

Kajian Eksperimental Proses Las Smaw Pada Logam Baja Jis S45C Dengan Variasi Elektroda Terhadap Sifat Mekanis

Arif Munawir ¹, Nazaruddin ², Teuku Zulfadli ³

Department of Mechanical Engineering, University Iskandarmuda

email: arifmunawir07@gmail.com, nazar@unida-aceh.ac.id, zoel_mo4@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi arus las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) terhadap sifat mekanis pada sambungan las baja JIS S45C dengan variasi elektroda. Perkembangan proses pengelasan dengan penyambungan logam sangat berguna pada industri terutama pada industri mobil, perkapalan. Logam baja karbon sedang memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan baja karbon yang lain, diantaranya memiliki kekuatan yang cukup besar untuk menahan beban tarik, mudah dibentuk, dapat diberi perlakuan panas, serta harganya yang relatif murah. Salah satu jenis material baja karbon sedang dengan kode JIS S45C atau sering disebut dengan baja struktural banyak digunakan di dunia perindustrian dikarenakan baja karbon JIS S45C mempunyai sifat las yang baik. Untuk hasil uji tarik pengelasan dengan menggunakan elektroda AWS E 6016 memiliki nilai uji tarik yaitu 34,42 kgf/mm². nilai hasil uji kekerasan elektroda AWS E 6016 memiliki nilai HAZ baja paling tinggi yaitu 81,55 HRC. sedangkan nilai rata-rata tertinggi uji kekerasan ialah pengelasan menggunakan elektroda AWS E 6016 dengan nilai kekerasan mencapai 81,55 HRC. Dan nilai uji impak paling tinggi dihasilkan oleh pengelasan dengan elektroda AWS E 6016 yaitu 9,5829 untuk satuan energy (joule) dan 0,0957 untuk HI.

Kata Kunci : Pengelasan, SMAW, JIS S45C , Variasi Elektroda, Sifat mekanik

1. PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi pada logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi pengelasannya agar dapat memperoleh kualitas baik lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran, dan lain-lain sebagainya. Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Pengembangan teknologi proses pengelasan dengan penyambungan logam ini dapat diaplikasikan pada industri perkapalan. Untuk bahan pembuatan penahan sirip kemudi kapal biasanya menggunakan bahan yang sama untuk pembuatan lambung kapal yaitu baja JIS S45C. [1]

Logam baja karbon sedang memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan baja

karbon yang lain, diantaranya memiliki kekuatan yang cukup besar untuk menahan beban tarik, mudah dibentuk, dapat diberi perlakuan panas, serta harganya yang relatif murah. Salah satu jenis material baja karbon sedang dengan kode JIS S45C atau sering disebut dengan baja struktural banyak digunakan di dunia perindustrian dikarenakan baja karbon JIS S45C mempunyai sifat las yang baik. Penurunan dari kualitas sifat mekanis yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada suatu material atau komponen saat terkena beban siklik disebut dengan fenomena kelelahan (*fatigue*). Secara umum, *fatigue* menjadi permasalahan dalam komponen struktur atau bagian-bagian komponen yang bergerak, layaknya pesawat terbang di udara, dan otomotif yang sedang berada di jalan. Sekitar 90% dari komponen pemrosesan mengalami kegagalan akibat *fatigue*. Dengan adanya variasi pembebanan, maka kegagalan pada baja JIS S45C akan sulit untuk diprediksi. Maka dari itu, investigasi mendalam terkait sifat mekanis baja karbon JIS S45C perlu dilakukan untuk melihat tahanan dan mikro pada logam tersebut.[2]

2. STUDI LITERATUR

a. Pengelasan (Welding)

Pengelasan (Welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Pengelasan atau Welding didefinisikan oleh DIN (Deutsche Industrie Normen) merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antar logam. Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh.[1]

