

KARAKTERISASI SAMBUNGAN SMAW BAJA KARBON RENDAH MENGUNAKAN 3 JENIS ELEKTRODA

Priyo Tri Iswanto^{1,a}, Mudjijana^{1,b}, Rela Adi Himarosa^{2,a}

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

²Dept. of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
rela.himarosa@gmail.com

Abstrak

Shield Metal Arc Welding (SMAW) merupakan salah satu cara yang biasa digunakan untuk pengelasan baja karbon rendah. Kualitas sambungan las dapat dikarakterisasi dengan pengujian tarik, fatik, kekerasan Vickers, dan strukturmikro. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi sambungan SMAW baja karbon rendah menggunakan 3 jenis elektroda. Penelitian ini menggunakan baja karbon rendah 0,113 %C berdiameter 19,05 mm, dilas menggunakan elektroda E7018, E7016, dan E 6013. Karakterisasi hasil lasan menggunakan alat *Universal Testing Machine*, *Vickers hardness test*, *rotary bending fatigue*, dan *optical microscope*. Hasil penelitian menunjukkan lasan menggunakan elektroda tipe E7018 menghasilkan kekuatan tarik maksimum, UTS : 453,73 MPa, nilai kekerasan Vickers, HVN : 148,23 kg/mm², sedangkan hasil lasan menggunakan tipe E7016 dan E6013 berturut-turut UTS : 442,11 dan 406,27 MPa, HVN : 142,30 dan 119,63 kg/mm². Kekuatan sambungan las lebih rendah dari material baja karbon rendah *as received* yaitu 489,47 MPa. Hasil pengujian fatik berturut-turut mempunyai nilai ketahanan fatik (Se) : 204,18; 198,95; 182,82, dan lebih rendah dari Se baja S10C yaitu 292,59 MPa. Pengamatan strukturmikro logam las untuk 3 tipe elektroda didominasi struktur ferit batas butir (GF) dan perlit.

Kata kunci : Baja karbon rendah, SMAW, tarik, kekerasan Vickers, fatik, strukturmikro

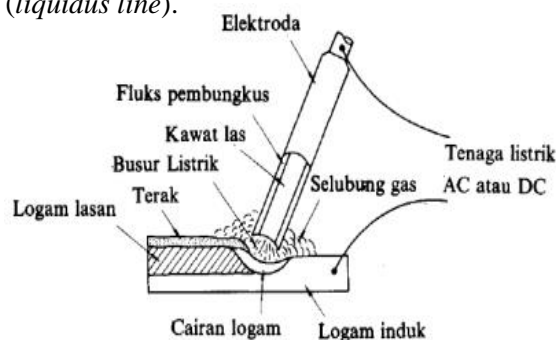
1. Pendahuluan

Teknologi las telah banyak digunakan dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi komponen-komponen mesin. Menggunakan sambungan las menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya sederhana, sehingga biaya keseluruhan menjadi lebih murah. Proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi mengisi lubang-lubang pada coran, membuat lapisan keras pada permukaan perkakas, *rebuild* bagian-bagian yang aus dan reparasi komponen-komponen mesin lainnya (Wiryosumarto dan Okumura, 1991). *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) adalah proses pengelasan dimana panas dari busur listrik dihasilkan antara elektroda terapan yang dibungkus oleh fluks dengan benda kerja (ASM Handbook, 1995). Panas yang timbul pada busur listrik mencairkan ujung elektroda dan spesimen setempat, kemudian terjadi fusi dan membeku mejadi logam lasan (*weld metal*). Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair di tempat sambungan dan bekerja sebagai pelindung terhadap pengaruh udara luar. Gambar 1 ditunjukkan las busur dengan elektroda terbungkus (SMAW).

Daerah lasan umumnya dibagi menjadi 3 daerah utama yaitu *base metal* (BM), *weld metal* (WM), dan daerah terpengaruh panas (HAZ) ditunjukkan pada Gambar 2 (Weman,

2012).

(1) **Daerah logam las (*weld metal*)** adalah daerah dimana logam las mencair pada saat proses pengelasan dan suhunya diatas titik cair (pada logam murni) atau diatas garis cair (*liquidus line*).

