

STRUKTUR COLUMNAR, DENDRITIC DAN ACICULAR BAJA 0,16% C SETELAH PROSES SMAW CONSUMABLE ELECTRODE RB 260 E 6013

R Djoko Andrijono¹

Abstraksi

Baja 0,16% C setelah di las busur listrik elektroda terbungkus dan dilanjutkan proses variasi media pendinginan terjadi perbedaan sifat kekerasan dan struktur mikro pada daerah lasan terdiri atas: logam induk, daerah pengaruh panas dan logam lasan. Tujuan penelitian untuk mengetahui, membandingkan, menganalisa pengaruh variasi media pendinginan terhadap sifat kekerasan, struktur mikro daerah lasan, sifat mampu las baja 0,16% C, dan mengetahui, menganalisa komposisi kimia logam induk dan elektroda sebagai logam pengisi. Manfaat penelitian untuk memperoleh sifat kekerasan yang paling optimum sehingga dapat diaplikasikan untuk konstruksi sambungan las pada rangka bangunan dan rangka kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan sifat kekerasan daerah lasan yang paling tinggi pada pendinginan oli SAE 90, air dan terendah pada pendinginan udara. Struktur mikro daerah lasan terbentuk fasa ferit (α) dan perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) pada pendinginan udara. Struktur mikro daerah lasan dengan pendinginan oli SAE 90, air tidak terbentuk struktur martensit melainkan terbentuk fasa α , Fe_3C . Kesimpulan penelitian sifat kekerasan daerah lasan secara umum semakin meningkat, besar butir semakin halus, kecuali logam induk tidak mengalami perubahan sifat kekerasan dan struktur mikro serta besar butir.

Kata Kunci : Baja 0,16% C, Daerah Lasan, Variasi Media Pendinginan

PENDAHULUAN

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) merupakan paduan antara unsur besi (Fe) dan karbon (C) dilas dengan las busur listrik elektroda terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding*) (SMAW) atau disebut juga dengan istilah las manual (gambar 1).



Gambar 1. SMAW

(Sumber : Laboratorium Proses Produksi JTM FT UNMER Malang)

Sebagai bahan penyambung menggunakan logam pengisi (*filler metal*) yang disebut dengan elektroda yang terbakar habis (*consumable electrode*). Elektroda yang digunakan pada SMAW berfungsi sebagai logam pengisi dalam proses pengelasan menggunakan busur nyala listrik terdiri atas :

logam inti (*core wire*) dan pembungkus (*coating*) yang terbuat dari bahan flux (*flux*) sebagai pelindung (Kenyon, 1985). Elektroda yang digunakan pada proses SMAW dapat mempengaruhi sifat kekerasan lasan logam dan HAZ, oleh karena itu elektroda yang digunakan untuk proses penyambungan harus disesuaikan dengan jenis logam induk yang akan dilas karena elektroda akan mencair dan menyatu dengan logam induk secara bersama-sama (Udi, 2012).

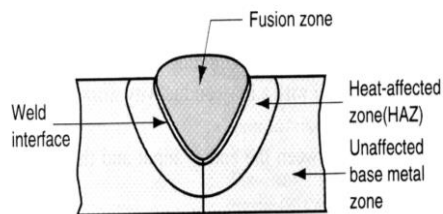
Permasalahan dan tujuan penelitian ini adalah menganalisa dan membandingkan pengaruh variasi media pendinginan terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro dari logam lasan, HAZ, dan logam induk serta mengetahui dan menganalisa komposisi kimia logam induk dan elektroda terumpun RB 260 E 6013. Penelitian ini bermanfaat untuk menentukan dan memperoleh sifat kekerasan yang paling optimum untuk

¹ Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

diaplikasikan pada konstruksi sambungan las rangka bangunan dan rangka kendaraan.

KAJIAN PUSTAKA

Hasil sambungan las (*weld joint*) disebut daerah las (*weldment*) yang dibedakan menjadi 4 (empat) daerah mencakup: logam induk (*unaffected base metal or parent metal*)), daerah pengaruh panas (*heat affected zone*) atau disebut HAZ, logam lasan (*weld metal or weld deposit*) dan batas cair atau batas fusi atau disebut batas peleburan (*fusion line*) (gambar 2).