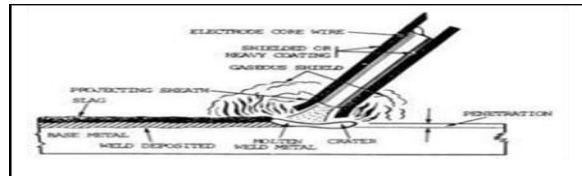
b. Baja S45C

Baja S45C merupakan produk standarisasi dari Jepang yang biasa disingkat JIS (Japan Industrial Standard). Baja S45C memiliki kandungan unsur utama berupa karbon (C) sebesar 0,50%, sulfur (S) sebesar 0,035%, mangan (Mn) sebesar 0,80%. Baja ini mempunyai sifat mampu untuk dilakukan proses perlakuan panas untuk dapat memperoleh sifat mekanis yang lebih baik. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai poros roda gigi, mata gergaji, mata silet dan bantalan.[3]

c. SMAW (Las Shielded Metal Arc Welding)

Proses pengelasan (welding) merupakan salah satu proses penyambungan material (material joining). Adapun untuk definisi dari proses pengelasan yang mengacu pada AWS (American Welding Society), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode proses pengelasan tidak hanya berupa proses

penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing. Proses pengelasan dibedakan menjadi beberapa jenis, dan SMAW merupakan salah satu proses pengelasan yang umum digunakan, utamanya pada pengelasan singkat dalam produksi, pemeliharaan dan perbaikan, dan untuk bidang konstruksi. SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik antara penutup metal (elektroda). [4]



Gambar 1. Proses Pencairan Elektroda

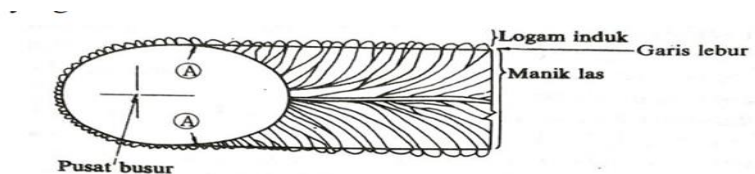
Sumber: <https://eduengineering.wordpress.com/2015/01/10/proses-welding-smaw-shielded-metal-arc-welding/>

d. Pembekuan Dan Struktur Logam Las

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segresi, lubang halus dan retak. Banyaknya dan macam cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan. Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaannya adalah :

1. Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi.
2. Sumber panas dalam las bergerak terus.
3. Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus.

Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.



Gambar 2. Arah Pembekuan Dari Logam Las

e. Ketangguhan Logam Las

ketangguhan logam las juga tergantung dari strukturnya seperti halnya pada logam induk dan pada batas las. Hanya saja logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain. Komposisi logam las sudah barang tentu

tergantung dari proses pengelasan yang digunakan, tetapi dapat diperkirakan bahwa komposisinya akan terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan. Karena itu dalam menganalisa ketangguhan logam las harus diperhatikan pengaruh unsur lain yang terserap selama proses pengelasan, terutama oksigen, dan pengaruh dari strukturnya sendiri.[1]

f. Elektroda AWS E 6010

Elektroda mengandung sekitar 35% bahan organik yang di dalam busur berubah menjadi gas pelindung dan berkontribusi pada busur tembus dalam yang terkonsentrasi dengan terak yang membeku cepat. Fluks diekstrusi ke kawat inti baja ringan hanya menggunakan natrium silikat yang menjamin kekuatan lapisan. Elektroda ini cocok untuk digunakan hanya pada DC + dan sangat ideal untuk menjalankan akar penetrasi penuh menggunakan celah akar yang dikendalikan dan wajah akar dan teknik manik stringer. Penggilangan sedikit dari stringer bead dengan sikat kawat mencegah inklusi lateral yang diikuti oleh hot pass yang khususnya pada baja dengan tekanan tinggi dan atau karbon tinggi meningkatkan difusi hidrogen dan dengan demikian mengurangi kemungkinan pemecahan hidrogen.

