



Pengelasan SMAW Baja Karbon Rendah menggunakan Elektroda E 309-16 ESAB dengan Posisi 1G

Djoko Andrijono* dan Ike Widyastuti

^aProgram Studi Teknik Mesin niversitas Merdeka Malang, Jl. Taman Agung no. 1, Malang, 64146,

*Corresponding author email: djoko.andrijono@unmer.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diterima: 05-01-2021
 Direvisi: 15-02-2021
 Disetujui: 01-03-2021
 Tersedia online: 02-03-2021

ABSTRACT

The study was conducted on the results of SMAW welding of low carbon steel with a carbon content of 0.16% C (mild steel), using filler electrodes E 309-16 ESAB at 1G welding position. The welding process uses a variety of cooling media after the welding process, are water, SAE 90 oil and open air. Initial testing is carried out by testing the chemical composition of the base metal and electrodes. Observations of the results of the welding were carried out in three zone of the weld, are the base metal, weld metal and the heat affected zone (HAZ): microstructure observations and hardness in the three welding zone with different variations of coolant. The hardness results seen based on the weld zone show the highest hardness occurs in the weld zone using water cooling media and the lowest hardness of the weld zone occurs in cooling using air. In the HAZ, the hardness obtained is higher than that of the base metal. The results of the microstructure observations in the three metal welding zone showed the formation of ferrite and pearlite phases in the use of different cooling media. The increase of hardness occurs due to the formation of finer grains as a result of differences in cooling media after the welding process.

Keywords: low carbon steel, welding area, coolant variation

ABSTRAK

Studi dilakukan terhadap hasil pengelasan SMAW baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,16% C (mild steel), menggunakan filler elektroda E 309-16 ESAB pada posisi pengelasan 1G Proses pengelasan menggunakan variasi media pendingin setelah proses pengelasan yaitu air, oli SAE 90 dan udara terbuka. Pengujian awal dilakukan melalui uji komposisi kimia logam induk dan elektroda. Pengamatan hasil pengelasan dilakukan pada tiga daerah lasan yaitu logam induk, logam lasan dan daerah pengaruh panas meliputi: pengamatan struktur mikro dan harga kekerasan pada tiga daerah pengelasan dengan perbedaan variasi media pendingin. Hasil pengujian kekerasan dilihat berdasarkan daerah lasan menunjukkan kekerasan yang tertinggi terjadi pada daerah lasan dengan menggunakan media pendinginan air dan harga terendah daerah lasan terjadi pada pendinginan menggunakan media udara. Pada daerah HAZ kekerasan yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan logam induk. Hasil pengamatan struktur mikro pada tiga daerah pengelasan logam menunjukkan terbentuknya fasa ferit dan perlit pada penggunaan media pendingin yang berbeda. Peningkatan kekerasan terjadi karena terbentuknya butiran yang lebih halus sebagai akibat perbedaan media pendingin setelah proses pengelasan.

DOI: 10.26905/jtmt.v17i1.5538

Kata Kunci: baja karbon rendah, daerah lasan, variasi media pendinginan

1. Pendahuluan

Sambungan las (butt weld) merupakan proses penyambungan dua buah logam atau lebih yang bersifat permanen atau disebut sambungan tetap baik menggunakan logam pengisi (filler metal) atau tanpa logam pengisi dan energi panas [1]. Beberapa kondisi pengelasan pada proses pengelasan yang dapat divariasikan yaitu a) berdasarkan jenis

sambungan seperti: sambungan tumpul (butt joint), sambungan tumpang (lap joint), b) berdasarkan posisi pengelasan, c) berdasarkan ukuran logam pengisi atau elektroda terhadap ketebalan logam induk. Selain itu proses pengelasan yang digunakan juga dapat mempengaruhi hasil pengelasan seperti: proses penggabungan dua permukaan logam induk pada temperatur di bawah titik leleh material yang disambung dan tanpa pemberian bahan tambah atau

logam pengisi (solid state welding), las cair atau las fusi (fusion welding), solder keras (soldering) dan solder lunak (brazing) [1], [5].

