



PENGARUH VARIASI ELEKTRODA DAN ARUS LISTRIK PENGELASAN TERHADAP CACAT LAS DAN SIFAT MEKANIK PELAT BAJA APLIKASI LAMBUNG KAPAL

Tiara Triana ^{1*}, Mursidil Kamil ¹, Yeni Muriani Zulaida ¹

Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

**Email Penulis: tiara_triana@untirta.ac.id*

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 03/09/2018
Naskah Direvisi 27/09/2018
Naskah Disetujui 11/10/2018
Naskah Online 17/10/2018

ABSTRAK

Cacat porositas merupakan jenis cacat las yang paling sering ditemukan di industri perkapalan khususnya di bagian lambung kapal. Upaya untuk menanggulangi masalah ini yaitu dengan cara melakukan penelitian terhadap baja aplikasi lambung kapal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda dan besar arus listrik terhadap penurunan cacat porositas yang terbentuk, terhadap perubahan sifat mekanik dan struktur mikro pada logam hasil pengelasan SMAW. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pelat baja karbon rendah SS400 dengan dimensi pelat sebesar 180 x 100 x 10 mm. Pelat baja SS400 dilas menggunakan dua elektroda yang berbeda. Elektroda yang digunakan yaitu elektroda E7016 dan elektroda E7018. Pengelasan menggunakan elektroda E7016 dilakukan dengan variasi arus sebesar 90, 110, 130 dan 150 A, sedangkan pengelasan menggunakan elektroda E7018 dilakukan dengan variasi arus sebesar 80, 100, 120 dan 140 A. Hasil pengelasan menggunakan elektroda E7016 ditemukan cacat porositas sebesar 12 mm dan 2 mm pada saat pengelasan dilakukan dengan besar arus 90 A dan 130 A, sedangkan hasil pengelasan menggunakan elektroda E7018 ditemukan cacat porositas sebesar 6 mm pada saat pengelasan dilakukan dengan besar arus 80 A dan 100 A. Hasil pengamatan struktur mikro memperlihatkan struktur ferrite + pearlite di daerah logam induk. Struktur yang terbentuk di daerah lasan bagian tengah dan di daerah FGHAZ sama seperti struktur logam induk, akan tetapi ukurannya lebih halus. Struktur yang terbentuk di daerah CGHAZ yaitu widmanstatten ferrite dan coarse pearlite, sedangkan struktur di daerah lasan bagian atas yaitu widmanstatten ferrite, allotriomorphic ferrite, dan acicular ferrite. Secara umum, besarnya arus listrik yang digunakan pada saat proses pengelasan berlangsung akan mempengaruhi sifat mekanik di daerah lasan maupun daerah HAZ. Perubahan sifat mekanik terhadap besar arus listrik pengelasan memiliki kecenderungan yang berbeda tergantung dari jenis elektroda yang digunakan.

Kata kunci: *pengelasan, baja lambung kapal, cacat las, SMAW, HAZ*

1. PENDAHULUAN

Proses pengelasan merupakan salah satu proses yang sangat penting di dalam industri manufaktur. Proses tersebut telah banyak digunakan untuk menyambungkan logam dengan logam lain menggunakan logam pengisi. Lambung kapal merupakan salah satu bagian kapal yang kekuatan dan kualitas sambungannya harus diperhatikan. Menurut American Welding Society (AWS), salah satu metode pengelasan yang banyak digunakan di bidang konstruksi perkapalan adalah pengelasan shielded metal arc welding (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan karena dapat menghasilkan sambungan yang kuat dan mudah untuk digunakan[1].

Proses pengelasan merupakan masalah yang sangat penting, salah satunya adalah timbulnya cacat di dalam logam las. Inspeksi terhadap logam las sangat penting. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui kondisi logam las dan melakukan tindakan preventif sebelum terjadinya kegagalan fungsi pada saat digunakan[2]. Hasil pengelasan yang dilakukan di salah satu pabrik pembuatan kapal masih sering ditemukan cacat. Cacat yang sering terbentuk adalah cacat jenis porositas yang banyak ditemukan di bagian lambung kapal. Cacat porositas yang terbentuk melebihi batas toleransi yang telah ditentukan di dalam standar AWS D1.1, sehingga hasil pengelasan tersebut dapat dikatakan reject (tidak diterima).

