

Influence of Current and Electrode Type on Shielded Metal Arc Welding

Priyo Tri Iswanto¹ dan Mudijana^{1,*}

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada - Yogyakarta

*Korespondensi: mudijana@ugm.ac.id

Abstract. Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is an example of low carbon steel welding methods, however bad weld joints are still found. Welding joint quality is determined by physical and mechanical properties. This study intends to investigate the effects of electrical current and electrode types on physical and mechanical properties of SMAW weld joints on two low carbon steel pieces. Electrode types and electrical current is the variable being observed in this study. SMAW welding is conducted on two low carbon steel pieces of same length and turned by lathe to achieve diameter of 22 mm. These steel pieces have one of their ends flat and the other cut into 45° conical shape with end diameter of 3 mm and 9,5 mm depth. Both of conical ends is being welded into double V groove with gap size of 3mm. Welding is done using E6013 and E7016 electrode with 75A and 85A electrical current. Full penetration weld is done by 3 mm gap and filler angle at 90°. Welding is assisted by V fixture to rotate the specimen. Inspection of welded products is done by microstructure examination, Vickers hardness test, tensile test and fatigue test. Inspection results shows that low carbon steel rod (0,2455% C) welded by SMAW using E7016 electrode with 85A current yields highest tensile strength (585 MPa) and 177 MPa fatigue limit. Highest Vickers hardness (239 HVN) is achieved by E7016 electrode and 75A current. Microstructure of welding is dominated by ferrite grain boundary (GF).

Abstrak. Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan salah satu cara yang umum digunakan untuk pengelasan baja karbon rendah, namun masih sering dijumpai kualitas sambungan las yang buruk. Kualitas sambungan las dapat diidentifikasi dengan sifat-sifat fisis dan mekanis. Tujuan penelitian ini membandingkan sifat fisis dan mekanis sambungan las SMAW dua potong baja karbon rendah dengan 2 variasi arus dan tipe elektroda. Variabel yang diteliti adalah arus dan jenis elektroda. Pengelasan SMAW menggunakan dua potong baja karbon rendah sama panjang dibubut sehingga berdiameter 22 mm. Salah satu ujung rata dan ujung lain dibuat konis 45° dengan kedalaman 9,5 mm dan diujungnya rata berdiameter 3 mm. Kedua ujung konis di las SMAW yang membentuk kampuh X dengan lebar celah 3 mm. Pengelasan dilakukan dengan elektroda tipe E6013 dan E7016 menggunakan arus 75A dan 85A. Lasan penetrasi penuh dengan celah 3 mm dan sudut pengisi 90°. Pengelasan dilakukan dengan bantuan perletakan V sehingga spesimen dapat diputar. Selanjutnya, hasil lasan diuji strukturmikro, kekerasan Vickers, tarik, dan fatik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batang baja karbon rendah (0,2544% C) yang di las SMAW menggunakan tipe elektroda E7016 dengan arus 85A mempunyai kekuatan tarik paling tinggi 585 MPa, dan batas fatik 177 MPa. Kekerasan Vickers paling tinggi menggunakan tipe elektroda E7016 dan arus 75A yaitu 239 VHN. Strukturmikro logam las didominasi oleh *grain boundary ferrite* (GF).

Kata kunci: SMAW, arus, elektroda, Vickers, *grain boundary ferrite*, fatik

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Las busur listrik elektroda terbungkus atau *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan salah satu jenis las cair. SMAW banyak digunakan di bidang-bidang perkapalan, kendaraan rel, jembatan, rangka baja, dan lain sebagainya. Keempat bidang konstruksi ini kebanyakan menggunakan baja karbon rendah. Baja karbon rendah mudah di las dan hasilnya bagus bila di dalam pemilihan tipe elektroda, besar arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan yang tepat. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian pengelasan 2 batang baja karbon rendah yang di las dengan SMAW menggunakan 2 variasi arus dan tipe elektroda. Hal ini berhubungan dengan proses perbaikan beberapa

konstruksi teknik yang kebanyakan dibuat dari baja karbon rendah.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus, sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar. Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las. Logam mempunyai sifat mampu las baik bila pemindahan terjadi dengan butiran halus [1].

