

Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekerasan Hasil Las Pelat Baja Karbon S45c Dengan Proses SMAW

Tulus Swasono¹, Emon Azriadi²

¹ Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar

¹Email : tulus.swasono@poltek-kampar.ac.id

Intisari— Pengelasan merupakan sebuah proses penyambungan dua atau lebih logam yang banyak diaplikasikan dalam dunia industri. Untuk mendapatkan hasil pengelasan yang bagus maka diperlukan pemilihan besar arus yang tepat. Pada penelitian ini variasi besaran arus yang digunakan adalah 60 A, 70 A dan 80 A pada pengelasan plat baja karbon S45C, dengan menggunakan metode pengelasan SMAW. Hasil pengelasan selanjutnya diuji nilai kekerasannya dengan menggunakan metode Rockwell skala HRB di daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Dari hasil penelitian ini didapatkan nilai kekerasan di daerah *weld metal* lebih tinggi dibandingkan nilai kekerasan di daerah HAZ dan *base metal*. Dan arus yang baik digunakan pada pengelasan plat baja karbon S45C adalah pengelasan arus 80 A.

Kata kunci— Pengelasan SMAW, Besaran Arus, Kekerasan, *Weld Metal*, HAZ, *Base Metal*.

Abstract— Welding is a process of joining two or more metals which is widely applied in the industrial world. To get good welding results, it is necessary to choose the right amount of current. In this study, variations in the amount of current used were 60 A, 70 A and 80 A for welding S45C carbon steel plates, using the SMAW welding method. The results of the welding were then tested for hardness using the Rockwell HRB scale method in the weld metal, HAZ, and base metal areas. From the results of this study, the hardness value in the weld metal area was higher than the hardness value in the HAZ and base metal areas. And a good current used in welding S45C carbon steel plates is a welding current of 80 A.

Keywords— SMAW Welding, Current Amount, Hardness, *Weld Metal*, HAZ, *Base Metal*.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan 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 bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya.

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang *continue*. Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Las busur listrik elektroda terbusuk atau *shielded metal arc welding* (SMAW) adalah suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas. Jenis sambungan dengan las listrik ini adalah merupakan sambungan tetap dengan menggunakan busur listrik untuk pemanasan. Pada saat ini las SMAW telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena konstruksi bangunan baja dan mesin yang dibuat dengan menggunakan teknik penyambungan ini lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana sehingga biaya secara keseluruhan menjadi lebih murah (Wiryo Sumarto, 2004).

Hal yang paling memungkinkan akibat dari proses pengelasan adalah terjadinya retak las yang diakibatkan karena terjadinya *difusi hydrogen* dan tegangan sisa. *Difusi hydrogen* diakibatkan pada waktu logam las mencair, logam tersebut menyerap *hydrogen* dengan jumlah besar yang dilepaskan dengan cara *difusi* pada suhu rendah karena pada suhu tersebut kelarutan *hydrogen* menurun. Sumber dari *hydrogen* yang diserap adalah air dan zat organik yang terkandung didalam *fluks* dan logam induk. Sedangkan tegangan sisa adalah timbulnya lonjakan tegangan yang lebih besar karena terjadinya perubahan sifat-sifat bahan pada sambungan terutama pada daerah

terpengaruh panas atau HAZ (*Heat Affected Zone*), karena daerah tersebut adalah daerah logam yang bersebelahan dengan daerah logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat (Wiryosumarto, H. & Okumura, T, 1994).

Sambungan las dan material yang digunakan dalam pengelasan juga mempengaruhi dari hasil pengelasan, dalam pelaksanaan praktek tugas akhir ini sambungan las dan material yang dipakai adalah sambungan las V tunggal dengan material plat baja karbon rendah ST 37 yang berdiameter 9 mm.

Pada pengelasan, besar arus sangat mempengaruhi energi yang dihasilkan. Dengan adanya aliran kuat arus pada suatu penghantar, energi yang berasal dari energi listrik dapat diubah menjadi energi panas. Panas yang terjadi selama proses pengelasan digunakan untuk melelehkan logam induk. Besar arus berhubungan dengan diameter elektroda, pabrik telah merekomendasikan besar arus yang digunakan untuk tiap-tiap elektroda yang berbeda. Untuk elektroda RB-26 AWS E6013 arus yang digunakan adalah 60-90 A (Howard B.C, 1998).