Upaya untuk menanggulangi masalah ini yaitu dengan cara melakukan penelitian terhadap baja karbon rendah hasil pengelasan SMAW menggunakan jenis elektroda yang berbeda dan arus yang divariasikan dari masing-masing elektroda yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda dan besar arus listrik terhadap penurunan cacat yang terbentuk, terhadap sifat mekanik dan struktur mikro yang terbentuk. Hasil yang diharapkan dari upaya tersebut adalah mendapatkan parameter pengelasan dengan hasil pengelasan yang bebas dari cacat atau cacat yang masih di bawah batas toleransi sehingga dapat diterima oleh standar yang berlaku. Gaya kutipan referensi mengikuti template jurnal (Satria, 2013). Hal ini dapat dilakukan dengan contoh sebagai berikut (Satria et al., 2016).

Untuk Gambar harus jelas dan resolusi tinggi minimal 300 dpi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pelat baja SS400 (180 x 100 x 10 mm) dengan komposisi kimia berikut ini:

Tabel 1. Komposisi Baja SS400

Komponen	Nilai (%)
C	0,162
Mn	0,901
P	0,012
S	0,0027
Si	0,005
Al	0,045
N	0,002
Nb	0,001
V	0,002
Ti	0,001
Cu	0,007
Ni	0,004
Cr	0,051
Mo	0,001

Permukaan pelat dibersihkan dari minyak, oli, debu dan lain-lain yang menempel pada pelat sebelum dilakukan pengelasan. Pengelasan dilakukan dengan simulasi lingkungan di pinggir laut, polaritas arus DC, tegangan sebesar 22 volt, alur las berupa single-v dengan sudut 60°, jarak antar pelat sebesar 2 mm dan menggunakan dua elektroda yang berbeda serta 4 variasi arus pada tiap elektroda yang digunakan. Elektroda yang digunakan yaitu elektroda E7016 dan E7018. Besarnya arus listrik yang digunakan pada pengelasan yang menggunakan elektroda E7016 yaitu 90, 110, 130 dan 150 A, sedangkan pengelasan yang menggunakan elektroda E7018 yaitu 80, 100, 120 dan 140 A.

Setelah dilakukan pengelasan, berbagai pengamatan dan pengujian dilakukan untuk mengetahui kualitas dari hasil pengelasan tersebut. Pengamatan visual dilakukan untuk mengukur dimensi hasil pengelasan seperti panjang, tebal dan lebar manik-manik las. Pengujian radiografi dilakukan dengan acuan standar ASTM E390. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mendeteksi cacat yang terdapat di daerah logam las. Pengamatan metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dan nilai fraksi volume yang terbentuk pada daerah lasan, daerah HAZ dan daerah logam. Pengujian sifat mekanik dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari besar arus listrik terhadap nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan nilai energi dampak dari semua hasil pengelasan yang dilakukan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan acuan standar JIS Z 2245, pengujian tarik menggunakan standar JIS Z 2201, sedangkan pengujian dampak menggunakan standar JIS Z 2202.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan Visual

Hasil dari pengamatan visual dapat disimpulkan bahwa lebar lasan semakin membesar seiring dengan besarnya arus listrik yang digunakan. Besarnya arus listrik akan mengakibatkan tingginya masukan panas yang diterima oleh logam induk. Tingginya masukan panas yang diterima akan mengakibatkan besarnya penyebaran elektroda yang mencair pada logam induk, sehingga akan mengakibatkan lebar lasan yang

semakin besar[3]. Tingginya masukan panas juga dapat mempengaruhi tebal lasan yang dihasilkan. Mondal dkk (2016) di dalam jurnalnya mengatakan bahwa tingginya masukan panas yang diterima oleh logam induk dapat mentransfer panas dalam jumlah yang besar ke daerah lasan, oleh karena itu semakin besar arus pengelasan akan mengakibatkan penetrasi yang semakin besar.