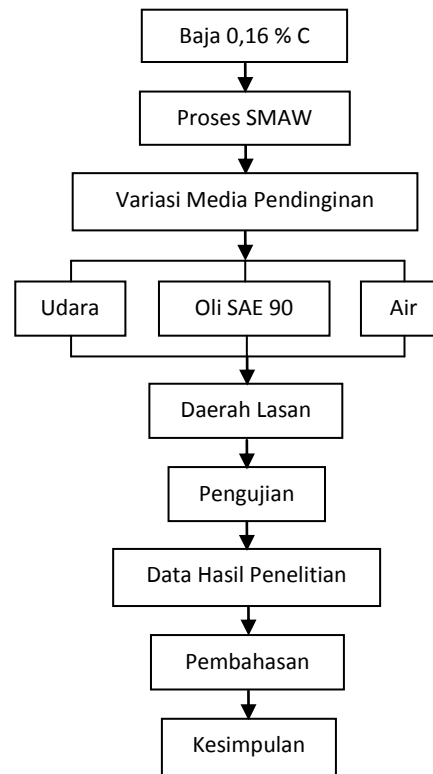
Gambar 2. Daerah Lasan
(Groover, P., 2007)

Logam induk merupakan daerah tidak terpengaruh panas yang letaknya setelah HAZ. Daerah ini menerima masukan panas lebih rendah dibanding HAZ dan tidak terjadi perubahan sifat kekerasan dan struktur mikro apabila mengalami proses pendinginan cepat atau lambat. HAZ merupakan daerah yang letaknya dekat dengan deposit las dan masukan panas yang diterima lebih rendah dibanding dengan deposit las. Masukan panas (*heat input*) tersebut dapat merubah struktur mikro dan sifat kekerasan khususnya pada logam lasan dan HAZ apabila dikenakan proses pendinginan cepat atau lambat dengan laju pendinginan tertentu. Batas cair merupakan batas antara logam lasan dengan HAZ dan pada batas cair tersebut, terdiri atas

campuran antara fasa padat dan fasa cair. Logam lasan merupakan daerah lumer saat menerima panas dan pada daerah ini menerima masukan panas yang sangat tinggi.

METODOLOGI

Diagram Alir Penelitian



Peralatan Penunjang Penelitian

1. Mesin-mesin : SMAW, *quantometer rockwell hardness number*, mikroskop logam, *pregrinder*, *polishing*, *mounting press*, *film processing apparatus*, mesin sekrup, dan mesin frais.
2. Peralatan penunjang lain : jangka sorong, termokopel, dan kertas gosok grade # 300 s.d # 1000.

Variabel Pengujian

1. Sampel uji terbuat dari baja 0,16% C sebanyak 3 (tiga) sampel uji dalam bentuk plat (*slab*) dengan tebal 11 mm dan panjang 20 mm.

2. Media pendinginan : udara, oli SAE 90, air.
3. Logam pengisi : elektroda terumpan RB 260 E 6013 dengan diameter kawat 3,2 mm dan panjang 350 mm standar *American Welding Society (AWS)*.
4. Bentuk sambungan : sambungan tumpul
5. Jenis kampuh : V tunggal sudut 60°.
6. Temperatur pemanasan awal : 150°C.
7. Gerakan elektroda : mendatar
8. Arus listrik (I) : 85 A (konstan)
9. Tegangan (V) : 220 volt
10. Larutan etsa : HNO₃ 2% dan 98% alkohol.
11. Gerakan elektroda : mendatar.

Batasan dan Metode Pengujian

1. Uji kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan *rockwell hardness tester* dengan indenter bola baja (*steel ball*) 1/16 inch dan beban *minor* (P_o) = 10 kg serta beban *major* (P) = 100 kg bertujuan untuk menguji kekerasan pada logam lasan, HAZ, dan logam induk setelah proses variasi media pendinginan. Pada masing-masing daerah lasan tersebut dilakukan pengujian kekerasan sebanyak 5 (lima) kali pengujian kemudian diambil rata-rata angka kekerasan.
2. Uji komposisi kimia menggunakan mesin *quantometer* bertujuan untuk menguji komposisi kimia baja 0,16% C sebagai logam induk dan elektroda terumpan RB 260 E 6013.
3. Uji pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop logam bertujuan untuk mengetahui fasa, besar butir dan batas butir logam lasan, HAZ dan logam

induk setelah proses variasi media pendinginan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Penelitian

Berikut data-data hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Logam Induk dan Elektroda Terumpan RB 260 E 6013

Unsur kimia	Komposisi	
	Logam induk	Elektroda RB 260 E 6013
C	0,160	0,523
Si	0,303	0,010
Mn	0,537	0,861
P	0,010	0,047
S	0,033	0,040
Cr	0,011	0,068
Ni	0,018	0,082
Al	0,033	0,015
Co	0,007	0,010
Sn	0,005	-
Mo	-	0,010
W	-	0,010
Fe	98,90	97,707