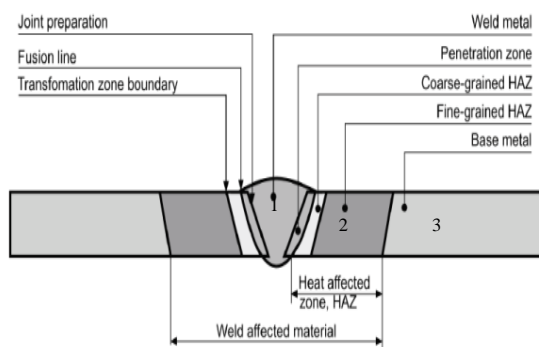


Gambar 1. Las busur dengan elektroda terbungkus (Wiryosumarto dan Okumura 1991)

Untuk logam paduan. Pengaruh kecepatan pendinginan terhadap strukturmikro pada logam las akan terjadi fasa campuran yaitu ferit batas butir (*grain boundary ferrite*), ferit Widmanstatten atau ferit *acicular*, bainit yang merupakan agregat dari ferit dan karbida (*cementite*), dan martensit (Messler, 1999).

(2) **Daerah terpengaruh panas (Heat Affected Zone :HAZ).** Daerah HAZ merupakan daerah logam induk yang dipengaruhi panas, tetapi panas yang terjadi tidak sampai mencairkan logam induk tersebut. Daerah HAZ mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga menghasilkan daerah butir halus (*fine-grain*) dan butir kasar (*coarse-grain*).

(3) **Daerah logam induk** memiliki sifat-sifat sama sebelum maupun sesudah proses pengelasan. Di daerah ini, panas yang terjadi cukup rendah sehingga tidak menyebabkan perubahan strukturmikro. Sifat mampu las baja ditentukan oleh komposisi kimia logam induk dan biasanya dinyatakan dengan *Carbon equivalent* (Cek). Menurut *International Institute of Welding* (IIW) untuk menghitung Cek *plain carbon steels* dan *carbon manganese steels* dapat ditentukan dengan persamaan (Lancaster, 1999).



Gambar 2. Sistem penamaan zona dan batas daerah terpengaruh panas (HAZ) (Weman, 2012)

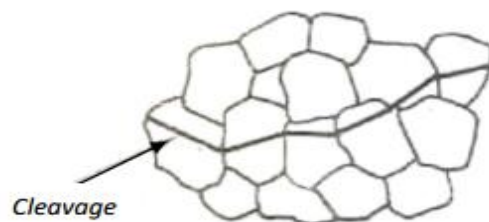
$$C_{ek} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu + Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5} \quad (1)$$

Secara umum baja dikatakan mempunyai sifat mampu las yang baik jika memiliki nilai $C_{ek} < 0,4-0,5$. Pada dasarnya logam pengisi yang akan digunakan dalam proses pengelasan harus sejenis dengan logam induk. Menurut (Wiryosumarto dan Okumura, 1991), dasar utama dalam memilih logam pengisi (*filler*) adalah sifat mekanis yang dimiliki, cara pengelasan yang akan dilakukan dan sifat lasan yang diharapkan. Elektroda tipe E60xx mempunyai kekuatan tarik minimum (430-460) MPa, kekuatan luluh minimum (340-380) MPa, dan perpanjangan minimum (17-22) % (ASM Handbook, 1995).

Fatig atau kelelahan merupakan suatu bentuk

kegagalan pada suatu struktur akibat tegangan dinamis dan berubah-ubah seperti pada struktur jembatan, pesawat terbang, dan komponen-komponen mesin. Pada pembebanan dinamis sangat dimungkinkan untuk terjadi kegagalan pada tegangan dibawah tegangan luluh pada pembebanan statis. Kata fatik digunakan karena umumnya kegagalan terjadi setelah periode waktu tertentu dari suatu tegangan yang berulang. Hampir 90% kegagalan pada material dari suatu struktur disebabkan oleh fatik (Callister and Rethwishch, 2010). Kelelahan dapat didefinisikan sebagai penurunan sifat mekanis sehingga mendorong terjadinya kegagalan pada suatu material atau komponen akibat siklus pembebanan (Meyers dan Cahwla, 1999). Suatu kegagalan akibat kelelahan sangatlah berbahaya sebab terjadi tanpa adanya tanda-tanda awal yang jelas