Hasil Pengujian Radiografi

Hasil dari pengujian radiografi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1. Fokus dari penelitian ini adalah mendeteksi cacat jenis porositas yang sering terbentuk di daerah lasan pada konstruksi perkapalan. Cacat las porositas sering terbentuk pada konstruksi perkapalan karena galangan kapal biasanya berada di pinggir pantai, sehingga angin pantai dengan mudah dapat berhembus ke daerah logam yang dilas secara terus menerus. Salah satu contoh cacat porositas yang terbentuk di bidang konstruksi perkapalan dapat dilihat pada Tabel 2 yang ditandai dengan Sampel Pabrik.

Tabel 2. Hasil Pengujian Radiografi

Spesimen Pengujian	Cacat Terdeteksi		Kriteria
	Porositas	Dimensi	
Sampel Pabrik	✓	10 mm	Tidak diterima
E7016 90A	✓	12 mm	Tidak diterima
E7016 110A	-	-	Diterima
E7016 130A	✓	2 mm	Tidak diterima
E7016 150A	-	-	Diterima
E7018 80A	✓	6 mm	Tidak diterima
E7018 100A	✓	6 mm	Tidak diterima
E7018 120A	-	-	Diterima
E7018 140A	-	-	Diterima

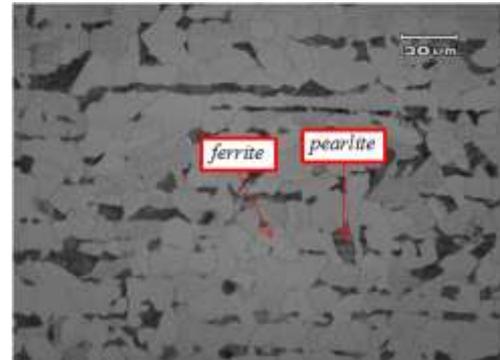
Berdasarkan tabel diatas, pengelasan dengan menggunakan elektroda E7016 ditemukan cacat porositas pada saat pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 90 A dan 130 A dan total dimensi porositas masing-masing sebesar 12 mm dan 2 mm, sedangkan pengelasan dengan menggunakan elektroda E7018 ditemukan cacat porositas pada saat pengelasan dilakukan dengan arus sebesar 80 A dan 100 A dan total dimensi porositas keduanya sebesar 6 mm. Sampel pabrik yang dijadikan referensi awal memiliki dimensi cacat porositas sebesar 10 mm. Jika dibandingkan antara sampel penelitian dengan sampel pabrik, maka dapat dikatakan bahwa sampel hasil penelitian memiliki cacat porositas dengan dimensi yang lebih kecil bahkan tidak ada cacat sama sekali, kecuali pada pengelasan dengan elektroda E7016 pada arus listrik 90 A.

Berdasarkan standar AWS D1.1, untuk pengelasan dengan ketebalan logam induk 10 mm memiliki batas toleransi dimensi cacat porositas sebesar 3 mm. Besarnya cacat porositas yang terbentuk pada 3 sampel di atas melebihi batas toleransi, hal ini dapat disimpulkan bahwa pengelasan dengan parameter tersebut tidak disarankan karena masih terbentuk cacat yang melebihi batas toleransi.

Banyak hal yang dapat menyebabkan cacat porositas terbentuk, salah satunya karena adanya hembusan angin yang kencang^[4]. Oleh karena itu, pengelasan yang dilakukan di galangan kapal sangat rentan terbentuk cacat porositas karena galangan kapal biasanya berada di pinggir pantai dan angin pantai dengan mudah dapat berhembus ke daerah logam yang dilas. Angin pantai yang berhembus di daerah galangan kapal tidak bisa diatur oleh manusia, sehingga upaya pencegahan cacat porositas dilakukan dengan meningkatkan besar arus pengelasan. Penelitian ini membuktikan bahwa arus pengelasan yang besar dapat mencegah cacat porositas yang terbentuk.