Pada penelitian ini dilakukan pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) yaitu las busur listrik elektroda terbungkus yang merupakan salah satu jenis las cair (fusion welding) dengan teknologi pengelasan menggunakan energi panas untuk mencairkan logam induk dan elektroda [4],[14]. Adapun posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi 1G. Menurut ASME atau kode posisi pengelasan ditentukan berdasarkan logam induk atau produk yang akan dilas. Posisi pengelasan untuk sambungan fillet dengan kode 1F, 2F, 3F dan 4F, sedangkan untuk sambungan kampuh (groove atau bevel) dengan kode 1G, 2G, 3G dan 4G, seperti tampak pada Gambar 1 [4].

Base metal atau logam induk yang digunakan adalah jenis baja karbon rendah. Pemilihan bahan ini disebabkan banyaknya aplikasi atau penggunaan baja rendah di masyarakat dengan memanfaatkan sifat baja karbon rendah meliputi: kekuatannya rendah (low strength) ulet (*ductile*), mampu dibentuk (*formability*), mampu dimesin (*machining*), mampu dilas (*weldability*), tidak dapat dikeraskan kecuali dilakukan pengerasan permukaan (*surface hardening*).

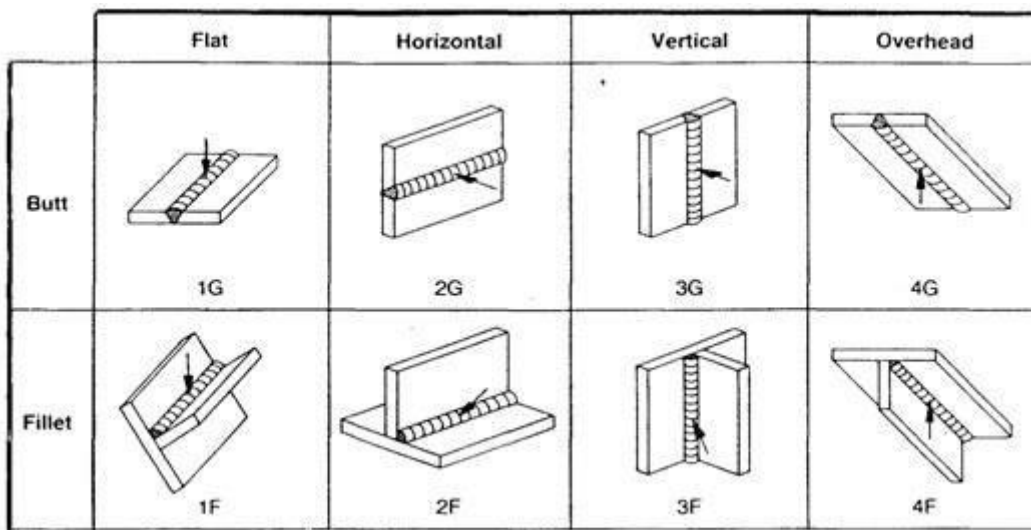
Proses pengelasan SMAW pada baja karbon rendah sebagai *base metal* dilakukan menggunakan *filler* atau logam pengisi berupa elektroda E 309-16 ESAB dengan posisi pengelasan 1G. Variasi yang dilakukan pada proses

pengelasan ini adalah media pendingin setelah proses pengelasan. Media pendingin yang digunakan adalah air, oli SAE 90 dan udara bebas. Pemilihan media pendingin dimaksudkan untuk memvariasikan kecepatan pendinginan hasil pengelasan dan diamati perubahan yang terjadi.

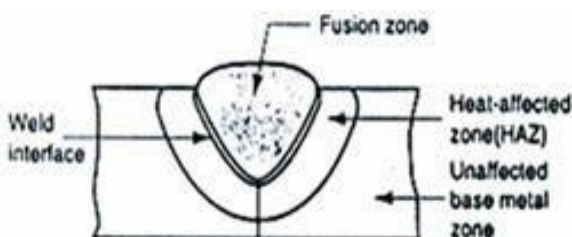
Pengujian dilakukan pada hasil sambungan las disebut daerah lasan (*weldment*) yang dibedakan menjadi 4 (empat) daerah yaitu: logam induk (*base metal*), daerah pengaruh panas (*heat affected zone - HAZ*), logam lasan atau deposit las (*weld deposit*) dan batas cair (*fusion line*) (Gambar 2) [12]. Selain itu juga dipelajari batas dan besar butir pada masing-masing daerah hasil proses pengelasan seperti pada Gambar 3 [12].