Penelitian tentang pengaruh variasi arus terhadap sifat mekanis dan fatik sambungan las dengan metode pengelasan SMAW telah dilakukan oleh Setuju (2007)[2]. Semakin tinggi arus yang digu-

nakan maka mempunyai masukan panas yang tinggi dan laju pendinginan lama sehingga besar butir akan lebih besar dibandingkan dengan penggunaan arus yang lebih rendah. Pada penggunaan arus yang lebih rendah mempunyai ukuran butir yang lebih kecil. Besar butir akan mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan arus sebesar 80 A merupakan arus yang paling tepat pada pengelasan baja karbon rendah dibanding menggunakan arus sebesar 100 A. Pada pemilihan arus yang tepat akan didapatkan butir yang halus sehingga mempunyai kekuatan tarik dan kekerasan yang lebih baik dibanding butir besar

Penelitian pengaruh variasi tipe elektroda terhadap sifat mekanis dan fatik sambungan las dengan metode pengelasan SMAW juga telah dilakukan oleh Subrata (2007) [3]. Hasil uji menunjukkan bahwa pengelasan dengan elektroda tipe E7018 dan tipe E7016 mempunyai kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan tipe E6013. Hal ini juga dijelaskan pada spesifikasi elektroda terbungkus dari baja lunak bahwa kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan sebesar 49,2 kg/mm² lebih besar daripada kekuatan tarik terendah kelompok E60 yaitu sebesar 42,2 kg/mm² [1]. Menurut Subrata, (2007) [3] hasil lasan dengan tipe elektroda E7018 mempunyai kekuatan tarik 453,73 MPa dan batas ketahanan lelah 204,18 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan hasil lasan tipe elektroda E6013 mempunyai kekuatan tarik 406,27 MPa dan batas ketahanan lelah 182,82 MPa.

Kekuatan lelah komponen mesin dari baja diperoleh dari kekuatan lelah baja yang digunakan dikalikan dengan faktor pereduksinya. Faktor pereduksi kelelahan terdiri dari faktor permukaan, faktor ukuran, faktor temperatur, faktor konsentrasi tegangan lelah, faktor korosi, dan faktor lain. Semua faktor pereduksi kekuatan lelah ini ditentukan secara empirik.

Persamaan umum konstanta fatik untuk kurva S-N seperti ditunjukkan pada gambar 1 dapat dinyatakan sebagai berikut [4],

$$S_a = C \times N^k \quad (1)$$

Untuk menentukan besarnya beban yang akan diberikan pada saat pengujian fatik *rotary bending* dapat ditentukan dengan persamaan 2 [5] :

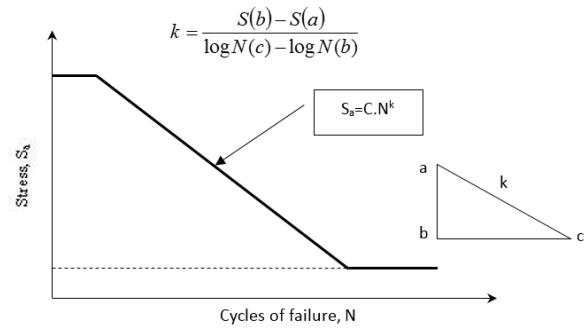
$$W = \frac{\pi \sigma d^3}{3200 \times g} \text{ kg} \quad (2)$$

dimana

σ = tegangan rata-rata yang terjadi (MPa)
 d = diameter ukur spesimen (mm)

W = berat pembebahan (Kg)

g = percepatan gravitasi (m/s²)



Gambar 1. Kurva S-N Gatts

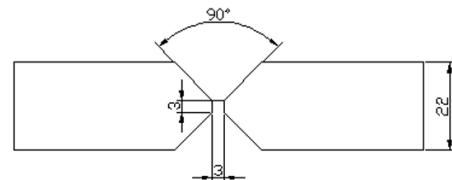
Metode Penelitian

1. Bahan penelitian

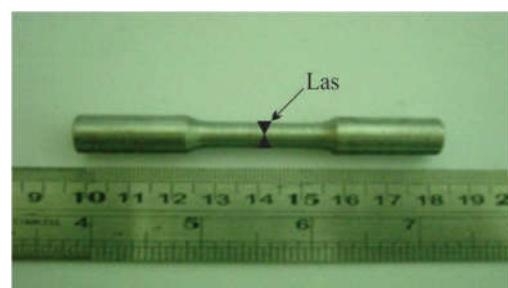
Bahan penelitian yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan komposisi kimia 0,2544% C; 0,2904% Si; 0,4969% Mn; 0,0064% P; 0,0015% S. Bahan dibentuk menjadi spesimen yang dilas seperti ditunjukkan pada gambar 2, sedangkan bentuk spesimen uji fatik ditunjukkan pada gambar 3.

2. Alat penelitian

Alat penelitian yang digunakan adalah mikroskop, uji kekerasan Vicker, Uji tarik dengan Servopulzer, uji fatik, dan alat-alat bantu lainnya. Pengelasan menggunakan mesin las Dalex dilakukan dengan elektroda tipe E6013 dan E7016 menggunakan arus 75A dan 85A.



Gambar 2. Spesimen las tumpul jenis V ganda penetrasi penuh tanpa pelat penahan [6].



Gambar 3. Spesimen uji fatik JIS Z 2274 No.1 [7].