g. Elektroda AWS E 6013

Penekanan desain fluks dirancang untuk menghasilkan slag pembekuan yang cepat namun fluida sehingga memudahkan semua pengelasan posisi termasuk vertikal ke bawah. Rutil seimbang, fluks selulosa yang mengandung elemen paduan dan deoksidasi diekstrusi ke kawat baja ringan dengan campuran silikat yang memastikan kekuatan dan stabilitas lapisan. Elektroda dilas dengan busur stabil halus pada AC dan DC. Hujan rintik-rintik minimal. Jahitan las halus, cerah, dan bergelombang rata. Untuk pengelasan bawah dan vertikal ke bawah gunakan ampere menuju ujung atas dan untuk pengangkatan vertikal dan overhead ke arah bawah kisaran. Pelepasan terak sangat baik dan pemulihan logam hingga 90% sehubungan dengan berat kawat inti. Baja karbon-mangan ringan dan sedang hingga setebal 15 mm dengan UTS maks 500 N / mm². Nilai umum.

h. Elektroda AWS E 6016

Kategori kawat las standart AWS SFA 5.1: E 6016 kawat las multi fungsi untuk industri, repair & maintenance. Alur lasnya halus dan bersih, penetrasinya dalam tanpa undercut. Baik untuk pengelasan pada celah. Kawat las memiliki kestabilan nyala api yang sangat baik. Terfokus dan stabil sehingga cocok untuk pengelasan root pass dan pengelasan segala posisi. Alur lasnya memiliki peforma X-ray yang sangat baik.

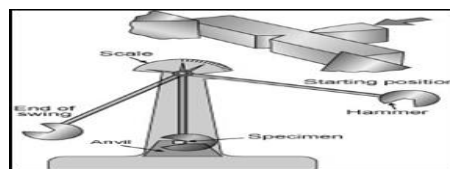
i. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan penambahan beban secara perlahan-lahan, kemudian akan terjadi pertambahan panjang yang sebanding dengan gaya yang bekerja. Kesebandingan ini terus berlanjut sampai bahan sampai titik propotionality limit. Setelah itu pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat penambahan beban tidak lagi berbanding lurus, pertambahan beban yang sama akan menghasilkan penambahan panjang yang lebih besar dan suatu saat terjadi penambahan panjang

tanpa ada penambahan beban, batang uji bertambah panjang dengan sendirinya. Hal ini dikatakan batang uji mengalami yield (luluh). Keadaan ini hanya berlangsung sesaat dan setelah itu akan naik lagi.[4]

j. Uji Impak

Uji impact adalah jenis pengujian yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan material tersebut. Ada 2 metode uji impact yang biasa dilakukan dalam dunia industry, yaitu uji impact charpy dan uji impact izod. Cara kerja alat uji impact adalah dengan memukul benda yang akan diuji kekuatannya dengan pendulum yang berayun. Pendulum tersebut ditarik hingga ketinggian tertentu lalu dilepas, sehingga pendulum tersebut memukul benda uji hingga patah. Berikut adalah bagian dari alat uji impact charpy



Gambar 3. Alat Uji Impact Charpy

k. Uji Kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan Rockwell merupakan salah satu pengujian kekerasan bahan yang banyak digunakan, hal ini dikarenakan pengujian kekerasan Rockwell yang : sederhana, cepat, tidak memerlukan mikroskop untuk mengukur jejak, dan relatif tidak merusak. Pengujian kekerasan Rockwell dilaksanakan dengan cara menekan permukaan spesimen (benda uji) dengan suatu indenter. Penekanan indenter ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban minor), kemudian ditambah dengan beban utama (beban mayor), lalu beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan.[1]



Gambar 4. Alat Uji Kekerasan Rockwell

3. METODOLOGI

Pengujian dilakukan di Lab. Material dan Mekanika Retakan Teknik Mesin Unsyiah dan BLK Banda Aceh dari tanggal 21 – 30 April 2021. Pengujian ini dilakukan dengan membuat specimen, pengujian Tarik, pengujian impak dan pengujian mikro.