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro pada tiga daerah pengelasan yaitu logam induk, daerah HAZ dan daerah lasan/logam pengisi. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji keras Rockwell, sedangkan pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop logam yang terintegrasi dengan aplikasi *dynolite*.

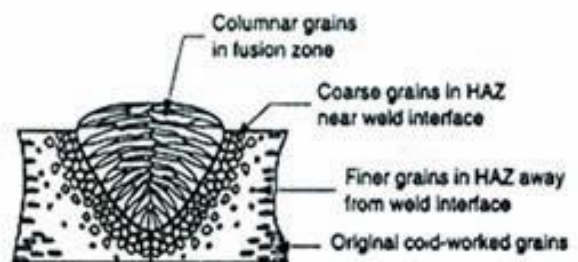
Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari perubahan yang terjadi pada daerah pengelasan baja karbon rendah setelah mengalami proses pengelasan SMAW menggunakan elektroda E 309-16 ESAB dengan posisi pengelasan 1G pada variasi media pendingin melalui hasil uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro.



Gambar 1. Posisi Pengelasan



Gambar 2. Daerah Lasan [12]

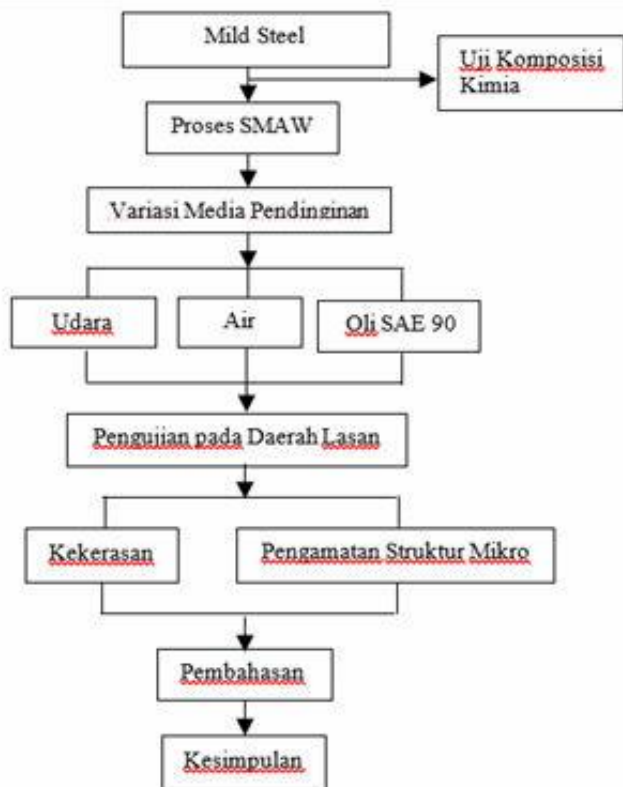


Gambar 3. Besar Butir Daerah Lasan [12]

2. Metode Penelitian

a. Diagram alir penelitian

Penelitian dalam pengujian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan seperti diagram alir berikut ini.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

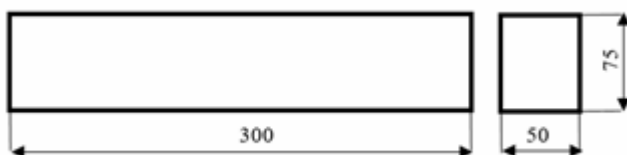
b. Bahan dan Alat

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Logam induk

Logam induk yang digunakan adalah baja karbon rendah yang termasuk dalam kelompok *mild steel* dengan ukuran seperti panjang 300 mm, lebar 50mm dan tebal 75mm sebanyak 10 potong (gambar 5)



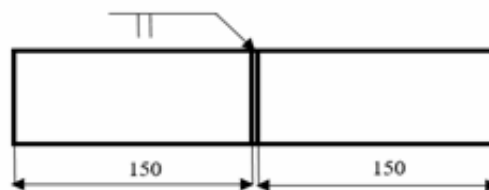
Gambar 5. Dimensi spesimen logam induk

2. Elektroda

Elektroda pengelasan SMAW digunakan elektroda terbungkus dengan spesifikasi E 309-16 (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget, ESAB):

- E : elektroda
- 309 : komposisi elektroda
- 1 : posisi pengelasan dengan segala arah
- 6 : jenis selaput fluks.
- 16 : jenis arus alternating current (AC).