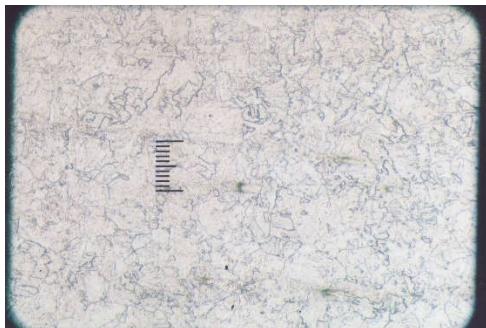
Hasil Dan Pembahasan

1. Pemeriksaan Metalografi

1.1 Strukturmikro logam induk

Struktur logam induk ditunjukkan pada gambar 4, tersusun atas ferit yang berwarna terang (putih kecoklatan) sedangkan perlit berwarna gelap yang terdiri dari ferit dan cementit. Kandungan karbon rendah dan mempunyai struktur ferit dan perlit

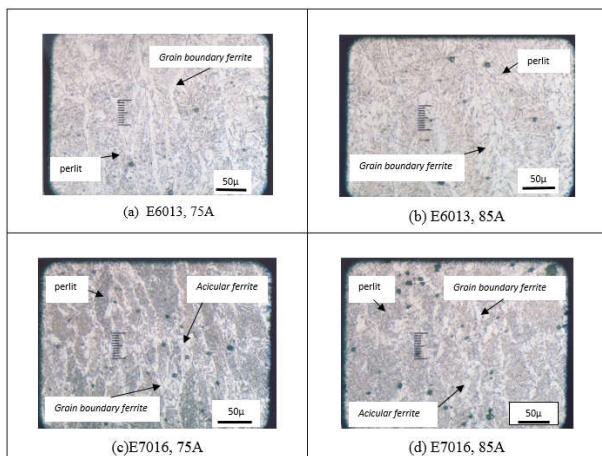
menunjukkan mempunyai sifat keuletan, ketangguhan, dan mampu mesin yang baik.



Gambar 4. Struktur mikro logam induk baja karbon 0,2544% C

1.2 Strukturmikro logam las

Struktur mikro logam las pada sambungan las silinder pejal dengan variasi tipe elektroda dan variasi arus ditunjukkan pada gambar 5. Strukturmikro logam las setiap variasi didominasi oleh struktur (GF) dan perlit. GF pada strukturmikro logam las elektroda tipe E7016 dengan arus 75A dan 85A memiliki ukuran relatif lebih kecil dibandingkan logam las variasi lain. Ukuran butir ini sangat mempengaruhi sifat mekanis logam las dimana semakin kecil ukuran butir, maka akan mempunyai sifat kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih baik. Pada elektroda E7016 terdapat strukturmikro berupa *acicular ferrite* (AF), sedangkan pada logam las elektroda E6013 tidak ditemui struktur AF. Struktur AF dapat meningkatkan kekuatan tarik logam las karena ukuran butirannya kecil dan ketangguhan menjadi lebih baik. Jumlah struktur AF yang terbentuk kecil jumlahnya, maka tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap kekuatan dan keuletan logam las.

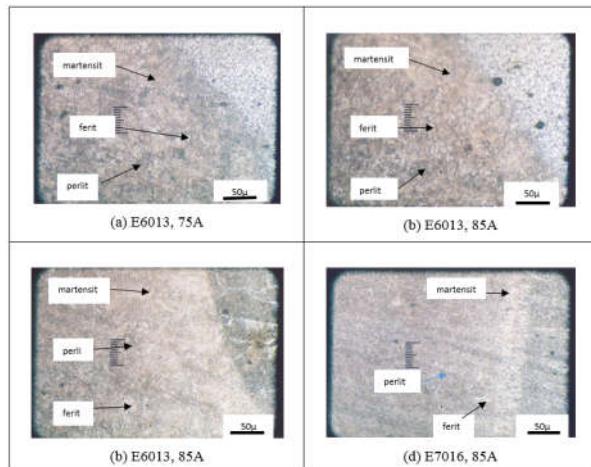


Gambar 5. Struktur mikro logam las (a) E6013, 75A; (b) E6013, 85A; (c) E7016, 75A; (d) E7016, 85A

1.3 Struktur Mikro *Heat Affected Zone* (HAZ)

Pada proses pengelasan akan terjadi siklus termal pada logam induk dekat sambungan sampai mendekati titik cair, kemudian diikuti dengan

pendinginan. Keadaan ini mengakibatkan terjadinya perubahan strukturmikro dan sifat-sifat mekanis dari keadaan awal logam induk. Daerah logam induk yang mengalami siklus termal ini disebut *heat affected zone* (HAZ). Pada HAZ terbentuk martenit, terlihat seperti jarum berwarna gelap jika diamati dengan mikroskop. Martensit di HAZ akan meningkatkan kekerasan pada material yang disambung, disebabkan terjadi perubahan struktur menjadi *body center tetragonal* (BCT), Strukturmikro HAZ ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Foto struktur mikro *Heat Affected Zone* (HAZ) (a) E6013, 75A; (b) E6013, 85A; (c) E7016, 75A; (d) E7016, 85A

Penggunaan arus 85A mempunyai masukan panas yang tinggi dan laju pendinginan lama sehingga besar butir akan lebih besar dibandingkan dengan penggunaan arus 75A. Pada penggunaan arus 75A pendinginan lebih cepat sehingga besar butir kecil atau halus. Material yang disambung menggunakan elektroda tipe E7016 dengan besar arus 75A mempunyai ukuran butir paling kecil dibanding variasi yang lain. Butir yang halus mempunyai kekuatan tarik dan kekerasan lebih tinggi dibanding butir besar.