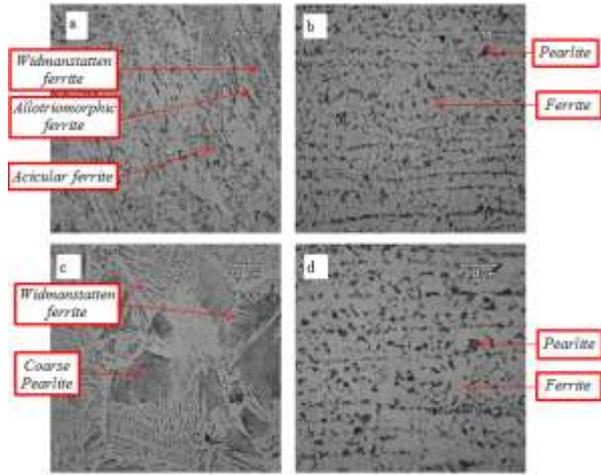
Hasil Pengamatan Metalografi

Struktur mikro dari logam induk merupakan kombinasi antara ferrite dengan pearlite yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Struktur Mikro Logam Induk

Besarnya arus pengelasan akan mempengaruhi besarnya pemanasan dan laju pendinginan yang terjadi pada saat proses pengelasan. Pengamatan metalografi dilakukan di beberapa daerah, yaitu daerah lasan bagian atas, daerah lasan bagian tengah, daerah Coarse Grain HAZ (CGHAZ) dan daerah Fine Grain HAZ (FGHAZ). Adapun hasil dari pengamatan metalografi pada keempat daerah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Mikro Pengelasan;

(a) Daerah Las Atas 200X, (b) Daerah Las Tengah 500X, (c) Daerah Coarse Grain HAZ (CGHAZ) 500X, (d) Daerah Fine Grain HAZ (FGHAZ) 500X

Secara keseluruhan, pengelasan dengan menggunakan elektroda E7016 maupun elektroda E7018 memiliki struktur yang sama. Struktur yang terbentuk di daerah lasan bagian atas berupa allotriomorphic ferrite, widmanstatten ferrite, dan acicular ferrite^[5], sedangkan daerah lasan bagian tengah terbentuk struktur berupa ferrite + pearlite yang lebih halus dibandingkan dengan logam induknya. Daerah HAZ terdiri dari dua daerah, yaitu daerah Coarse Grain HAZ (CGHAZ) dan daerah Fine Grain HAZ (FGHAZ). Daerah FGHAZ memiliki struktur yang sama dengan struktur daerah lasan bagian tengah, yaitu berupa ferrite + pearlite, sedangkan daerah CGHAZ terbentuk struktur berupa widmanstatten ferrite dan coarse pearlite^[6].

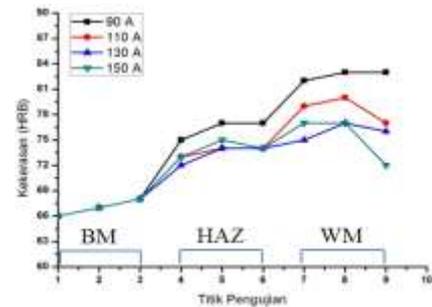
Meningkatnya butiran pearlite di daerah lasan bagian tengah dan daerah FGHAZ disebabkan oleh cepatnya pendinginan yang terjadi pada proses pengelasan. Pendinginan yang cepat dapat terjadi karena panas yang diterima di daerah lasan akan diserap dengan cepat ke arah logam induk^[7]. Struktur di daerah CGHAZ dapat terbentuk karena tingginya temperatur pada saat siklus termal pengelasan berlangsung. Tingginya temperatur yang diterima memungkinkan untuk terjadinya proses austenitisasi. Selanjutnya, pendinginan cepat yang terjadi setelah siklus termal pengelasan menghasilkan struktur-struktur yang telah disebutkan sebelumnya^[6].

Perhitungan fraksi volume pearlite dilakukan pada hasil pengamatan di daerah lasan bagian tengah dan di daerah FGHAZ dengan menggunakan aplikasi ImageJ. Hasil dari perhitungan fraksi volume pearlite di daerah lasan bagian tengah pada pengelasan menggunakan elektroda E7016 yaitu 20,63%, 19,27%, 14,54%, 17,46%, sedangkan di daerah FGHAZ yaitu 18,98%, 18,38%, 16,03%, 17,35% secara berurutan dari besar arus 90 A s/d 150 A. Hasil dari perhitungan fraksi volume pearlite di daerah lasan bagian tengah pada pengelasan menggunakan elektroda E7018 yaitu 20,24%, 19,01%, 20,36%, 15,12%, sedangkan di daerah FGHAZ yaitu 18,40%, 17,67%, 15,48%, 17,37% secara berurutan dari besar arus 80 A s/d 140 A.