Selanjutnya spesimen akan dilas SMAW dengan bentuk kampuh tumpul dengan posisi pengelasan 1G. Desain pengelasan seperti tampak pada gambar 6.



Gambar 6. Desain pengelasan SMAW menggunakan posisi kampuh pengelasan 1G

c. Tempat dan waktu penelitian

Pengujian awal dilakukan pada logam induk untuk menguji komposisi, dilakukan di PT. Ispat Indo Sidoarjo. Proses pengelasan dilakukan di Bengkel Las Sumber Rezeki Kota Malang. Sedangkan pengujian kekerasan dan struktur mikro dilakukan di laboratorium Metalurgi Fisik, Program Studi Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang.

Waktu penelitian dikerjakan selama kurang lebih 4 bulan.

d. Variabel penelitian

Parameter las

- Kuat arus listrik : 125 A.
- Posisi pengelasan : mendatar (1G).
- Diameter kawat elektroda : 3,2 x 350 mm.
- Kecepatan pengelasan : 0,35 cm/detik.

Variasi media pendingin

Setelah proses pengelasan dilakukan pendinginan menggunakan variasi media pendingin yaitu

- Air
- Oli SAE 90
- Udara bebas

e. Pengujian

Pengujian dilakukan pada logam induk sebelum proses pengelasan serta hasil pengelasan SMAW pada tiga daerah pengelasan yaitu logam induk, daerah HAZ dan daerah logam lasan (*filler*)

- Pengujian komposisi kimia

Metode pengambilan data uji komposisi kimia diperoleh menggunakan mesin quantometer, untuk mendapatkan unsur serta komposisi kimia logam induk dan elektroda terumpun E-309-16 sebagai logam pengisi dapat diketahui secara pasti.

- Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji keras Rockwell (gambar 7) dengan skala B. Indentor yang digunakan bola baja 1/16” dengan beban mayor 100kg dan beban minor 10kg. Skala angka kekerasan yang terbaca dalam HR_B.

- Pengamatan struktur mikro

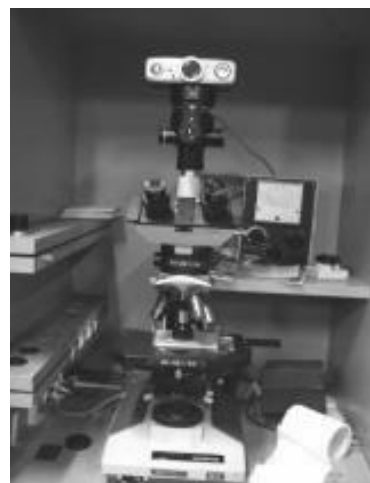
Pengamatan struktur mikro dilakukan pada permukaan potongan memanjang hasil lasan yang menunjukkan 3 (tiga) daerah pengelasan setelah proses pengelasan SMAW dengan variasi media pendingin. Tahap pengamatan struktur mikro

dilakukan melalui proses penggerindaan, pengamplasan, proses pemolesan, dan proses etsa. Etsa dilakukan dengan merendam daerah permukaan yang akan diamati ke dalam larutan nital 5%.



Gambar 7. Rockwell Hardness Tester

Sumber: Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang



Gambar 8. Mikroskop logam

Sumber: Laboratorium Uji Logam Jurusan Teknik Mesin FT. UNMER Malang

3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil pengujian komposisi kimia

Data hasil uji komposisi kimia menggunakan mesin quantometer, diperoleh komposisi unsur kimia dari baja karbon rendah (logam) dan elektroda E 309-16 sebagai berikut (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil uji komposisi

Bahan	Unsur kimia / Persentase												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Co	Sn	Fe	Mo	W
Logam Induk	0,160	0,303	0,537	0,010	0,033	0,011	0,018	0,033	0,007	0,005	98,90	-	-
Elektroda E 309-16	0,523	0,010	0,861	0,047	0,040	0,068	0,082	0,015	0,010	-	97,707	0,010	0,010