Pada penelitian ini arus yang digunakan bervariasi yaitu 60A, 70A, dan 80A, yang bertujuan untuk mengetahui arus yang tepat untuk pengelasan plat baja karbon S45C dan pengaruh kuat arus terhadap kekerasan daerah HAZ (*heat affected zone*). Pengujian dilakukan dengan uji kekerasan

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang *continue*. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, dan sebagainya. Disamping untuk pembuatan, proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi.

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah 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 dengan atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom.

Pada tahap-tahap permulaan dari pengembangan teknologi las, biasanya pengelasan hanya digunakan pada sambungan-sambungan dari reparasi yang kurang penting. Tapi setelah melalui pengalaman dan praktek yang banyak dan waktu yang lama, maka sekarang penggunaan proses-proses pengelasan dan penggunaan konstruksi-konstruksi las merupakan hal yang umum di semua negara di dunia.

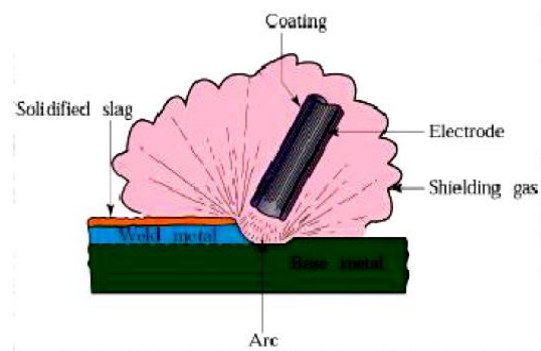
Terwujudnya standar-standar teknik pengelasan akan membantu memperluas ruang lingkup pemakaian sambungan las dan memperbesar ukuran bangunan

konstruksi yang dapat dilas. Dengan kemajuan yang dicapai sampai saat ini, teknologi las memegang peranan penting dalam masyarakat industri modern.

A. Proses Pengelasan Busur Logam Terbungkus (SMAW)

Salah satu jenis proses las busur listrik elektroda terdamp, yang menggunakan busur listrik yang terjadi antara elektroda dan benda kerja setempat, kemudian membentuk paduan serta membeku menjadi lasan. Elektroda terbungkus yang berfungsi sebagai *fluks* akan cair pada waktu proses pengelasan dan gas yang terjadi akan melindungi proses pengelasan terhadap pengaruh udara luar, cairan yang terbungkus akan terapung membeku pada permukaan las.

Proses pengelasan SMAW dapat dilihat pada gambar 1. Panas yang timbul pada busur yang diperoleh dengan menyentuh elektroda sesaat pada benda kerja, mencairkan ujung elektroda dan benda kerja pada bagian yang akan mengalami proses pengelasan. Logam dari elektroda yang mencair dipindahkan melewati busur ke permukaan benda kerja dan membentuk logam lasan, yang kemudian tertutup oleh *slag* yang berasal dari penguraian lapisan elektroda.



Gambar 1. Proses Pengelasan Busur Las Terbungkus (SMAW)

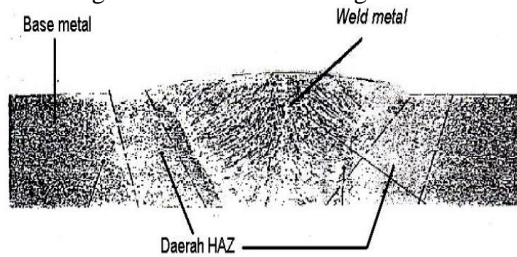
B. Metalurgi Las

Pengelasan adalah proses penyambungan dengan menggunakan energi panas, karena proses ini maka logam disekitar lasan mengalami siklus termal yang cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, *deformasi* dan tegangan-tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lainnya yang umumnya mempunyai pengaruh terhadap hasil lasan.

