasan yang dilakukan, menyebabkan prosentase fasa *pearlite* di daerah HAZ mengalami penurunan dibandingkan dengan daerah *base metal*. Ukuran butir fasa *pearlite* berubah menjadi lebih halus dibandingkan dengan daerah *base metal* ini mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan pada daerah HAZ, karena *grain boundary* yang semakin banyak dapat menghambat terjadinya dislokasi.

Pada daerah HAZ struktur kristal *martensit* terbentuk karena pengaruh dari unsur paduan dari base metal maupun elektroda yang digunakan. Struktur kristal ini terbentuk karena adanya unsur *mangan*, *nikel* dan *silicon* yang mempunyai pengaruh menaikkan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis (laju pendinginan minimal yang dapat menghasilkan 100% *martensit*). *Weld metal* merupakan daerah yang terbentuk dari logam cair dari hasil campuran antara logam yang disambung dengan elektroda. Pada daerah ini mempunyai struktur mikro yang kompleks seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9 (b), dimana daerah ini didominasi oleh struktur kristal *ferrite* yang berwarna putih.

Struktur Mikro pada Spesimen B (130 A)

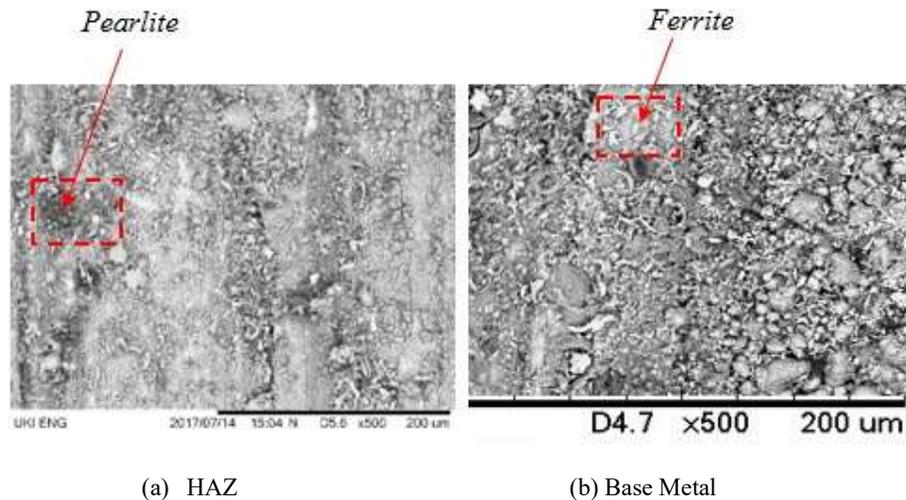


Gambar 8. Struktur Mikro Spesimen B (130A)

Daerah HAZ pada spesimen B arus 130 A terlihat butiran *pearlite* dikarenakan adanya pendinginan yang lambat. Pada daerah *weld metal* terlihat fasa *ferrite* yang lebih dominan dari *pearlite* dan karbida berbentuk partikel

berwarna hitam kelam. Karbida adalah senyawa yang merupakan campuran karbon dengan unsur logam yang ada pada elektroda maupun *base metal*.

Struktur Mikro pada Spesimen C (140 A)



(a) HAZ

(b) Base Metal

Gambar 9. Struktur Mikro Spesimen C (140A)

Bentuk dan ukuran butir serta kandungan *pearlite* pada daerah HAZ ini mempunyai nilai yang berbeda jika dibandingkan dengan bentuk dan ukuran butir pada daerah *base metal*. Hal ini dikarenakan daerah HAZ mengalami siklus termal pengelasan. Semakin besar masukan panas yang dikenakan pada material akan menyebabkan luasan HAZ menjadi lebih besar dan merubah struktur mikro dari material menjadi butir-butir yang kasar. Pada besi yang berada pada fase *martensit* akan memiliki sifat yang kuat dan keras, akan tetapi besi ini juga bersifat getas dan rapuh. Struktur mikro ini terjadi karena pengaruh unsur tambahan yang terkandung pada *base metal*.