Sumber: PT. Ispat Indo Desa Kedungturi, Taman, Sidoarjo

Berdasarkan hasil uji komposisi dapat diketahui bahwa logam induk merupakan jenis baja karbon rendah (mild steel) sedangkan elektroda memiliki kandungan karbon sedang. Baja karbon rendah umumnya digunakan untuk pembuatan mur- baut, kawat, sekrup, rangka bangunan dan rangka kendaraan [1], [6]. Unsur kimia baja karbon rendah sebagai logam induk yang terpenting adalah unsur Mn dan C karena mempengaruhi sifat mampu las baja karbon rendah [14], sedangkan unsur-unsur yang lain seperti: 0,303 % Si, 0,010 % P, 0,033 % S, 0,011 % Cr, 0,018 % Ni, 0,033 % Al, 0,007 % Co, 0,005 % Sn merupakan unsur ikutan (impurities) (Tabel 1).

b. Hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan logam hasil pengelasan pada tiga daerah lasan menggunakan mesin Rockwell skala B diperoleh harga kekerasan seperti ditampilkan pada tabel 2.

Hasil pengujian kekerasan pada pengelasan dengan variasi tiga media pendingin menunjukkan hasil rata-rata kekerasan logam induk yang sama yaitu 61 HR_B. Hal ini menunjukkan bahwa logam induk merupakan daerah yang tidak terpengaruh panas pengelasan sehingga tidak berubah kekerasannya.

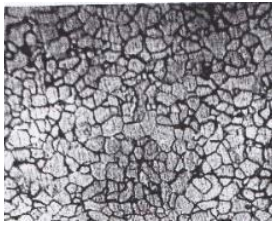
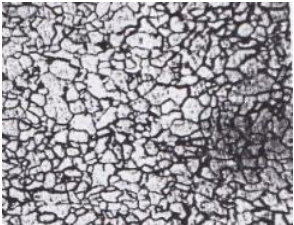

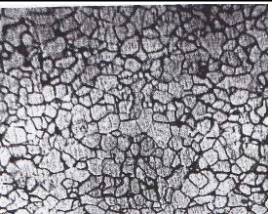
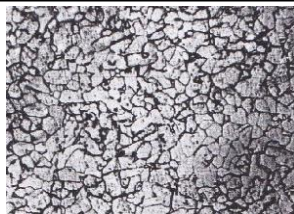

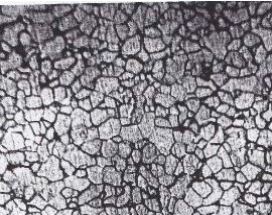

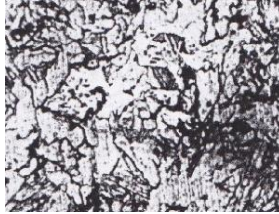
Secara umum perbandingan kekerasan dari ketiga daerah lasan, diperoleh harga kekerasan paling tinggi adalah pada daerah logam lasan dibandingkan daerah HAZ dan logam induk dengan kisaran 85 HR_B - 90 HR_B. Hal ini dapat disebabkan karena logam lasan merupakan elektroda E 309-16 ESAB yang memiliki kandungan karbon lebih besar dibandingkan logam induk, sehingga memungkinkan lebih banyak terbentuk besi karbida dengan adanya unsur Fe yang merupakan unsur utama dari elektroda. Besi karbida (Fe₃C) atau disebut juga dengan sementit merupakan fasa pada baja yang memiliki sifat lebih keras daripada fasa ferit. Senyawa sementit dan ferit akan membentuk fasa yang disebut perlit dan memiliki sifat lebih keras dibandingkan ferit.

Adapun kekerasan logam induk memiliki harga kekerasan paling rendah dibanding dua daerah lasan yang lain yaitu daerah HAZ maupun daerah logam lasan. Hal ini disebabkan karena logam induk memiliki kandungan karbon yang rendah yaitu sebesar 0,16% C sehingga fasa yang banyak terbentuk adalah ferit yang memiliki sifat lunak. Selain itu logam induk juga tidak mengalami proses perlakuan panas sehingga tidak ada perubahan kekerasan.