Tabel 2. Data Hasil Uji Kekerasan Logam Induk

No	Media pendingin	Logam induk (HR _B)	Rata-rata (HR _B)
1	Udara	61	61
2		60	
3		61	
4		60	
5		63	
1	Oli SAE 90	60	61
2		60	
3		61	
4		61	
5		64	
1	Air	60	61
2		61,5	
3		63	
4		59,5	
5		62	

Tabel 3. Data Hasil Uji Kekerasan Logam Lasan

No	Media pendingin	Logam lasan (HR _B)	Rata-rata (HR _B)
1	Udara	84,5	85
2		84,5	
3		85	
4		85	
5		85	
1	Oli SAE 90	88	88
2		87,5	
3		88	
4		88	
5		88	
1	Air	89,5	90
2		89	
3		89,5	
4		90	
5		91,5	

Tabel 4. Data Hasil Uji Kekerasan HAZ

No	Media pendingin	HAZ (HR _B)	Rata-rata (HR _B)
1	Udara	68	68
2		68	
3		68,5	
4		68	
5		68	
1	Oli SAE 90	72,5	70
2		69,5	
3		70	
4		70	
5		70	
1	Air	76	76
2		74	
3		76	
4		75,5	
5		76,5	

Tabel 5. Data Besar Butir Logam Induk

No	Media pendingin	Logam induk (Σpk) (mm)	Lk (mm)
1	Udara	0,0170	0,0164
2		0,0188	
3		0,0169	
4		0,0185	
1	Oli SAE 90	0,0142	0,0170
2		0,0169	
3		0,0158	
4		0,0166	
1	Air	0,0185	0,0170
2		0,0168	
3		0,0169	
4		0,0142	

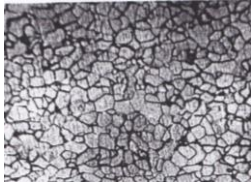
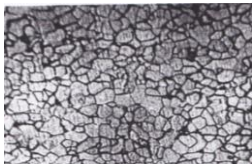
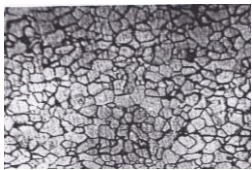
Tabel 6. Data Besar Butir Logam Lasan

No	Media pendingin	Logam lasan (Σpk) (mm)	Lk (mm)
1	Udara	0,0194	0,0188
2		0,0208	
3		0,0173	
4		0,0176	
1	Oli SAE 90	0,0163	0,0174
2		0,0172	
3		0,0178	
4		0,0185	
1	Air	0,0140	0,0165
2		0,0138	
3		0,0192	
4		0,0192	


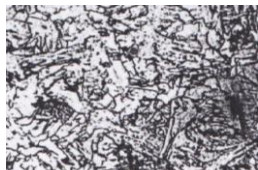

Tabel 7. Data Besar Butir HAZ

No	Media pendingin	HAZ (Σpk) (mm)	Lk (mm)
1	Udara	0,0188	0,0164
2		0,0151	
3		0,0178	
4		0,0142	
1	Oli SAE 90	0,0138	0,0159
2		0,0153	
3		0,0169	
4		0,0178	
1	Air	0,0125	0,0129
2		0,0125	
3		0,0133	
4		0,0135	

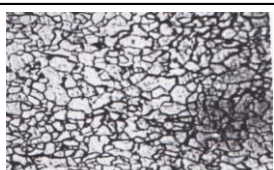


Tabel 8. Data Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro Logam Induk

Media pendingin	Struktur mikro logam induk
Udara	
Oli SAE 90	
Air	

Tabel 9. Data Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro Logam Lasan

Media pendingin	Struktur mikro logam lasan
Udara	
Oli SAE 90	
Air	

Tabel 10. Data Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro HAZ

Media pendingin	Struktur mikro HAZ
Udara	
Oli SAE 90	
Air	

Pembahasan

Baja karbon rendah merupakan logam induk jenis logam besi (*ferrous metal*) yang umumnya digunakan untuk pembuatan : (a) mur, (b) baut, (c) plat, (d) kawat, (e) sekrup, (f) rangka bangunan, dan (g) rangka kendaraan. Baja 0,16% C setelah dilakukan uji komposisi kimia memiliki unsur karbon