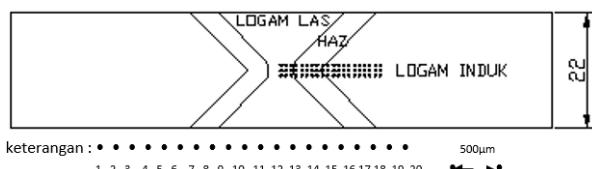
2. Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah logam las, HAZ, dan logam induk pada masing-masing spesimen. Skema daerah penekanan indenter dapat dilihat pada gambar 7.

Pada spesimen tipe E6013 dengan arus 75 A, titik 1-3 terdapat di logam las, 4-11 terdapat di HAZ, dan titik 12-20 terdapat di logam induk. Spesimen tipe E6013 dengan arus 85 A, titik 1-4 terdapat di logam las, 5-7 terdapat di HAZ, dan titik 8-20 terdapat di logam induk. Spesimen tipe E7016 dengan arus 75 A, titik 1-5 terdapat di logam las, titik 6-8 terdapat di HAZ, dan titik 9-20 terdapat di logam induk. Spesimen tipe E7016 dengan besar arus 85 A, titik 1-5 terdapat di logam las, titik 6-9

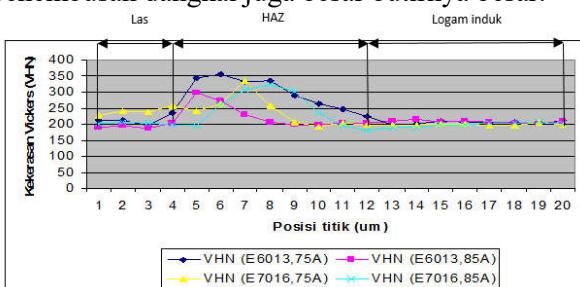
terdapat di HAZ, dan titik 10-20 terdapat di logam induk.

Untuk membandingkan harga kekerasan dari setiap tipe elektroda dan variasi arus pada daerah las, HAZ, dan daerah logam induk ditunjukkan pada Gambar 8. Pada pengujian ini kekerasan paling tinggi di daerah logam las terdapat pada tipe E7016 dengan arus 75 A yaitu sebesar $239 \text{ kg/mm}^2 \text{ VHN}$. Sedangkan logam las yang memiliki harga kekerasan paling rendah adalah tipe E6013 dengan arus 85 A yaitu sebesar $192,73 \text{ kg/mm}^2 \text{ VHN}$. Elektroda tipe E7016 merupakan elektroda dengan jenis fluks hidrogen rendah dengan daya busur sedang dan penembusan sedang, untuk tipe E6013 merupakan elektroda dengan jenis fluks kalium titania tinggi dengan daya busur lemah dan penembusan dangkal.



Gambar 7. Posisi titik pengujian kekerasan Vickers

Penggunaan arus 85A mempunyai masukan panas yang tinggi dan laju pendinginan lama sehingga besar butir akan lebih besar dibandingkan dengan penggunaan arus 75A. Pada penggunaan arus 75A pendinginan lebih cepat sehingga besar butir kecil atau halus. Logam las tipe E7016 dengan arus 75A memiliki harga kekerasan paling tinggi dikarenakan fluks memiliki daya busur sedang dan penembusan sedang juga besar butirnya kecil atau halus. Sedangkan logam las tipe E6013 dengan arus 85A memiliki harga kekerasan paling rendah disebabkan fluks memiliki daya busur lemah dan penembusan dangkal juga besar butirnya besar.



Gambar 8. Nilai kekerasan pada daerah logam las, HAZ, dan logam induk

Pada HAZ kekerasan paling tinggi terdapat pada tipe E6013 dengan arus 75 A yaitu sebesar $299,63 \text{ kg/mm}^2 \text{ VHN}$ sedangkan kekerasan paling rendah terdapat pada tipe E6013 dengan arus 85 A yaitu sebesar $265,55 \text{ kg/mm}^2 \text{ VHN}$. Unsur paduan sangat berpengaruh pada kekerasan di HAZ. Pada HAZ terbentuk martensit. Martensit mempunyai struktur *body center tetragonal* (BCT), karbon terperangkap

dalam kisi dan slip sulit terjadi, maka martensit bersifat keras, kuat, dan rapuh [8].