Perpatahan (*fracture*) adalah proses pemisahan benda padat menjadi dua bagian atau lebih diakibatkan oleh adanya tegangan (Dieter, 1988). Tegangan dapat berupa tegangan tarik, tekan, geser, dan torsi. Proses perpatahan terdiri dari 2 tahap yaitu timbulnya retak dan tahap penjaralan retak. Patah dapat diklasifikasikan dalam 2 kategori umum, yaitu patah getas dan patah ulet. Retak *cleavage* disebut transgranular karena retak terjadi dengan memotong butir kristal ditunjukkan pada Gambar 3. Penampang permukaan patahan ini nampak mengkilap. Kecenderungan patah getas meningkat pada suatu material meningkat dengan terjadinya penurunan suhu operasional dan laju regangan yang tinggi (Dieter, 1988). Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi sambungan SMAW baja karbon rendah menggunakan 3 jenis elektroda. Karakterisasi sifat mekanik meliputi uji tarik, fatik, kekerasan Vickers, dan pemeriksaan metalografi.



Gambar 3. Perambatan retak *cleavage* (Meyers dan Cahwla, 1999)

2. Metodologi

Material penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini

adalah baja karbon rendah yang berbentuk silinder pejal dengan diameter 19,05 mm. Komposisi kimia material yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Sedangkan komposisi kimia elektroda disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi kimia material penelitian (Ceperindo, 2007)

Unsur	% wt
Fe	99,13
S	0,02
C	0,113
Ni	0,071
Nb	0,01
Si	0,027
Cr	0,05
Mn	0,492
Mo	0,004
W	0,04
P	0,006
Cu	0,047
Ti	0,0
V	0,0

Karbon ekuivalen dapat dihitung dengan persamaan (1) dengan memasukkan nilai-nilai komposisi kimia di Tabel 1 didapatkan $C_{ek} = 0,213\%$. Sedangkan material elektroda E7018, E7016, dan E6013 berdasarkan Tabel 2 mempunyai karbon *equivalent* C_{ek} berturut-turut : 0,282%; 0,220%; dan 0,172%. Material baja karbon rendah yang dilas dan elektroda mempunyai $C_{ek} < 0,4\%$ sehingga proses pengelasan mudah dilakukan atau mudah terjadi fusi antara logam induk dan logam las (Lancaster, 1999).

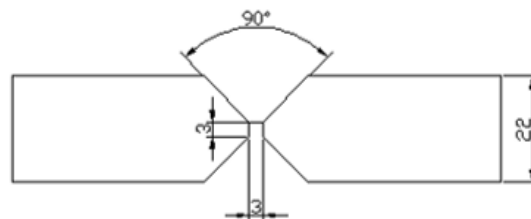
Tabel 2. Komposisi kimia elektroda (ASM Handbook, 1995)

Unsur, % w t	Elektroda		
	E7018	E7016	E6013
Fe	98,39	99,10	99,50
S	0,01	0,014	0,015
C	0,098	0,124	0,130
Ni	0,019	0,012	0,012
Nb	0,01	0,00	0,01
Si	0,316	0,144	0,053
Cr	0,046	0,008	0,008
V	0,01	0,00	0,00
Mn	1,028	0,558	0,235
Mo	0,004	0,004	0,004
W	0,05	0,04	0,04
P	0,009	0,005	0,008
Cu	0,004	0,004	0,004
Ti	0,01	0,01	0,01

Prosedur penelitian

Material yang di las dibuat spesimen seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Posisi pengelasan dilakukan dengan posisi datar dan elektroda