(C) 0,16% (tabel 1), maka berdasarkan unsur C tersebut logam induk termasuk jenis baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau disebut baja karbon biasa (*plain carbon steel*). Unsur C tersebut dapat mempengaruhi sifat kekerasan (*hardness properties*) dan sifat mampu las (*weldability properties*). Elektroda RB 260 E 6013 dengan kode 60 artinya elektroda tersebut memiliki *Ultimate Tensile Strength* (UTS) sebesar 60.000 psi atau 42,2 kg/mm², kekuatan luluh (*yield strength*) 35,2 kg/mm² (Wiryosumarto, 1991). Elektroda tersebut setelah dilakukan uji komposisi kimia diperoleh unsur 0,523% C sehingga termasuk baja karbon menengah (*medium carbon steel*) yang mempunyai sifat lebih kuat dan keras dibanding baja 0,16% C sebagai logam induk (Avner, 1987). Unsur 0,047% P memberikan pengaruh terhadap logam lasan, dan HAZ : (a) dapat meningkatkan retak las (*weld crack*), (b) menurunkan sifat mampu las (*weldability properties*), (c) meningkatkan *hot shortness*, dan (d) logam lasan semakin rapuh akibat unsur P lebih dari 0,047% (Polukhin, 1977). Unsur 0,04% S merupakan unsur yang sangat merugikan terhadap logam lasan, unsur S lebih dari 0,04 % memberikan pengaruh sifat logam lasan dan HAZ menjadi : (a) rapuh, dan (b) menurunkan temperatur logam induk (Polukhin, 1977). Unsur 0,861% Mn dapat mengikat unsur C sehingga membentuk karbida mangan (Mn₃C) yang dapat meningkatkan sifat kekerasan logam lasan dan HAZ, sehingga unsur Mn terhadap unsur S harus dijaga dengan perbandingan antara

10 : 1 (Anonim). Unsur 0,01% Si dapat meningkatkan sifat kekerasan logam lasan dan HAZ (tabel 1), tetapi unsur Si tidak melebihi 0,1% (Anonim dan Polukhin, 1977). Menurut diagram keseimbangan Fe-Fe₃C unsur C pada logam induk dan elektroda termasuk baja hypoeutektoid (*hypoeutectoid steel*) (< 0,83% C) yang mempunyai fasa ferit (α) sifatnya lunak, ulet serta fasa perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) sifatnya keras, kuat, getas (Avner, 1987). Baja karbon rendah 0,16% C setelah dilakukan proses SMAW dengan kuat arus listrik (I) 85 A dan dilanjutkan proses pendinginan terdiri atas: (a) udara, (b) oli SAE 90, dan (c) air. Akibat pengaruh ketiga pendinginan tersebut terjadi perubahan struktur mikro, sifat kekerasan pada daerah lasan, khususnya pada logam lasan, HAZ, sedangkan logam induk tidak terjadi perubahan sifat kekerasan dan struktur mikro. Logam lasan merupakan daerah yang mendapat masukan panas (*heat input*) paling tinggi dibanding dengan HAZ dan logam induk. Logam lasan merupakan endapan las berasal dari elektroda terbuat dari baja karbon menengah dengan 0,523% C yang mempunyai sifat lebih keras, kuat dan keuletannya rendah dibanding dengan logam induk. Logam lasan dengan pendinginan udara angka kekerasan 85 HR_B (tabel 3) dengan besar butir 0,0188 mm (tabel 6) lebih rendah pendinginan oli SAE 90 angka kekerasannya 88 HR_B (tabel 3) dengan besar butir 0,0174 mm (tabel 6), hal ini disebabkan besar butirnya halus dan laju pendinginan oli SAE 90 lebih cepat dibanding dengan

pendinginan udara. Angka kekerasan dengan pendinginan air 90 HR_B (tabel 3) dengan besar butir 0,0165 mm (tabel 6) lebih tinggi pendinginan oli SAE 90, hal ini disebabkan besar butirnya semakin halus akibat laju pendinginan air sangat cepat dibanding dengan pendinginan oli SAE 90. HAZ merupakan daerah yang mendapat masukan panas lebih rendah dibanding logam lasan. Ketiga angka kekerasan logam lasan di atas yang paling keras terletak pada pendinginan air, sehingga mudah getas (rapuh). HAZ dengan pendinginan udara angka kekerasannya 68 HR_B (tabel 4) dengan besar butir 0,0164 mm (tabel 7) lebih rendah dibanding pendinginan oli SAE 90 angka kekerasan HAZ 70 HR_B (tabel 4) dengan besar butir 0,0159 mm (tabel 7), hal ini disebabkan besar butirnya halus karena laju pendinginannya lebih cepat. HAZ dengan pendinginan air angka kekerasannya 76 HR_B (tabel 4) dengan besar butir 0,0129 mm (tabel 7). Ketiga angka kekerasan HAZ di atas yang paling keras terletak pada pendinginan air, sehingga mudah getas (rapuh). Logam lasan dengan pendinginan udara terbentuk fasa α dan $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (tabel 9) dengan besar butir yang kasar (*coarse ferrite dan pearlite*) dan strukturnya berbentuk tiang (*columnar*) (tabel 9). Fasa α mempunyai sel satuan Kubus Pemusat Ruang (*Body Centered Cubic*) (BCC) pada temperatur di bawah 910⁰C. BCC merupakan larutan padat (*solid solution*) terdiri atas beberapa atom C yang ada pada besi murni dan kelarutan unsur C pada fasa α maksimum 0,025% terjadi di bawah