Tabel 2. Harga kekerasan daerah pengelasan

DAERAH LASAN						
No	Logam Induk (HR _B)	Rata-rata (HR _B)	HAZ (HR _B)	Rata-rata (HR _B)	Logam Lasan (HR _B)	Rata-rata (HR _B)
Pendinginan Udara						
1	61		68		84,5	
2	60		68		84,5	
3	61	60,4	68,5	68	85	85
4	60		68		85	
5	63		68		85	
Pendinginan Oli SAE 90						
1	60		72,5		88	
2	60		69,5		87,5	
3	61	61	70	70	88	88
4	61		70		88	
5	64		70		88	
Pendinginan Air						
1	60		76		89,5	
2	61,5		74		89	
3	63	61	76	76	89,5	90
4	59,5		75,5		90	
5	62		76,5		91,5	

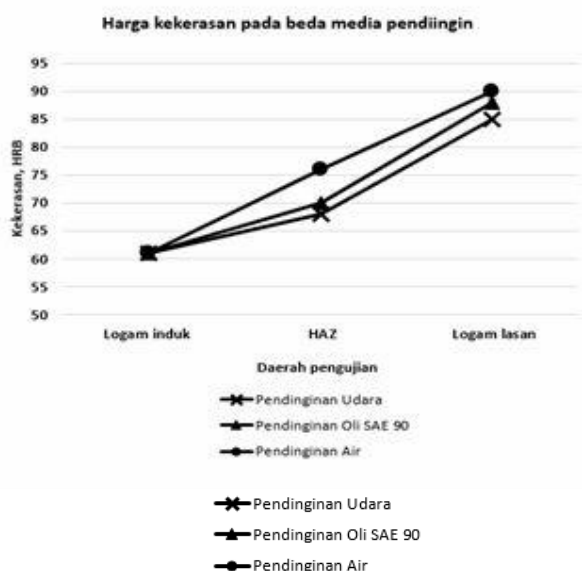
Tabel 3. Struktur mikro daerah lasan Baja Karbon Rendah menggunakan elektroda E309-16

STRUKTUR MIKRO DAERAH LASAN			
No	Logam Induk	HAZ	Logam Lasan
Pendinginan Udara			
1			
Pendinginan Oli SAE 90			
2			
Pendinginan Air			
3			

Sementara pada daerah HAZ memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan logam induk tetapi lebih rendah daripada logam lasan yaitu berkisar 68 HR_B – 76 HR_B. Dibandingkan logam induk, kekerasan daerah HAZ lebih tinggi disebabkan karena daerah HAZ merupakan daerah yang terpengaruh panas, sehingga

akan terjadi perubahan struktur mikro yang akan meningkatkan kekerasan. Sementara dibandingkan dengan logam lasan kekerasan daerah HAZ lebih rendah disebabkan karena kandungan karbon daerah lasan lebih tinggi dibandingkan daerah HAZ yang memiliki kandungan karbon sama dengan logam induk.

Pada proses pengelasan dengan perbedaan media pendingin diperoleh kekerasan rata-rata paling tinggi dengan pemakaian media pendingin air pada daerah HAZ mencapai 76 HR_B dan pada logam lasan mencapai 90 HR_B. Sedangkan harga kekerasan paling rendah terjadi pada proses pengelasan dengan media pendingin udara bebas diperoleh kekerasan rata-rata pada daerah HAZ 68 HR_B dan logam lasan 85 HR_B. Seperti tampak pada gambar 9 yang merupakan diagram harga kekerasan pada perbedaan media pendingin.



Berdasarkan gambar 9 tampak bahwa kekerasan paling tinggi diperoleh dari hasil pengelasan dengan media pendingin air. Peningkatan kekerasan diperoleh karena adanya beda laju pendinginan, semakin cepat laju pendinginan maka kekerasan akan semakin tinggi.

c. Hasil pengamatan struktur mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada permukaan sepanjang daerah lasan yaitu daerah logam induk, daerah HAZ dan daerah logam lasan diperoleh hasil struktur mikro seperti yang ditampilkan tabel 3.

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro (tabel 3) maka dapat dilihat bahwa logam induk memiliki fasa ferit dan sedikit perlit. Perlit yang terbentuk sedikit dikarenakan kadar karbon yang rendah sehingga terbentuknya karbida besi (sementit) juga akan semakin sedikit. Fasa pada logam induk dari ketiga variasi pendinginan memiliki fasa yang sama yaitu ferit dengan sedikit perlit.