Logam akan mengalami pengaruh pemanasan akibat pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan. Daerah logam yang mengalami perubahan struktur mikro akibat mengalami pemanasan karena pengelasan disebut *Heat Affected Zone (HAZ)* atau daerah pengaruh panas.

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian, yaitu:

- 1) Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku.
- 2) Logam induk yang terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.
- 3) Daerah terpengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ), adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las selama pengelasan mengalami pemanasan dan pendinginan yang cepat. Struktur logam pada daerah HAZ berubah secara berangsur-angsur dari struktur logam induk ke struktur logam las.



Gambar 2. Daerah Lasan

C. Arus Pengelasan

Didalam pengelasan besar arus sangat mempengaruhi energi yang dihasilkan. Arus dalam pengelasan memegang peranan penting, misalnya bila arus terlalu rendah, maka perpindahan butiran cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta perbesaran yang kurang dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menyebabkan kekuatan las menurun. Besar arus dalam proses pengelasan sangat mempengaruhi hasil pengelasan.

Tabel 1 Perbandingan Diameter Elektroda dengan Arus Pengelasan

Diameter Elektroda (mm)	Arus (Ampere)
2,5	60 – 90
2,6	60 – 90
3,2	80 – 130
4,0	150 – 190
5,0	180 – 250

(Sumber : Howard B.C, 1998)

D. Uji Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi

plastik atau deformasi permanen. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam.

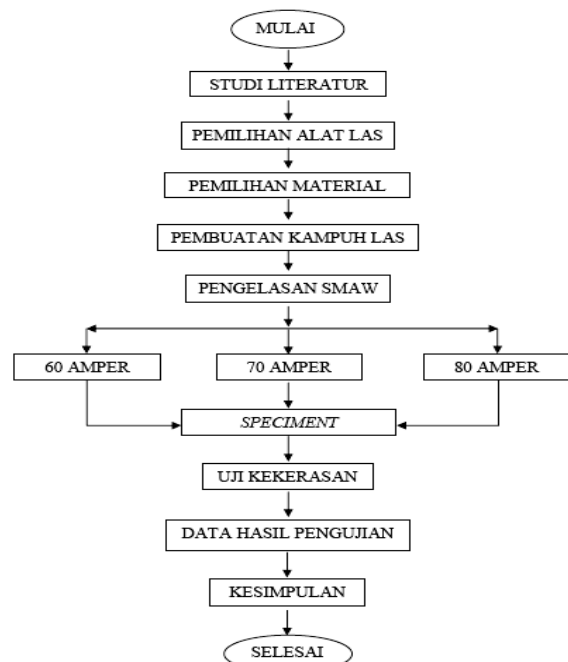
Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu: kekerasan goresan (*scratch hardness*), kekerasan lekukan (*indentation hardness*), kekerasan pantulan (*rebound*). Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: Uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell*. Pada penelitian ini pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian *Rockwell*.

Pengujian *Rockwell* merupakan cara yang paling umum digunakan untuk mengukur kekerasan. Dalam uji kekerasan *Rockwell* ada beberapa skala yang dapat digunakan dan kombinasi jenis indenter dan beban yang diterapkan. Indenter yang digunakan ada dua macam yaitu :

- a. Indenter berupa bola baja dengan diameter $1/16, 1/8, 1/4, 1/2$ inch dan beban uji 100 kgf.
- b. Indenter berupa kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Workshop Politeknik Kampar. Prosedur pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut :



Gambar 3. Diagram Alir Metode Penelitian

A. Pemilihan Alat Las

Peralatan utama yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah mesin las EWM / Hightec Welding pico 230 cel dengan arus DC polaritas DCSP. Pengelasan menghasilkan penembusan yang dangkal karena panas yang terjadi pada benda kerja tidak begitu tinggi sehingga sesuai untuk proses pengelasan logam-logam tipis.