temperatur 723°C , tetapi pada temperatur kamar kelarutan C sekitar 0,008%. Fasa $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ merupakan campuran eutektoid terdiri atas fasa α dan fasa Fe_3C yang mengandung 0,8% C yang terbentuk pada temperatur 723°C dengan sel satuan BCC. Logam lasan dengan pendinginan oli SAE 90 dan air terbentuk fasa α dan fasa $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ dengan besar butirnya cenderung semakin makin halus (*fine ferrite dan pearlite*) (tabel 9) dan strukturnya berbentuk tiang (*columnar*) dan bercabang (*dendritic*) (tabel 9). Pada pendinginan oli SAE 90 dan air tidak terbentuk fasa martensit yang sifatnya sangat keras dan getas, hal ini disebabkan pada saat proses pendinginan air dan oli SAE 90 fasa austenit (γ) tidak dapat bertransformasi menjadi fasa martensit melainkan fasa γ bertransformasi menjadi fasa α dan fasa $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (tabel 3). Fasa γ mempunyai sel satuan Kubus Pemusatan Sisi (KPS) (*face centered cubic*) (FCC) yang sifatnya ulet dan kuat tetapi mudah dibentuk. Fasa γ terjadi di atas temperatur 723°C atau pada temperatur 912°C s/d 1394°C , di mana fasa ini merupakan larutan padat (*solid solution*) antara Fe dan C dengan kelarutan C maksimum 2% dan sifat ketangguhannya (*toughness*) sangat tinggi dan tidak stabil pada temperatur kamar (*room temperature*). HAZ dengan pendinginan udara terbentuk fasa α dan $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (tabel 9) dengan besar butir yang kasar dibanding besar butir logam lasan (tabel 6 dan tabel 7). Akibat pengaruh masukan panas pada HAZ akan terjadi pertumbuhan butir

(*grain growth*) dengan bentuk strukturnya seperti jahitan (*acicular*) (tabel 10). HAZ dengan pendinginan oli SAE 90 dan air terbentuk fasa α dan $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (tabel 9) dengan besar butir semakin kasar dibanding besar butir logam lasan (tabel 6 dan tabel 7) dan memiliki bentuk struktur yang sama seperti pada pendinginan udara tetapi bentuk struktur jahitannya lebih rapat, khususnya pada pendinginan air (tabel 10).

SIMPULAN

1. Angka kekerasan logam lasan, HAZ semakin tinggi dan besar butir semakin halus setelah mengalami variasi media pendinginan kecuali logam induk tidak terjadi perubahan sifat kekerasan.
2. Struktur mikro logam lasan, HAZ terbentuk fasa α dan fasa $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ setelah proses pendinginan udara serta struktur mikro dengan proses pendinginan oli SAE 90, air tidak terbentuk struktur martensit, sedangkan logam induk tidak terjadi perubahan struktur mikro dan besar butir setelah proses pendinginan udara, oli SAE 90, dan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Avner, S.H., 1987, *Introduction to Physical Metallurgy*, Singapore: Graw Hill International.
- Doyle, L.E., 1985, *Manufacturing Processes and Materials for Engineers*, 3rd Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Kenyon, W., 1985, *Dasar-dasar Pengelasan*, Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Wirjosumarto, H., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan ke delapan, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.

- Anonim, *Effects of Mn, P, S, Si & V on the Mechanical Properties of Steel*, <http://www.leonghuat.com/article/s/elemelem.htm>
- Widharto, S. 2006, **Petunjuk Kerja Las**, Cetakan ke enam, Penerbit: PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Udi, 2012, **Pengaruh Besar Arus Pengelasan Busur Listrik SMAW dan Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro pada Material Baja Karbon Menengah**, Tesis Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Polukhin, P. 1977, *Metal Process Engineering*, Fourth Printing, Mir Publishers: Moscow.
- Groover, P. 2007, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, Third Edition. John Wiley & Sonc, INC: Lehigh University