Hasil Pengujian Kekerasan

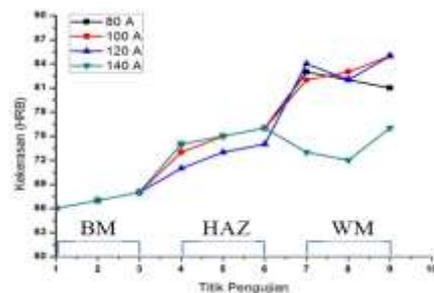
Pengujian kekerasan dilakukan di daerah logam induk, daerah HAZ dan daerah lasan. Pengujian dilakukan sebanyak 3 titik pada masing-masing daerah yang diuji. Nilai rata-rata kekerasan logam induk (BM) sebesar 67 HRB. Nilai distribusi kekerasan dari hasil pengelasan menggunakan elektroda E7016 dapat dilihat pada Gambar 3.

Besarnya arus yang digunakan akan menyebabkan butiran logam yang terbentuk semakin kasar. Oleh karena itu, nilai kekerasan di daerah lasan dan daerah HAZ semakin menurun seiring dengan besarnya arus yang digunakan^[8]. Nilai kekerasan di daerah las (WM) pada pengelasan menggunakan elektroda E7016 semakin menurun seiring dengan meningkatnya arus yang digunakan. Nilai rata-rata yang didapatkan sebesar 82,7 HRB, 78,7 HRB, 76 HRB, 75,3 HRB, sedangkan nilai kekerasan rata-rata yang didapatkan di daerah HAZ sebesar 76,3 HRB, 73,7 HRB, 73,3 HRB, 74 HRB secara berurutan dari besar arus 90 A s/d 150 A.



Gambar 3. Nilai Distribusi Kekerasan Hasil Pengelasan Dengan Elektroda E7016

Nilai distribusi kekerasan dari hasil pengelasan menggunakan elektroda E7018 dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai kekerasan yang didapatkan di daerah lasan (WM) cenderung meningkat seiring dengan besarnya arus pengelasan yang digunakan dan terjadi penurunan nilai kekerasan pada pengelasan dengan arus sebesar 140 A. Nilai rata-rata yang didapatkan sebesar 82 HRB, 83,3 HRB, 83,7 HRB, 73,7 HRB, sedangkan nilai kekerasan HAZ cenderung menurun dan terjadi peningkatan nilai kekerasan pada pengelasan dengan arus sebesar 140 A. Nilai rata-rata yang didapatkan di daerah HAZ sebesar 75 HRB, 74,7 HRB, 72,7 HRB, 75 HRB secara berurutan dari besar arus 80 A s/d 140 A.

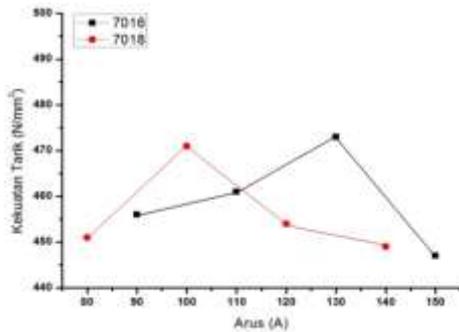


Gambar 4. Nilai Distribusi Kekerasan Hasil Pengelasan Dengan Elektroda E7018

Fraksi volume pearlite yang terbentuk dapat mempengaruhi besar atau kecilnya nilai kekerasan suatu logam. Semakin besar fraksi volume pearlite yang terbentuk, nilai kekerasan akan meningkat^[9]. Hal tersebut dapat dibuktikan oleh hasil perhitungan fraksi volume pearlite yang telah dibahas sebelumnya. Secara keseluruhan, nilai fraksi volume pearlite dapat membuktikan bahwa fraksi volume pearlite dapat mempengaruhi besarnya nilai kekerasan di daerah lasan maupun di daerah HAZ.