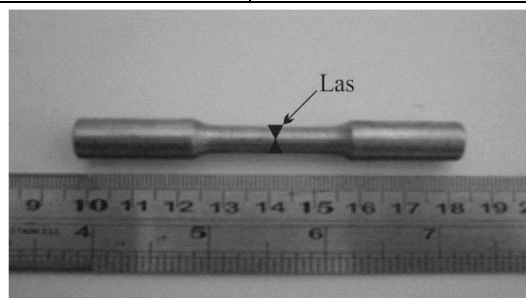
dalam proses pengelasan sesuai dengan standar AWS A5.1 tipe E7018, 7016, dan 6013. Data teknis pengelasan disajikan pada Tabel 3. Hasil lasan selanjutnya dibuat benda uji tarik dan fatik seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



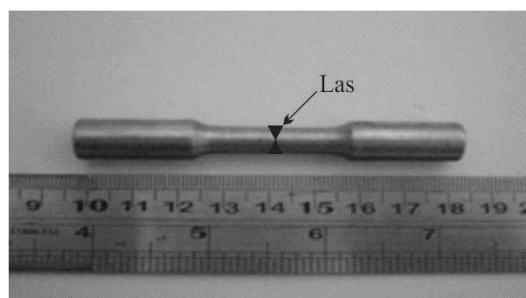
Gambar 4. Bentuk sambungan tumpul alur las-V ganda (Mouser, 1998)

Tabel 3. Data teknis pengelasan

Parameter pengelasan	Keterangan
Jenis sambungan	Sambungan tumpul dengan alur las-V ganda
Posisi las	Datar
Tegangan busur	24 Volt
Polaritas	DCEP (<i>Direct Current Electrode Positive</i>)
Arus las	90 Ampere
Elektroda las :	Jenis fluks :
E7018 E7016 E6013	Hidrogen rendah, serbuk besi Potassium hidrogen rendah Potassium rutil
Diameter elektroda	2,6 mm



Gambar 5. Spesimen uji tarik standar JIS Z2201, 1978 (JIS Handbook, 1981)



Gambar 6. Spesimen uji fatik standar JIS Z2274, 1978 (JIS Handbook, 1981)

Uji tarik dilakukan menggunakan mesin Servo Pulser merk Shimadzu, sedangkan uji kekerasan mikro menggunakan BUEHLER model MM 00054 dengan beban 200 gram. Pengujian fatik dilakukan dengan mesin *Ono's rotary bending fatigue tester* merk Shimadzu dan pengamatan struktur-mikro menggunakan *Inverted Metallurgical Microscope*. Untuk spesimen strukturmikro dan kekerasan dibuat dari benda uji fatik dibelah memanjang seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Pengamatan strukturmikro dapat dilakukan setelah dietsa dengan nital 2,5 %.

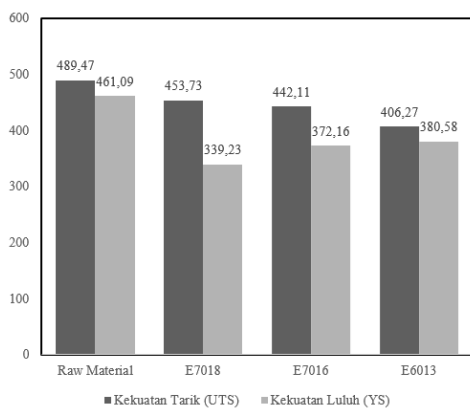


Gambar 7. Pemotongan spesimen uji strukturmikro dan kekerasan

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik *raw material (as received)* UTS : 489,47 MPa, YS : 461,09 MPa, dan regangan ϵ : 20,92. Sedangkan hasil-hasil UTS (*Ultimate Tensile Strength*) dan YS (*Yield Strength*) setelah dilakukan proses pengelasan menggunakan E7018, E7016, dan E6013 ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kekuatan tarik (UTS) dan kekuatan luluh (YS) spesimen *raw material* dan lasan dengan elektroda E7018, E7016, dan E6013

Pada pengujian tarik terjadi patah di bagian logam las, berarti kualitas sambungan las lebih rendah daripada logam induk (*base metal*) seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Efisiensi pengelasan menggunakan elektroda E7018, E7016, dan E5013 adalah 92,7; 90,3; dan 83,0 %. Efisiensi pengelasan merupakan perbandingan kekuatan tarik hasil lasan dengan kekuatan tarik material *as received*. Penurunan kekuatan tarik dan luluh disebabkan oleh kecepatan pengelasan yang kurang tepat dan dalam penelitian ini tidak terekam di tabel 8. Hal ini menyebabkan terdapat cacat las berupa *porosity* (Gambar lasan tidak ditunjukkan) pada spesimen yang tampak pada permukaan logam las.