1. Prosedur Penelitian

Di awali dengan langkah langkah pemrosesan spesimen.

a) Langkah – langkah pemrosesan spesimen :

- a. Siapkan baja yang digunakan untuk penelitian yaitu baja JIS S45C

- b. Lakukan pembentukan kapuh pengalasan.
 - c. Lakukan proses pengelasan pada baja sesuai welding prosedur.
 - d. Lakukan pembersihan terak pada hasil lasan.
 - e. Lakukan pemotongan pada baja yang telah di las dengan gergaji.
- b) Langkah – langkah pembuatan specimen :
- a. Persiapkan baja yang telah dipotong.
 - b. Marker / tandai specimen sesuai ukuran standar ASTM E8
 - c. Mulai pembentukan specimen menggunakan mesin bubut dan frais.
 - d. Pemberian resin pada specimen untuk pengamatan struktur mikro

2. Pelaksanaan Pengujian

a) Pengujian kekerasan

Langkah-langkah pengujian kekerasan sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan bahan yang akan diuji.
- b. Peletakan bahan yang akan diuji pada alat uji.
- c. Kalibrasi alat uji kekerasan (Rockweel Hardness Tester).
- d. Lakukan pengukuran kekerasan.
- e. Baca dan catat hasil pengujian bahan.
- f. Pelepasan specimen bahan

b) Pengujian impak

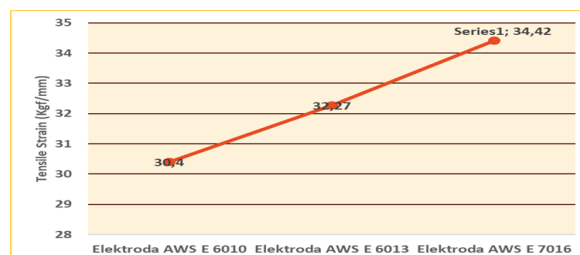
- a. Mempersiapkan specimen bahan uji.
- b. Pasang specimen bahan uji ke anvil.
- c. Atur alfa pada sudut yang sudah ditentukan.
- d. Lepas kunci pada hammer dari strating potition
- e. Catat hasil beta pada scale pada alat uji

c) Pengujian tarik

- a. Mempersiapkan bahan uji.
- b. Kalibrasi alat uji tarik.
- c. Pasang specimen bahan uji pada chuck alat uji tarik.
- d. Atur kecepatan grafik dan kecepatan penarikan.
- e. Jalankan mesin Tarik
- f. Setelah terjadi patahan pada specimen catat hasil pengujian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

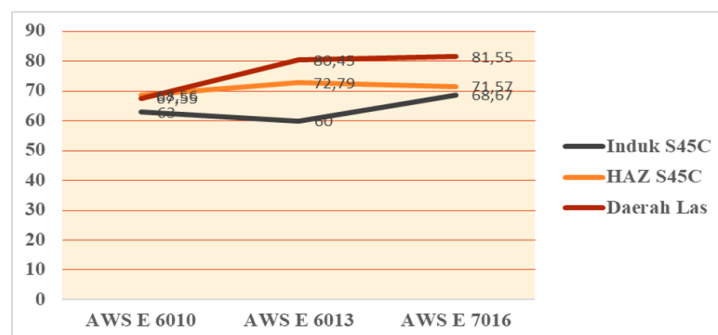
1. Uji Tarik



Grafik 1. Hubungan Variasi Elektroda Terhadap Nilai T.S (Tensile Strength)