Hasil Pengujian Tarik

Hasil dari pengujian tarik pada kedua elektroda yang digunakan dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 5. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik pengelasan dengan menggunakan elektroda E7018 cenderung menurun, akan tetapi terjadi kenaikan nilai kekuatan tarik pada saat pengelasan dilakukan dengan arus 100 A. Nilai kekuatan tarik yang didapatkan yaitu 451, 471, 454 dan 449 N/mm² berurutan dari besar arus 80 s/d 140 A.

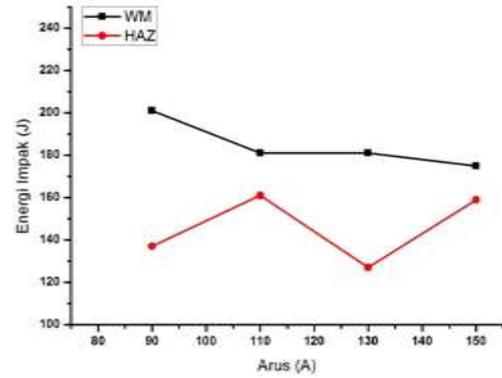


Gambar 5. Grafik Pengaruh Besar Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik

Berbeda dengan kasus sebelumnya, pengelasan dengan menggunakan elektroda E7016 memiliki nilai kekuatan tarik yang cenderung meningkat, akan tetapi terjadi penurunan pada saat pengelasan dilakukan dengan arus 150 A. Nilai kekuatan tarik yang didapatkan yaitu 456, 461, 473 dan 447 N/mm² berurutan dari besar arus 90 s/d 150 A. Hal ini terjadi karena pengelasan yang dilakukan tidak meninggalkan efek tegangan sisa, kecuali pada pengelasan dengan arus 150 A. Arus pengelasan yang tinggi mengakibatkan ukuran butir semakin besar, jarak antar butir semakin dekat, ikatannya menguat sehingga kekuatannya akan meningkat^[10].

Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan di daerah lasan, daerah HAZ dan daerah logam induk sebagai pembanding. Energi impak awal dari logam induk yaitu 124 J. Hasil dari pengujian impak pengelasan dengan elektroda E7016 dapat dilihat pada Gambar 6.

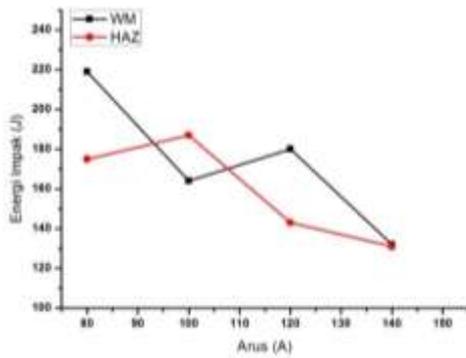


Gambar 6. Hasil Pengujian Impak Pengelasan Dengan Elektroda E7016

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa energi impak daerah lasan semakin menurun seiring dengan meningkatnya arus yang digunakan. Nilai energi impak daerah lasan yang didapatkan yaitu sebesar 201 J, 181 J, 181 J dan 175 J, sedangkan energi impak di daerah HAZ memiliki nilai yang fluktuatif dengan nilai energi impak yang didapatkan sebesar 137 J, 161 J, 127 J dan 159 J berurutan dari besar arus 90 A s/d 150 A.

Hasil dari pengujian impak pengelasan dengan elektroda E7018 dapat dilihat pada Gambar 7. Grafik yang terlihat pada Gambar 7 menunjukkan bahwa daerah lasan memiliki nilai energi impak yang fluktuatif. Nilai energi impak yang didapatkan di daerah lasan yaitu 219 J, 164 J, 180 J dan 132 J, sedangkan nilai energi impak di daerah HAZ cenderung menurun seiring dengan besarnya arus listrik pengelasan dengan nilai energi impak yang didapatkan sebesar 175 J, 187 J, 143 J dan 131 J berturut-turut dari arus 80 A s/d 140 A.