3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada *raw material* dan spesimen setelah melalui proses pengelasan dengan dua variasi tipe elektroda dan dua variasi arus listrik. *Raw material* yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,2544%. Hasil pengujian kekuatan tarik *raw material*, $\sigma_{\max} = 508,466 \text{ MPa}$, sedangkan kekuatan luluh sebesar, $\sigma_y = 409,373 \text{ MPa}$. Hasil pengujian tarik spesimen setelah dilas pada tipe E6013 dengan arus 75A, $\sigma_{\max} = 491,87 \text{ MPa}$, sedangkan kekuatan luluh, $\sigma_y = 435,79 \text{ MPa}$, dan pada tipe E6013 dengan arus 85A $\sigma_{\max} = 527,10 \text{ MPa}$, sedangkan kekuatan luluh $\sigma_y = 462,99 \text{ MPa}$. Pada tipe E7016 dengan arus 75A besar kekuatan tarik maksimum, $\sigma_{\max} = 558,65 \text{ MPa}$, sedangkan kekuatan luluh, $\sigma_y = 456,46 \text{ MPa}$, dan pada tipe E7016 dengan arus 85 A besar kekuatan tarik maksimum, $\sigma_{\max} = 584,57 \text{ MPa}$, sedangkan kekuatan luluh, $\sigma_y = 455,79 \text{ MPa}$. Pada pengujian tarik semua benda uji hasil pengelasan putus di daerah logam las, mengindikasikan kekuatan tarik yang terukur adalah kekuatan tarik logam las. Kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan lebih tinggi dibandingkan kekuatan tarik *raw material*, hanya satu tipe yaitu E6013 dengan arus 75 A yang memiliki kekuatan tarik di bawah kekuatan tarik *raw material*. Berdasarkan spesifikasi elektroda terbungkus dari baja lunak (AWS A5.1-64T), kekuatan tarik terendah kelompok E60 adalah 422 MPa, sedangkan untuk kelompok E70 kekuatan tarik terendah adalah 492 MPa. Kekuatan tarik maksimum pada masing-masing variasi memiliki harga diatas kekuatan tarik terendah pada tiap kelompoknya. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas sambungan las yang dilakukan *welder* dari Inlastek cukup baik.

4. Pengujian Fatik

4.1 Pengaruh variasi arus pada elektroda E6013

Pengujian fatik dilakukan untuk mengetahui kekuatan fatik material baja karbon rendah 0,2544% C dan material yang telah melalui proses pengelasan dengan variasi tipe elektroda dan variasi arus. Ketahanan lelah spesimen tipe E6013 dengan arus 75 A lebih rendah dibandingkan dengan spesimen tipe E6013 dengan arus 85 A. Hal ini ada konsisten dengan pengujian tarik yang sudah dilakukan. Spesimen tipe E6013 dengan arus 85 A yang mempunyai kekuatan tarik lebih tinggi yaitu sebesar 527,10 MPa mempunyai batas ketahanan lelah yang lebih tinggi yaitu sebesar 184,49 MPa. Sedangkan pada spesimen tipe E6013 dengan arus 75 A yang mempunyai kekuatan tarik lebih rendah yaitu se-

besar 491,87 MPa mempunyai batas ketahanan lelah yang lebih rendah pula yaitu sebesar 172,16 MPa. Ketahanan lelah kedua variasi spesimen yang disambung dengan las nilainya ada di bawah ketahanan lelah *raw material*.

Untuk membandingkan kualitas sambungan las terhadap kekuatan fatik dari masing-masing spesimen maka dibuat kurva S-N ditunjukkan pada gambar 9. Tanda panah pada kurva S-N menunjukkan bahwa dalam pengujian fatik pada jumlah siklus 10^6 dan 2×10^6 material tersebut tidak patah. Pada pengujian yang dilakukan, patah fatik yang terjadi pada siklus dibawah 10^5 disebut fatik siklus rendah dan yang terjadi pada siklus yang lebih tinggi disebut fatik siklus tinggi.