Pengujian Fatik

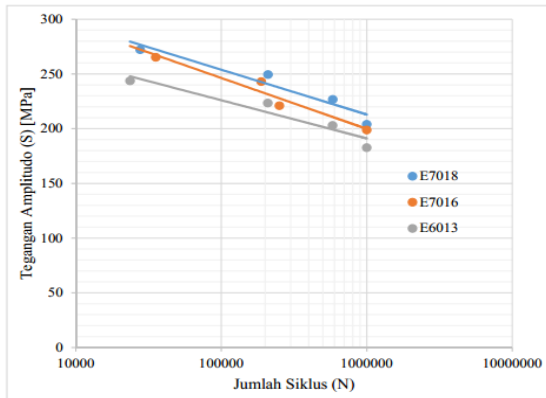
Pengujian fatik dilakukan untuk mengetahui kekuatan fatik material baja karbon rendah setelah mengalami proses pengelasan dengan variasi 3 tipe elektroda. Beban yang digunakan pada spesimen pengujian fatik didasarkan atas data kekuatan tarik rerata material hasil proses pengelasan. Pengujian ini dilakukan hingga jumlah pembebanan mencapai satu juta siklus (10^6 siklus). Nilai pembebanan (tegangan, S) dan jumlah siklus (N) yang bisa ditahan oleh spesimen fatik hasil proses pengelasan disajikan pada Tabel 4. Pada Gambar 9 ditunjukkan kurva S-N dengan data yang disajikan pada Tabel 4.

Pada kurva S-N pengujian fatik menunjukkan bahwa spesimen dilas menggunakan elektroda tipe E7018 mempunyai batas ketahanan fatik lebih tinggi dibandingkan elektroda tipe E7016 dan E6013 (lihat Tabel 4). Batas ketahanan leleh (Se) material hasil pengelasan lebih rendah dibandingkan dengan *raw material (as received)* baja S10C sebesar 292,59 MPa (Waskito, 2007). Hal ini sebanding dengan hasil pengujian tarik hasil lasan lebih rendah dari baja karbon rendah *as received*. Tanda panah pada kurva S-N menunjukkan bahwa pada pengujian fatik jumlah siklus sebesar 106 material spesimen tidak patah.

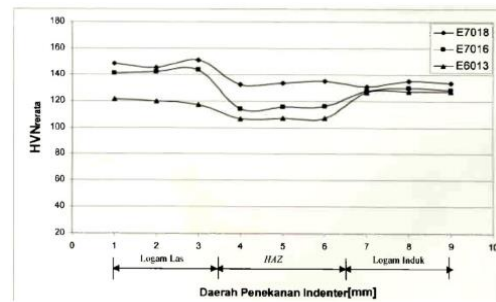
Tabel 4. Nilai pembebanan (tegangan, S) dan jumlah siklus (N) yang bisa ditahan oleh spesimen

Elektroda	Ultimate Tensile Stress (UTS), MPa	Amplitudo tegangan (AS), MPa	Amplitudo beban (AP), kg	Jumlah siklus, N	Keterangan
E7018	453,73	60% x UTS	272,24	13,50	27700
		55% x UTS	249,55	12,80	209700
		50% x UTS	226,87	11,03	584700
		45% x UTS	204,18	10,46	1000000
E7016	442,11	60% x UTS	265,27	12,90	35500
		55% x UTS	243,16	11,70	188200
		50% x UTS	221,06	11,24	250500
		45% x UTS	198,95	9,67	1000000
E6013	406,27	60% x UTS	243,76	12,00	23600
		55% x UTS	223,45	10,90	208800
		50% x UTS	203,14	9,72	581400
		45% x UTS	182,82	8,95	1000000