Hubungan variasi diatas menunjukkan bahwa pengujian tarik dimana elektroda E 6010 memiliki kekuatan tarik sebesar 30,4 kgf/mm². Pada pengelasan menggunakan elektroda E 6013 kekuatan tarik memiliki nilai sebesar 32,27 kgf/mm². Dibandingkan elektroda E 6010 dan elektroda E 6013 kecenderungan memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah. Untuk elektroda E 7016 memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dari pada elektroda E 6010 dan elektroda E 6013. Kekuatan tarik pada elektroda E 7016 memiliki kekuatan tarik dengan nilai tinggi yaitu 34,42 kgf/mm². Dari nilai kekuatan tarik grafik diatas pengelasan pada logam baja JIS S45C memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi pada elektroda AWS E 7016. Dimana dari hasil uji tarik dihasilkan perpatahan spesimen pada logam induk baja, dikarenakan pada baja S45C memiliki kandungan unsur utama berupa karbon (C) sebesar 0,50%, sulfur (S) sebesar 0,035%,mangan (Mn) sebesar 0,80%. Karena kandungan karbon (C) pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya, kandungan manganese (Mn) meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan ditemper dan tahan terhadap aus, sedangkan unsur silisium (S) meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan diperkas tahan aus, ketahanan terhadap panas.

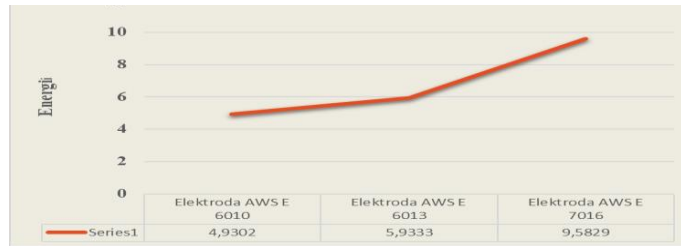
2. Pengujian Kekerasan



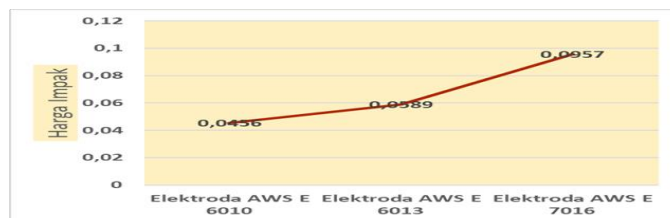
Grafik 2. Hubungan Variasi Elektroda Dengan Nilai Kekerasan (HRC)

Hubungan variasi elektroda pengelasan dan daerah titik terhadap nilai kekerasan (HRC). Didapat nilai rata-rata tertinggi pada logam induk S 45C pada daerah las 81,55 HRC pada elektroda AWS 6016, untuk HAZ S45C memiliki nilai rata – rata 72,79 HRC yang terdapat pada elektroda AWE 6013 sedangkan daerah titik induk S 45C sebesar 68,67HRC pada Elektroda AWS 7016. Ini disebabkan karena fraksi volume pearlite yang terbentuk dapat mempengaruhi besar atau kecilnya nilai kekerasan suatu logam. Semakin besar volume pearlite yang terbentuk, nilai kekerasan akan meningkat. Sedangkan jika volume ferit semakin besar, nilai kekerasan akan menurun. secara keseluruhan, nilai volume pearlite dapat membuktikan bahwa volume pearlite dapat mempengaruhi besarnya nilai kekerasan di daerah lasan maupun di daerah HAZ.

3. Pengujian Impak



Grafik 3. Hubungan Variasi Elektroda Dengan Energi(Joule)



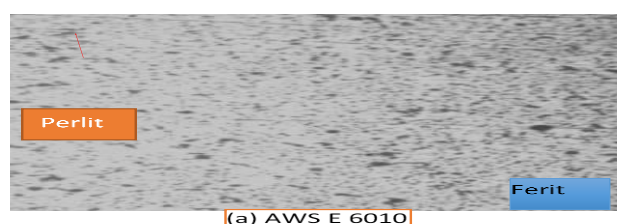
Grafik 4. Hubungan Variasi Elektroda Dengan HI