Dari hasil pengujian lelah untuk tiap spesimen didapatkan hubungan sebagai berikut:

Raw material:

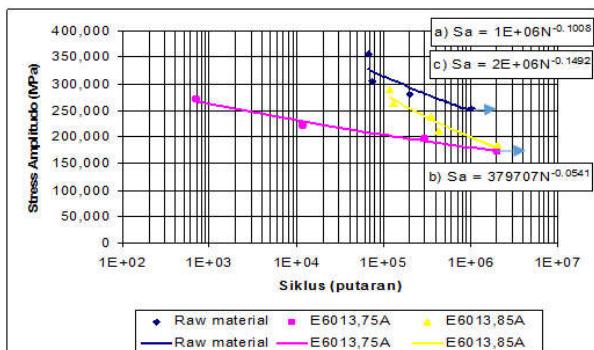
$$Sa = 1E+06 N^{-0,1008}$$

Spesimen tipe E6013 dengan arus 75 A:

$$Sa = 379707 N^{-0,0541}$$

Spesimen tipe E6013 dengan arus 85 A:

$$Sa = 2E+06 N^{-0,1492}$$

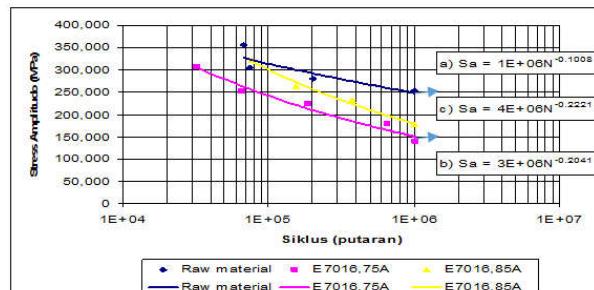


Gambar 9. Siklus S-N baja karbon 0,2544% C (a) *Raw material*; (b) Spesimen tipe E6013 dengan arus 75 A; (c) Spesimen tipe E6013 dengan arus 85 A

4.2 Pengaruh Variasi Arus Pada Elektroda E7016

Pengujian fatik *raw material*, spesimen tipe E7016 dengan arus 75 A, dan spesimen tipe E7016 dengan arus 85 A menunjukkan bahwa ketahanan lelah spesimen tipe E7016 dengan arus 75A lebih rendah dibandingkan dengan spesimen tipe E7016 dengan arus 85A. Hal ini konsisten dengan pengujian tarik yang sudah dilakukan. Spesimen tipe E7016 dengan arus 85A yang mempunyai kekuatan tarik lebih tinggi yaitu sebesar 585 MPa mempunyai batas ketahanan lelah yang lebih tinggi yaitu sebesar 177 MPa. Sedangkan pada spesimen tipe E7016 dengan arus 75A yang mempunyai kekuatan tarik lebih rendah yaitu sebesar 558,65 MPa mempunyai batas ketahanan lelah yang lebih rendah pula yaitu sebesar 139,66 MPa. Ketahanan lelah kedua variasi spesimen yang disambung dengan las nilainya ada

di bawah ketahanan lelah *raw material*. Untuk membandingkan kualitas sambungan las terhadap kekuatan fatik dari masing-masing spesimen maka dibuat kurva S-N ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Siklus S-N baja karbon 0,2544% C (a) *Raw material*; (b) Spesimen tipe E7016 dengan arus 75 A; (c) Spesimen tipe E7016 dengan arus 85 A

Tanda panah pada kurva S-N pada gambar 10 menunjukkan bahwa dalam pengujian fatik pada jumlah siklus 10^6 tidak patah. Dari hasil pengujian lelah untuk tiap spesimen didapatkan hubungan sebagai berikut:

Raw material:

$$Sa = 1E+06 N^{-0,1008}$$

Spesimen tipe E7013 dengan arus 75 A:

$$Sa = 3E+06 N^{-0,2041}$$

Spesimen tipe E7013 dengan arus 85 A:

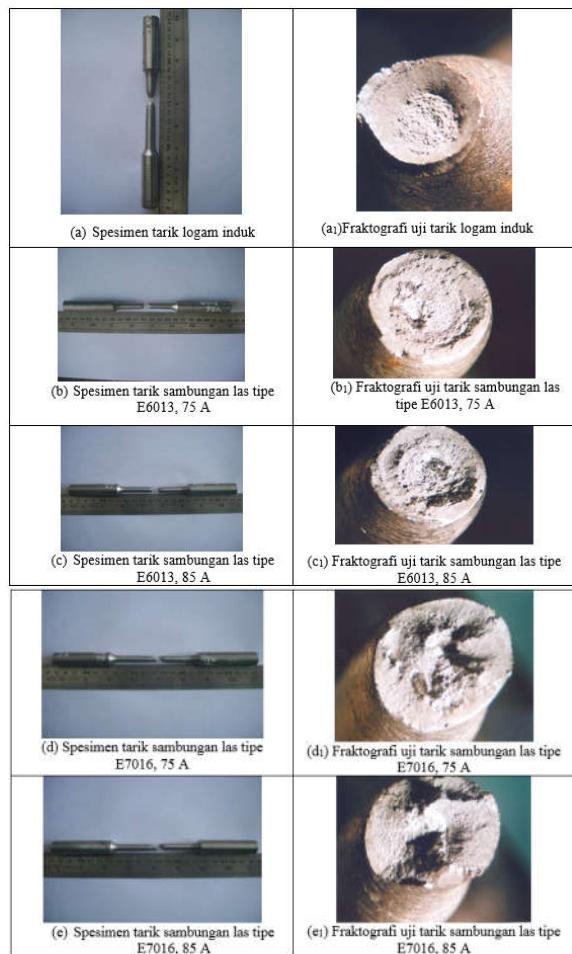
$$Sa = 4E+06 N^{-0,2221}$$

Bergesernya kedudukan kurva S-N tersebut disebabkan oleh angka kekasaran permukaan spesimen yang dilas lebih besar dari logam induk. Selain itu juga terdapatnya cacat las berupa *porosity* pada spesimen yang tampak pada permukaan logam las akibat kurangnya pembersihan terak pada saat pengelasan menjadikan salah satu penyebab besarnya angka kekasaran. Pada uji *rotary bending* dengan semakin besarnya angka kekasaran permukaan akan mengakibatkan terjadinya retak awal yang lebih cepat. Hal tersebut sesuai dengan teori Collins (1981) [5] yang mengatakan bahwa kegagalan lelah terutama disebabkan oleh kondisi kekasaran permukaan.

5. Fraktografi

5.1 Fraktografi hasil uji tarik

Fraktografi hasil uji tarik logam induk ditunjukkan pada gambar 11 (a₁). Logam induk adalah baja karbon rendah (0,2544% C) mempunyai sifat ulet, hal ini ditandai dengan pengecilan penampang sebelum patah dan patahnya berbentuk *cup cone*. Sedangkan logam yang di las, fraktografi dengan 4 variasi ditunjukkan pada gambar 11 (b₁, c₁, d₁, e₁).



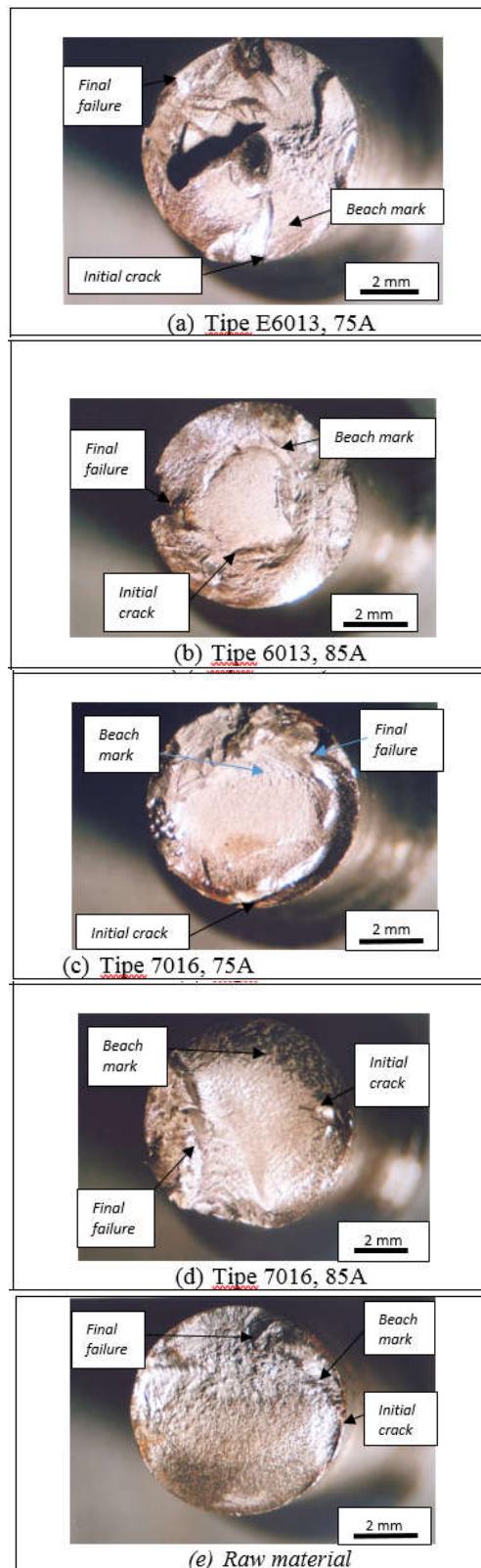
Gambar 11. Fraktografi uji tarik logam induk dan sambungan las

Permukaan patah las rata, tanpa corong, mendekati tegak lurus arah tarikan, membentuk sudut hampir 45° terhadap arah tarikan, agak berbutir, kadang bekelip karena tersebarnya bidang-bidang pantul yang kecil-kecil di permukaan patah, maka bisa dipastikan benda uji yang dilas bersifat getas. Selain dari bentuk fraktografi, besarnya regangan uji tarik juga menjadi petunjuk apakah material tersebut bersifat liat atau getas, semakin kecil regangan maka bahan tersebut akan bersifat getas. Nilai regangan rerata raw material = 21,52 %; tipe E6013 dengan arus 75 A = 5,59 %; tipe E6013 dengan arus 85 A = 6,81 %; tipe E7016 dengan arus 75 A = 5,15 %; dan tipe E7016 dengan arus 85 A = 7,27 %. Tempat patah spesimen yang dilas terdapat pada logam las dan nilai regangan (ε) < 10% sehingga jelas mempunyai jenis patah getas.