¹⁾ Se : Batas ketahanan leleh (*Endurance limit*)



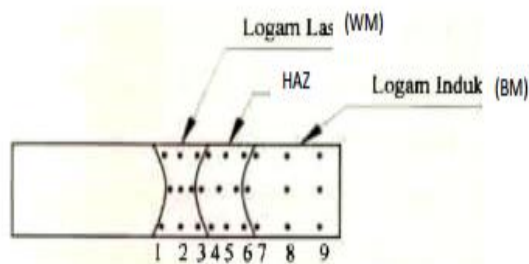
Gambar 9. Kurva S-N pengujian fatik dengan elektroda E7018, E7016, dan E6013



Gambar 11. Nilai kekerasan Vickers (HVN) hasil lasan 3 tipe elektroda E7018, E7016, dan E6013

Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 9 titik untuk logam (BM), HAZ, dan logam las (WM) pada masing-masing spesimen. Skema daerah penekanan indenter ditunjukkan pada Gambar 10.



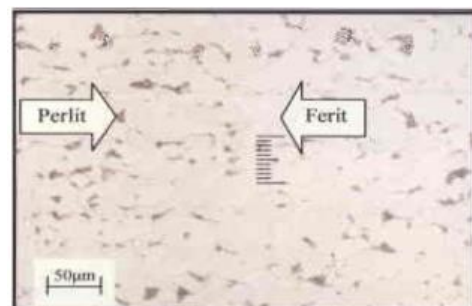
Gambar 10. Skema daerah penekanan indenter pengujian kekerasan Vickers dengan elektroda E7018, E7016, dan E6013

Nilai kekerasan Vickers HVN rerata hasil pengujian dari setiap tipe elektroda pada daerah las (WM), HAZ, dan logam induk (BM) ditunjukkan pada Gambar 11. Nilai kekerasan Vickers daerah logam las elektroda tipe E7018 paling tinggi diikuti oleh elektroda tipe E7016, dan terendah elektroda tipe E6013. Nilai kekerasan rerata di logam las untuk elektroda tipe E7018 dan E7016 masing-masing sebesar 148,23 dan 142,30 HVN, kedua nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan logam induk yaitu sebesar 129,95 HVN. Sedangkan untuk elektroda tipe E6013 nilai kekerasan di logam las sebesar 119,63 HVN lebih rendah dibandingkan logam induk. Hal ini sebanding dengan nilai karbon *equivalent*, semakin tinggi kandungan karbon untuk baja karbon rendah akan memberikan nilai kekerasan lebih tinggi. Pada daerah HAZ nilai kekerasan setiap elektroda lebih rendah dibandingkan dengan daerah logam las. Hal ini disebabkan pada daerah HAZ terjadi pembesaran ukuran butir ferit dibandingkan pada logam las, sehingga dapat diduga akan berpengaruh terhadap sifat kekerasan di daerah HAZ.