PENUTUP

Simpulan

1. Pengelasan pada plat *Mild Steel SS400* menghasilkan peningkatan total *heat input* yang dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan (*travel speed*) dan kuat arus pengelasan. Selain itu proses pengelasan juga mengakibatkan terjadinya perubahan struktur mikro dan sifat mekanik. Perubahan struktur mikro terjadi karena adanya siklus termal yaitu pemanasan yang diikuti dengan pendinginan akibat pengelasan. Struktur mikro pada daerah *base metal* didominasi butir-butir *ferrite* yang berwarna putih (terang), sedangkan fasa *pearlite* lebih sedikit (berwarna gelap). Pada daerah yang paling kritis yaitu HAZ terbentuk struktur mikro *pearlite* dan *martensite* yang terbentuk karena pengaruh dari unsur paduan dari *base metal* maupun elektroda yaitu *mangan*, *nikel* dan *silicon*. Sedangkan pada daerah *weld metal* terlihat fasa *ferrite* lebih dominan dari *pearlite* dan karbida yang merupakan campuran karbon dengan unsur logam yang ada pada elektroda maupun *base metal*. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terjadi pada HAZ. Dimana pada daerah tersebut terdapat banyak karbida sehingga berpengaruh terhadap sifat kekerasan material.
2. Penggunaan arus las yang tepat untuk pengelasan plat *Mild Steel SS400* sesuai dengan *heat input* yang telah ditentukan adalah pada arus 130 A dimana arus ini memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan arus 120 A dan 140 A. Kuat tarik yang dihasilkan pada arus 130 A adalah 460 MPa. Penggunaan arus las yang stabil ini menyebabkan penembusan dan nyala busur yang baik serta kekuatan tarik yang tinggi. Nilai kekerasan yang dihasilkan pada arus 130 A pada *Base Metal* yaitu -1.8 HRC, HAZ 0.4 HRC dan pada *Weld Metal* nilainya -0.2 HRC.

Saran

1. Pada saat melakukan pengelasan, sebaiknya dilakukan oleh *welder* yang kompeten dan prosedur pengelasan benar-benar dilakukan serta dilengkapi dengan alat pelindung diri sehingga dapat memenuhi kualitas dan sambungan las yang optimal dan standar keselamatan kerja.

2. Pada pengelasan Plat *Mild Steel SS400* dengan elektroda AWS A5.1 E6013 tipe RD 260 diameter 3.2 sebaiknya jangan menggunakan arus yang terlalu besar dan kecil. Jika menggunakan arus yang besar akan mengalami kesulitan dalam mengelas dan elektroda akan mencair terlalu cepat. Begitu juga sebaliknya, jika arus listrik yang digunakan terlalu kecil akan merubah sifat mekanik dari induk logam dan akan mengakibatkan tidak sempurnanya pencairan dari elektroda.
3. Untuk pengujian kekerasan sebaiknya mengambil titik uji lebih banyak dan tepat sasaran agar didapatkan data yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Japanese Industrial Standard. 1993. JIS Z 2241 Method of Tensile Test for Metallic Materials.
- Japanese Industrial Standard. 1992. JIS Z 2245 Method of Rockwell and Rockwell Superficial Hardness Test.
- Daryanto. Cetakan II:2013. Teknik Las. Penerbit Alfabeta. Bandung.
- Sonawan, H. Cetakan I:2004. Pengantar Unutk Memahami Proses Pengelasan Logam. Alfabeta. Bandung.
- Surdia, T., Saito S. Cetakan VI:2005. Pengetahuan Bahan Teknik. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- T. Sofyan, B. 2010. Pengantar Material Teknik. Salemba Teknika. Jakarta.
- Widharto, S. 2013. Welding Inspection. Penerbit Mitra Wacana Media. Bekasi.
- Windarto, S. 1986. Teknologi Pengelasan Logam. Gramedia. Jakarta.
- Wiryosumarto, H., Okumura, T. Cetakan XI:2014. Teknologi Pengelasan Logam. PT. Balai Pustaka (Persero). Jakarta Timur.
- Affi, Jon, dkk. No. 28 Vol.1 Thn. XIV November 2007 ISSN: 0854-8471. Pengaruh Lapisan Oksida Tambahan pada Elektroda E 6013 terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Lasan Baja Karbon Rendah. Teknik Mesin Universitas Andalas. Padang
- Budi Santoso, Trinova. dkk. Tahun 23, No. 1, April 2015. Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Las SMAW dengan Elektroda E7016. Teknik Mesin Universitas Negeri Malang
- Wibowo, Heri. dkk. Vol.7, No. 1 Tahun 2016: 5-12. Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36. Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- <http://riky-ramadhan.blogspot.co.id/2012/01/metalografi.html>
- <http://teknikmes.blogspot.co.id/2012/11/pengertian-las-listrik.html>
- <https://www.scribd.com/doc/246300848/Analisis-Struktur-Mikro>