Berdasarkan literatur yang ada, besarnya kuat arus akan mempengaruhi masukan panas yang diterima oleh logam induk. Besarnya masukan panas akan mengakibatkan reskristalisasi butir logam sehingga ukuran butir logam akan semakin besar. Ukuran butir yang besar akan meningkatkan kekuatan lasan, tetapi hal tersebut dapat mengurangi nilai kekerasan lasan dan daerah HAZ^[11]. Hasil pengujian impak yang telah dilakukan tidak sesuai dengan literatur yang telah disebutkan sebelumnya. Hal ini dapat dibuktikan dengan energi impak yang cenderung menurun pada pengelasan dengan menggunakan elektroda E7016 maupun pengelasan dengan elektroda E7018. Gharibshahian dkk (2010) di dalam jurnalnya mengatakan bahwa pertumbuhan butir yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya nilai kekuatan dan meningkatkan inisiasi dan pertumbuhan retak pada logam. Hal tersebut dapat mempengaruhi ketangguhan retak yang mungkin timbul karena siklus pemanasan dan pendinginan^[12].



Gambar 7. Hasil Pengujian Impak Pengelasan Dengan Elektroda E7018

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengelasan menggunakan elektroda E7016 didapatkan hasil yang bebas dari cacat porositas pada saat pengelasan dilakukan dengan arus listrik sebesar 110 A dan 150 A, sedangkan pengelasan menggunakan elektroda E7018 dengan arus listrik sebesar 120 A dan 140 A.
2. Struktur mikro yang terbentuk di daerah lasan bagian tengah dan daerah FGHAZ yaitu ferrite + pearlite, struktur mikro yang terbentuk di daerah lasan bagian atas yaitu allotriomorphic ferrite, widmanstatten ferrite, dan acicular ferrite, sedangkan struktur mikro yang terbentuk di daerah CGHAZ yaitu widmanstatten ferrite dan coarse pearlite.
3. Besarnya arus listrik pengelasan mempengaruhi kekerasan, kekuatan tarik dan energi impact hasil pengelasan, akan tetapi memiliki perubahan dengan kecenderungan yang berbeda-beda tergantung dari jenis elektroda yang digunakan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asibeluo, I.S. & Emifoniye, E., 2015. Effect of Arc Welding Current on the Mechanical Properties of A36 Carbon Steel Weld Joints. SSRG International Journal of Mechanical Engineering, 2(9), pp.79-87.
- [2] Prastita, I.W.P. & Yunus, 2014. Pengaruh Variasi Arus dan Jenis Elektroda Hasil Proses Pengelasan SMAW Terhadap Cacat Las Menggunakan Pengujian Ultrasonik Phased Array. Jurnal Teknik Mesin, 2(3), pp.29-37.
- [3] Mondal, A. dkk., 2016. Influence of Heat Input on Weld Bead Geometry Using Duplex Stainless Steel Wire Electrode on Low Alloy Steel Specimens. Cogent Engineering, 66(1), pp.1-14.
- [4] Shinagawa, K. & Ku, S., 2015. The ABC's of Arc Welding and Inspection, Tokyo: KOBE STEEL, LTD.
- [5] Bhadeshia, H.K.D.H. & Honeycombe, S.R., 2006. Steels Microstructure and Properties 3rd ed., Oxford: Elsevier Ltd.
- [6] Silva, C.C. dkk., 2016. Residual Stress, Microstructure and Hardness of Thin-Walled Low-Carbon Steel Pipes Welded Manually., 19(6), pp.1215-1225.
- [7] Balaka, R., Kadir, A. & Tolantomo, D.S., 2016. Analisis Pengaruh Arus Pengelasan pada Sudut Elektroda 70 Terhadap Sifat

- Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Menggunakan Jig Welding. *Enthalpy* 2.2, 2(2), pp.50-55.
- [8] Samir, M., 2015. Investigation on Effect of Welding Current on Welding Speed and Hardness of HAZ and Weld Metal of Mild Steel. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(3), pp.44-48.
 - [9] Gahr, K.H.Z., 1987. *Microstructure and Wear of Materials* 10th ed., Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
 - [10] Raharjo, H.S. & JP, R., 2012. Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW)., pp.93-97.
 - [11] Bodude, M.A. & Momohjimoh, I., 2015. Studies on Effects of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Welded Low-Carbon Steel. *Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 3(5), pp.142-153.
 - [12] Gharibshahiyan, E. dkk., 2011. The Effect of Microstructure on Hardness and Toughness of Low Carbon Welded Steel Using Inert Gas Welding. *Materials & Design*, 32(4), pp.2042-2048.