Pengujian Strukturmikro

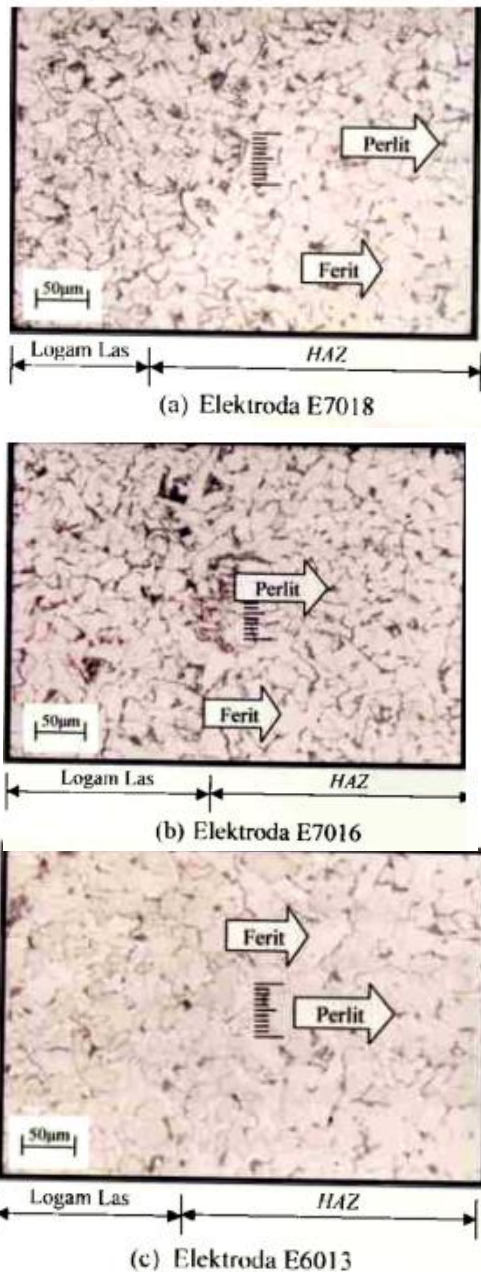
Pengamatan strukturmikro dengan mikroskop optik pada spesimen dilakukan di daerah logam las (*Weld Metal*: BM), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone*: HAZ), dan logam induk (*Base Metal*: BM). Strukturmikro BM ditunjukkan pada Gambar 12, terdiri dari ferit ditunjukkan dengan warna putih dan perlit ditunjukkan dengan warna gelap.

Strukturmikro berbutir besar mempunyai keuletan lebih besar dibandingkan dengan struktur mikro berbutir halus. Selanjutnya hasil pengamatan strukturmikro logam las dan HAZ ditunjukkan pada Gambar 13 (a), (b), dan (c).



Gambar 12. Strukturmikro logam induk (BM)

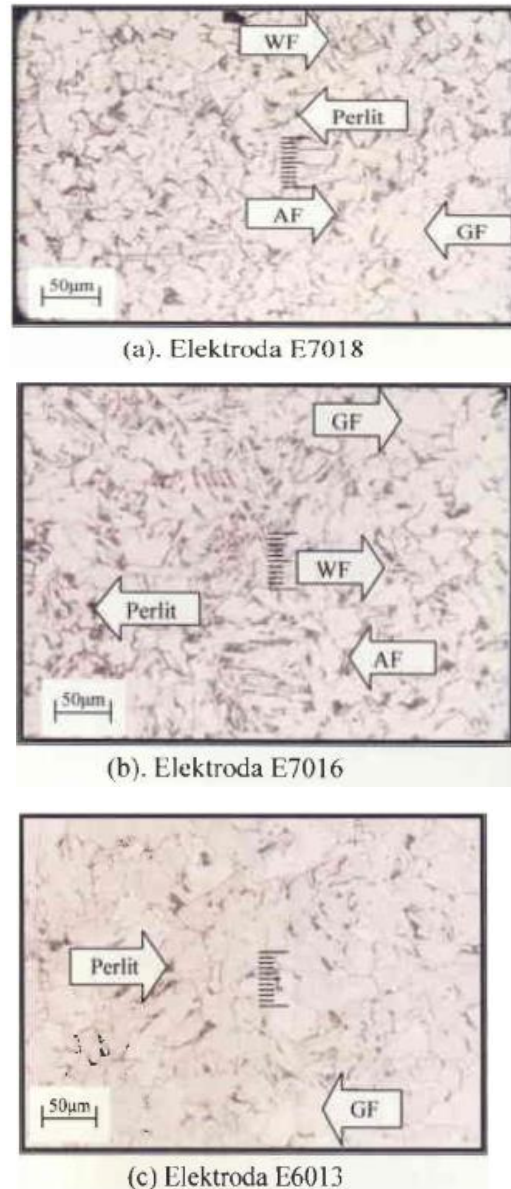
Strukturmikro pada daerah las-HAZ untuk setiap tipe elektroda didominasi oleh struktur ferit dan perlit. Pada Gambar 13 (a), (b), (c) ditunjukkan strukturmikro daerah las berwarna lebih gelap, sedangkan strukturmikro daerah HAZ berwarna terang. Ukuran butir pada setiap elektroda di daerah HAZ lebih besar daripada di daerah las (Gambar 13), hal ini sebagai akibat pengaruh panas yang terjadi pada proses pengelasan. Ukuran butir di daerah HAZ yang lebih besar dapat dihitung dengan persamaan Hall dan Petch (Callister and Rethwishch, 2010) mempunyai nilai kekerasan lebih kecil dibandingkan dengan logam las.