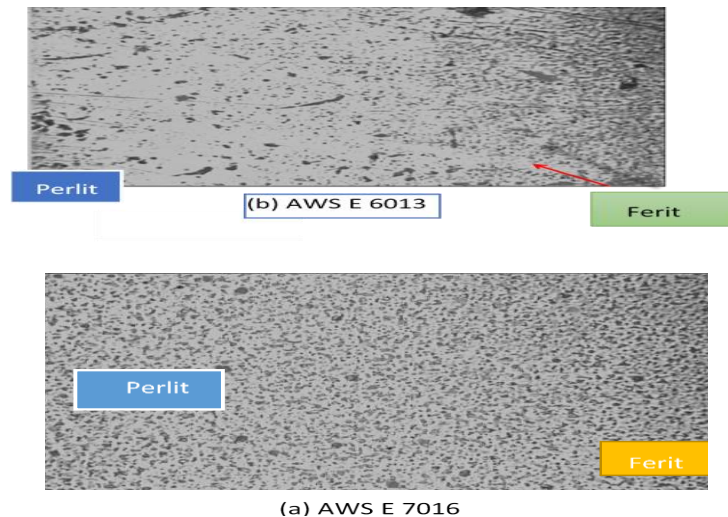
Hubungan variasi diatas menunjukkan bahwa pengujian impak dimana elektroda AWS E 6010 memiliki Energi yang diserap sebesar 4,9302 Joule. Pada pengelasan elektroda AWS E 6013 memiliki Energi yang diserap sebesar 5,9333 Joule. Dan pada elektroda AWS E 7016 memiliki Energi yang diserap terbesar diantara kedua varian yakni 9,5829 Joule. Dari nilai Energi grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pengelasan pada logam baja JIS S45C memiliki nilai Energi tertinggi pada elektroda AWS E 7016. Berdasarkan grafik 4.4 hubungan variasi diatas menunjukkan bahwa pengujian impak dimana elektroda AWS E 6010 memiliki Harga Impak (HI) sebesar 0,0456 Joule/mm². Pada pengelasan dengan elektroda AWS E 6013 memiliki Harga Impak (HI) sebesar 0,0589 Joule/mm². Dan pada elektroda AWS E 7016 memiliki Harga Impak (HI) terbesar diantara kedua varian yakni 0,0957 Joule/mm². Dari nilai Energi grafik diatas pengelasan pada logam baja JIS S45C dengan memiliki nilai HI tertinggi pada pengelasan elektroda AWS E 7016.

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 impak lasan, tetapi hal tersebut dapat mengurangi nilai kekerasan lasan dan daerah HAZ. [3]

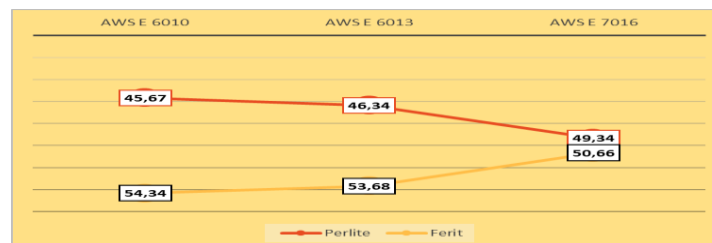
4. Pengamatan Struktur Mikro

Dari hasil pengujian sampel pengamatan dibuat dengan tiga variasi elektroda (AWS E 6010, AWS E 6013, AWS E 7016), serta pengamatan tiap variasi pada daerah lasan. Sampel uji yang telah diuji dicantumkan dengan gambar dibawah ini:





Gambar Hasil Pengamatan Struktur Mikro



Grafik Hubungan Variasi Elektroda Dengan Perlite dan Ferit

Setelah proses pengelasan yang dilanjutkan dengan pendinginan udara secara perlahan-lahan, pada Gambar 2.5 Diagram CCT dapat menunjukkan tahap-tahap tranformasi selama pendinginan. Siklus termal las bila baja telah mendingin sampai titik “a”, maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Tranformasi ini berjalan terus dan baru berakhir bila titik “b” dicapai dan kemudian diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang berakhir pada titik “c”. Dengan hal ini dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur ferit dan perlit. Dan pada analisa yang sama setelah pendinginan akan terbentuk struktur ferit, struktur antara dan martensit.