5.2 Fraktografi hasil uji fatik

Fraktografi spesimen fatik ditunjukkan dengan jelas ciri-ciri patah lelah, yaitu adanya *initial crack*, *beach mark*, dan *final failure*. *Initial crack* muncul dengan garis melingkar di bagian tepi, sedangkan *beach mark* berupa bayangan yang membentuk

ellips yang terletak di antara *initial crack* dan *final failure*.



Gambar 12. Fraktografi spesimen fatik yang dilas dengan (a) tipe E6013, 75 A; (b) tipe E6013, 85 A; (c) tipe E7016, 75 A; (d) tipe E7016, 85A; dan (e) raw material.

Kondisi siklus amplitudo beban kecil pada spesimen yang dilas dengan elektroda tipe E6013 menyebabkan penampang patahan dan *beach mark* yang relatif kecil. Hal ini disebabkan terjadi patah getas dengan pemisahan langsung sepanjang bidang kristalografik, dimulai dari daerah plastis pada ujung logam las yang terkonsentrasi secara lokal. Pada setiap butiran, patahannya rata dan reflektivitasnya tinggi, sehingga patah getas ini memberikan penampakan yang terang. Perambatan retak yang halus dan bertahap ini menghasilkan luasan daerah *final failure* yang relatif kecil sebelum akhirnya patah.

Pada kondisi siklus tegangan besar, daerah *final failure* mempunyai luas yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi siklus tegangan kecil, karena tegangan besar menyebabkan perambatan retak yang lebih panjang dan tidak stabil sehingga membentuk permukaan patahan yang lebih kasar. Hampir semua perpatahan akhir cenderung terletak menuju ke tepi, hal ini dipengaruhi oleh posisi munculnya *initial crack* dan homogenitas material. Titik pertama kali muncul *initial crack* mayoritas merupakan titik terjauh dengan daerah patahan akhir.

Pada spesimen yang dilas dengan elektroda tipe E7016 memberikan bidang patahan yang irregularitas, bergelombang atau bertangga. Dalam satu butiran molekulnya memungkinkan tumbuhnya retak secara simultan sehingga terjadi dua bidang kristalografik sejajar. Kemudian dua retak paralel yang bergabung dan *overlap* membentuk tangga karena patah getas sekunder. Kondisi amplitudo beban dinamis yang besar menimbulkan amplitudo tegangan yang besar dan laju yang cepat, sehingga tahap perambatan retaknya cenderung lebih panjang, bergelombang, sedangkan daerah *final failure* sebagai tahapan akhir yang mampu menahan beban tersebut akan lebih luas.

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji struktur mikro di logam las terdapat struktur ferit dan perlit, sedangkan pada HAZ terdapat struktur martensit yang mengakibatkan HAZ lebih keras dari logam las dan logam induk. Strukturmikro logam las didominasi oleh *grain boundary ferrite* (GF).
2. Pada pengelasan menggunakan arus 85 A dan elektroda jenis E7016 mempunyai kekuatan tarik dan ketahanan fatik paling tinggi yaitu 585 MPa dan 177 MPa, sedangkan nilai kekerasan paling tinggi di las dengan arus 75 A dengan elektroda E7016 sebesar 239 kg/mm².

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada saudara Albertus Dito Migrasto dan semua pihak yang telah membantu terlaksananya dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] Wiryosumarto, H. dan Okumura, T., 1991. *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2] Setuhu, S.T., 2007. Pengaruh Variasi Kuat Arus dan Elektroda terhadap Sifat Fisis Mekanis dan Kekuatan Fatik Sambungan Las Baja Karbon Rendah dengan Metode Pengelasan SMAW. Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [3] Subrata, H.D., 2007. Pengaruh Variasi Tipe Elektroda Terhadap Sifat Fisis Mekanis dan Kekuatan Fatik Sambungan Las Baja Karbon Rendah Dengan Metode Pengelasan SMAW, Skripsi Program Studi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4] Shijve, J., 2003. Fatigue of structures and materials in the 20 th century and the state of the art, Materials Science, Vol. 39, No.3, 7-27.
- [5] Collins, J. A., 1981. Failure of Materials in Mechanical Design, John Wiley and Sons, Canada.
- [6] Mouser, J.D., 1998. Welding Codes, Standards, and Specifications, McGraw-Hill, USA.
- [7] JIS, 1981. Steel and Cast Iron Product, Japanese International Standards, Jepang.
- [8] Vlack, V., and Lawrence, H., 1980. Elements of Materials Science and Engineering, Addison-Wesley, USA.