Gambar 13. Strukturmikro logam las dan HAZ

Strukturmikro logam las dari setiap elektroda didominasi oleh struktur ferit batas butir (GF) dan perlit ditunjukkan pada Gambar 14 (a), (b), dan (c). Ferit batas butir pada strukturmikro logam las elektroda E7018 ukurannya relatif lebih kecil dibandingkan elektroda E7016, sementara itu elektroda E6013 ukuran ferit batas butir lebih besar dari elektroda E7018 dan E7016. Ukuran butir ini sangat mempengaruhi sifat mekanis logam las, semakin kecil ukuran butir maka akan menghasilkan sifat mekanis yang semakin baik. Selain itu pada elektroda E7018 dan E7016 juga ditemui strukturmikro berupa **ferit**

acicular (AF) dan ferit Widmanstten (WF), tetapi struktur AF dan WF tidak ditemui pada elektroda E6013. Hadirnya struktur WF dapat menyebabkan penurunan keuletan dan ketangguhan logam las, namun sebaliknya hadirnya struktur AF sangatlah diharapkan karena dapat meningkatkan kekuatan dan keuletan logam las. Jumlah struktur AF dan WF yang terbentuk sangat kecil sehingga tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap kekuatan dan keuletan logam las.



Gambar 14. Strukturmikro logam las

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil penelitian pengelasan baja karbon rendah menggunakan 3 tipe elektroda E7018, E7016, dan E6013 dapat disimpulkan sebagai berikut.

- 1) Pengelasan baja karbon rendah dengan arus 90A dan tegangan 24V menggunakan elektroda jenis E7018 menghasilkan nilai kekuatan tarik (UTS), dan kekerasan Vickers (HVN), batas ketahanan fatik (Se) lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda jenis E7016 dan E6013.
- 2) Struktur mikro pada setiap elektroda pada logam las didominasi oleh struktur ferit batas butir (GF) dan perlit, sedangkan di daerah HAZ didominasi oleh struktur ferit dan perlit. Ukuran ferit batas butir (GF) di logam las lebih kecil dibandingkan di daerah HAZ, sehingga logam di daerah las lebih keras dibandingkan HAZ.
- 3) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variabel kecepatan pengelasan sehingga dapat dianalisis pengaruh *heat input* terhadap sifat fisis, mekanis, dan distorsi.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada saudara Suibrata, D.H. yang telah membantu dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

ASM Handbook, 1995, *Welding, Brazing, and Soldering*, Vol 6, ASM International, USA.
Callister, W.D.Jr, Rethwishch, D.G., 2010, *Materials Science and Engineering, An*

Introduction, 8^{ed}, John Willey & Sons, Inc., New York.

Ceperindo, I., P.T., 2007, Analisis komposisi kimia, Ceper, Klaten, Jawa Tengah, Indonesia.

Dieter, G.E., 1988, *Mechanical Metallurgy*, SI Metric ed., McGraw-Hill, Singapore.

JIS Handbook, 1981, *Ferrous Materials*, Japanese Standards Association, Japan.

Lancaster, J.F., 1999, *Metallurgy of Welding*, 6th ed., Abington Publishing, Cambridge.

Messler, R.W. Jr., 1999, *Principles of Welding; Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*, John Willey & Sons, Inc., New York.

Meyers, M.A., Chawla, K.K., 1999, *Mechanical Behaviour of Materials*, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.

Mouser, J.D., 1998, *Welding Codes, Standards, and Specifications*, McGraw-Hill, USA.

Waskita, A., 2007, Karakteristik Fatik Baja S10C, Skripsi S1 Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Weman, K., 2012, *Welding processes handbook*, 2nd edition, Woodhead Publishing Limited, p. 191.

Wiryosumarto, H., Okumura, T., 1991, *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan 5, Pradnya Paramita, Jakarta