Struktur mikro daerah lasan setelah pendinginan udara terbentuk fasa ferit (α) dan perlit ($\alpha + Fe_3C$) (Tabel 3). Fasa α mempunyai struktur kristal BCC (body centered cubic) yang merupakan larutan padat (solid solution) terdiri dari beberapa atom C yang ada pada besi murni dan kelarutan unsur C pada fasa α adalah 0,025 % yang terjadi di bawah temperatur 723^oC, tetapi pada temperatur kamar kelarutan C sekitar 0,008 %. Fasa $\alpha + Fe_3C$ merupakan eutektoid terdiri atas 2 (dua) fasa α dan fasa Fe₃C dengan susunan lapisan yang halus dan fasa ini terjadi di atas temperatur fasa α yaitu pada temperatur 394 ^oC yang mempunyai struktur kristal BCC [8], [10].

Fasa perlit pada daerah logam lasan lebih banyak dibanding daerah logam induk dikarenakan kadar karbon yang lebih besar sekitar 0,5%. Fasa perlit yang terbentuk di daerah logam lasan cenderung berbentuk sebagai perlit lamellar (berlapis).

Sementara daerah HAZ memiliki fasa sama dengan logam induk yaitu ferit dengan sedikit perlit, tetapi tampak memiliki ukuran butir yang lebih halus. Hal ini diakibatkan dari adanya pengaruh panas pengelasan dan laju pendinginan. Pada variasi media pendingin yang berbeda, butiran yang dihasilkan juga tampak berbeda yang menunjukkan bahwa laju pendinginan akan berpengaruh terhadap besar maupun bentuk butiran. Tabel 4 berikut ini merupakan hasil pengukuran besar butir yang dihitung setelah proses pengamatan struktur mikro. Pengukuran besar butir dihitung pada tiga daerah lasan yaitu logam induk, logam lasan dan daerah HAZ.

Tabel 4. Data hasil perhitungan besar butir

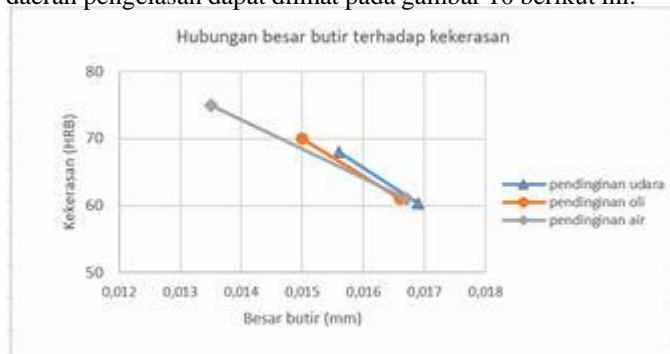
No	Logam Induk (Σpk) (mm)	DAERAH LASAN				
		Lk (mm)	HAZ (Σpk) (mm)	Lk (mm)	Logam Lasan (Σpk) (mm)	
Pendinginan Udara						
1	0,0170		0,0151		0,0194	
2	0,0169		0,0151		0,0208	
3	0,0169	0,0169	0,0178	0,0156	0,0173	0,0185
4	0,0170		0,0151		0,0173	
5	0,0169		0,0151		0,0176	
Pendinginan Oli SAE 90						
1	0,0160		0,0138		0,0163	
2	0,0169		0,0153		0,0172	
3	0,0169	0,0167	0,0169	0,0150	0,0178	0,0175
4	0,0169		0,0153		0,0178	
5	0,0166		0,0138		0,0185	
Pendinginan Air						
1	0,0185		0,0135		0,0140	
2	0,0168		0,0135		0,0138	
3	0,0169	0,0167	0,0133	0,0135	0,0192	0,0160
4	0,0169		0,0135		0,0140	
5	0,0142		0,0135		0,0192	