Setelah dilakukan proses pengelasan SMAW tampak adanya perubahan jumlah perlit dan ferit setelah pengamatan struktur mikro. Dijelaskan hasil struktur perlite pada daerah las (AWS E 6010 45,66%, AWS E 6013 46,33%, AWS E 7016 49,33%), struktur mikro ferit pada daerah las (AWS E 6010 54,33%, AWS E 6013 53,67%, AWS E 7016 50,66%). Jumlah presentase kandungan struktur perlit lebih sedikit dibandingkan dengan presentase ferit yang lebih banyak disebabkan oleh unsur karbon yang terperangkap oleh daerah lasan pada waktu didinginkan dengan udara.

Pada semua hasil foto struktur mikro dapat dilihat bertambahnya butiran perlit pada pengelasan baja JIS S45C. Hal ini disebabkan akibat suhu pengelasan pada logam dapat merubah butiran perlit dan ferit. Semakin sedikit jumlah presentase butiran perlit, semakin menurun pula kekuatan dari material tersebut. Karena sifat butiran perlit yang lebih kuat, keras dan sedikit getas. Sedangkan jumlah presentase struktur

ferit yang ditampilkan semakin banyak dengan sifatnya lunak dan ulet yang membuat kekuatan material lebih kuat dari pada yang lebih banyak butiran perlitnya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan yaitu pengaruh variasi lektroda terhadap pengelasan pada logam JIS S45C dapat disimpulkan sebagai berikut:

Dapat disimpulkan bahwa pengelasan dengan menggunakan elektroda AWS E 7016 memiliki nilai uji tarik paling tinggi yaitu 34,42 kgf/mm² dikarenakan memiliki kandungan C sebesar 0,50%

Untuk nilai hasil uji kekerasan elektroda AWS E 7016 memiliki nilai daerah Las baja paling tinggi yaitu 81,55 HRC, akan tetapi memiliki nilai pada HAZ lebih rendah dari AWS E 6013 dan lebih tinggi dari ASW E 6010, sedangkan nilai rata-rata tertinggi uji kekerasan ialah pengelasan menggunakan elektroda AWS E 7016 dengan nilai kekerasan mencapai 81,55 HRC.

Dari hasil pengujian impak dalam satuan energy (joule) dan HI telah didapat nilai paling tinggi dihasilkan oleh pengelasan dengan elektroda AWS E 7016 yaitu 9,5829 untuk satuan energy (joule) dan 0,0957 untuk HI.

Dapat disimpulkan bahwa setelah pengelasan SMAW terlihat adanya perubahan jumlah perlit dan ferit setelah pengamatan struktur mikro. Dengan hasil pengamatan pada daerah las yaitu las (AWS E 6010 45,67%, AWS E 6013 46,33%, AWS E 7016 49,34%), struktur mikro ferit pada daerah las (AWS E 6010 54,34%, AWS E 6013 53,68%, AWS E 7016 50,66%).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kurniawan, "Pengelasan SMAW Sambungan Logam Baja JIS G 3131 SPHC Dengan Baja AISI SS 201 Terhadap Sifat Pengelasan SMAW Sambungan Logam Baja JIS G 3131 SPHC Dengan Baja AISI SS 201 Terhadap Sifat Pengelasan," 2019.
- [2] S. . Taufik Hidayat, Priyagung Hartono, "Analisa Pengaruh Suhu Pada Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanis (Kekerasan) Baja S45c Pada Proses Hardening," vol. 5, no. 2, pp. 31–35, 2018.
- [3] N. Effendi, "Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja S45c Pada Pengelasan Smaw Dengan Variasi Media Quench," *J. Ilm. Pendidik. Tek. dan Kejuru.*, vol. 12, no. 1, p. 30, 2019, doi: 10.20961/jiptek.v12i1.28916.
- [4] T. Z. Wahyu Hidayat, Nazaruddin, "Kajian Eksperimental Arus Listrik Dan Ketangguhan Las Smaw Terhadap Kekuatan Tarik Dengan Elektroda E7018," *JITU (Jurnal Ilm. Tek. Unida)*, vol. 1, no. 2, pp. 73–84, 2020.