Berdasarkan tabel 4 dapat dilihat bahwa pada proses pengelasan SMAW dengan variasi pendinginan akan mengakibatkan perubahan ukuran butir. Pada satu spesimen dapat dilihat bahwa daerah HAZ memiliki ukuran butir yang lebih halus dibandingkan logam induk. Hal ini diakibatkan karena daerah HAZ merupakan daerah yang terkena pengaruh panas pengelasan sehingga saat pendinginan juga akan mengalami perlakuan panas. Penurunan ukuran butir daerah HAZ dibandingkan daerah logam induk pada pengelasan baja karbon rendah menggunakan las SMAW ini berkisar 2,8% hingga 16% dengan variasi media pendingin. Pada pendinginan udara penurunan ukuran butiran pada logam induk dan daerah HAZ adalah yang paling kecil yaitu 2,8% dari 0,0176mm menjadi 0,0171mm, selanjutnya dengan pendinginan oli diperoleh penurunan ukuran butir sebesar 3,6% dari ukuran butir logam induk 0,0167mm menjadi 0,0161mm. Penurunan ukuran butir paling besar terjadi pada pendinginan air yaitu mencapai 19%, dari ukuran 0,0167mm menjadi 0,0135mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin cepat laju pendinginan maka ukuran butir menjadi lebih halus.

Sementara pada daerah logam lasan (elektroda filler) memiliki ukuran butir yang sedikit lebih besar dikarenakan

unsur komponen penyusunannya juga berbeda. Akan tetapi memiliki kecenderungan yang sama yaitu semakin cepat laju pendinginannya maka ukuran butir juga semakin halus. Pada pendinginan udara diperoleh ukuran 0,0185mm, dengan pendinginan oli menjadi 0,0175mm dan pada pendinginan menggunakan air mencapai 0,0160mm. Penurunan ukuran butir sekitar 13,5%.

Hubungan antara ukuran butir terhadap harga kekerasan daerah pengelasan dapat dilihat pada gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Hubungan ukuran butir terhadap kekerasan logam pada variasi media pendingin

Secara umum tampak bahwa semakin besar butiran logam maka kekerasan yang diperoleh semakin besar demikian sebaliknya. Sementara ditinjau dari jenis pendinginan maka pada pendinginan air diperoleh harga kekerasan yang lebih tinggi pula. Hal ini disebabkan karena dengan pendinginan yang semakin cepat akan diperoleh ukuran butir yang lebih kecil atau halus sehingga kekerasan juga akan meningkat sesuai dengan teori “Hall Petch Stengthening”

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan pembahasan dari hasil pengelasan SMAW baja karbon rendah diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekerasan logam induk dan daerah HAZ lebih rendah daripada logam lasan disebabkan karena perbedaan komposisi kimia adanya unsur paduan serta kadar karbon yang lebih tinggi.
2. Semakin halus ukuran butiran kekerasan semakin tinggi.
3. Media pendingin mempengaruhi laju pendinginan dan berpengaruh terhadap kekerasan logam hasil proses pengelasan, semakin tinggi laju pendinginan maka kekerasan akan semakin tinggi dan struktur butiran semakin halus

Referensi

- [1] Alexander, W.O. 1900. Dasar Metalurgi Rekayasa. Diterjemahkan oleh E.J. Bradbury
- [2] Sindo, Kou. 2002. Welding Metallurgy (2nd Ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] <https://kpssteel.com/besi-baja/jenis-jenis-baja-menurut-komposisinya/>
- [4] <https://www.pengelasan.net/posisi-pengelasan/>.
- [5] Wiryosumarto, H. 2000. Teknologi Pengelasan Logam, Cetakan ke delapan, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.

- [6] Smith, W.F. 1990. Principles of Materials Science and Engineering. Second Edition. McGraw-Hill International Editions: New York. Wiley & Sonc, Inc: Lehigh University.
- [7] Weman, Klas, 2003. Welding Processes Handbook. New York, NY: CRC Press LLC. [ISBN 0-8493-1773-8](#).
- [8] Avner, S.H. 1987. Introduction to Physical Metallurgy, Singapore: Graw Hill International.
- [9] Cary, 1993. Modern Welding Technology.
- [10] Cary, Howard B, 2005. Modern Welding
- [11] Doyle, L.E 1985. Manufaturing Processes and Materials for Engineers. 3rd Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- [12] Groover, P.M, 2007. Fundamentals of Modern Manufacturing. Third Edition. John Wiley & Sonc, INC: Lehigh University.
- [13] Hicks, John 1999. Welded Joint Design. [New York: Industrial Press. ISBN 0-8311-3130-6](#)
- [14] Kenyon W. 1985. Dasar-dasar Pengelasan. Penerbit Erlangga: Jakarta.