Gambar 4. Mesin Las EWM

B. Pemilihan Material

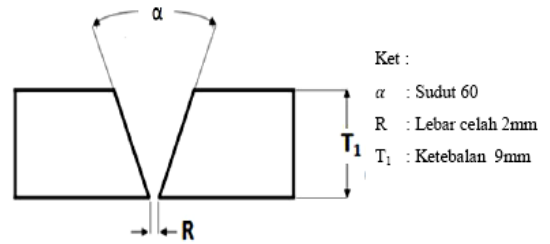
Material yang digunakan dalam praktek tugas akhir ini adalah plat baja karbon S45C dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 38 mm, dan tebal 9 mm. Plat baja karbon S45C merupakan material yang sangat kuat yang mempunyai kekuatan tarik 58 kg/mm².



Gambar 5. Material S45C

C. Pembuatan Kampuh (Sambungan) Las

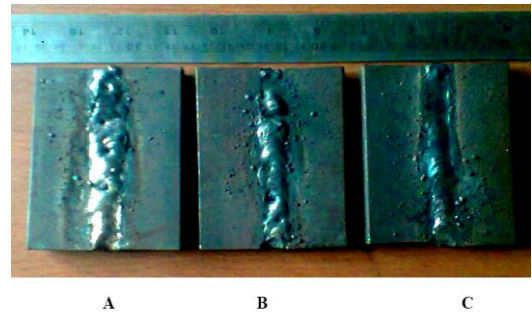
Sambungan las yang digunakan pada penelitian ini adalah sambungan las V tunggal, proses pembuatannya menggunakan mesin *frais*, material yang telah dipersiapkan dipotong dengan mesin gergaji, dengan ukuran 100 mm sebanyak delapan belas buah, setelah material dipotong kemudian material dicekam dan dilakukan pengefraisan dengan sudut 30°.



Gambar 6. Dimensi Kampuh Las V Tunggal

D. Proses Pengelasan

Proses pengelasan yang digunakan pada penelitian ini adalah proses pengelasan SMAW, dengan menggunakan elektroda RB-26 AWS E 6013, dimana arus yang digunakan bervariasi yaitu 60 Ampere, 70 Ampere, dan 80 Ampere. Dengan posisi pengelasan mendatar atau dibawah tangan.

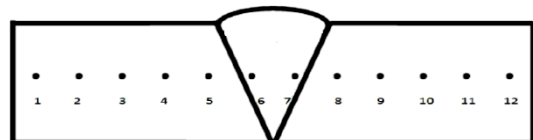


Gambar 7. (a) pengelasan arus 60 A, (b) pengelasan arus 70 A, (c) pengelasan arus 80 A

E. Spesimen

Setelah selesai melakukan proses pengelasan selanjutnya pembuatan spesimen yang nantinya akan dilaksanakan uji kekerasan. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

- Meratakan alur hasil pengelasan dengan menggunakan mesin gerinda.
- Material dipotong menjadi 3 bagian.
- Material yang sudah dipotong selanjutnya dirapikan permukaannya dengan menggunakan mesin frais selanjutnya material diampas sampai halus.
- Pembuatan titik dengan menggunakan pena atau spidol dengan jarak antar titik 5 mm.



Gambar 8. Specimen Uji Kekerasan

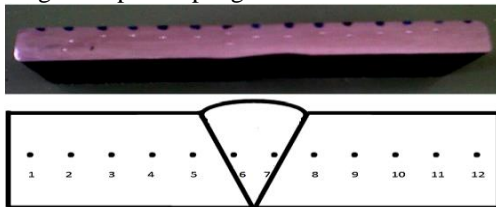
F. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Rockwell dengan skala HRB, yang menggunakan indentor baja dengan diameter : 1,5875 mm ($\frac{1}{6}$ inch). Pembebanan yang diberikan adalah sebesar 100 kgf.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan pada semua spsimen. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Rockwell skala HRB yang bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor bola baja yang ditekan pada permukaan spiesmen. Setiap spesimen dikenai dua belas titik identasi yang menghasilkan data nilai kekerasan dari material baja karbon rendah ST 37 yang telah mengalami proses pengelasan



Keterangan :

- Titik 1, 2, 3, 10, 11 dan 12 adalah daerah base metal.
- Titik 4, 5, 8 dan 9 adalah daerah HAZ.
- Titik 6 dan 7 adalah daerah weld metal.

Gambar 9. Titik Penekanan Spesimen

B. Hasil Uji Kekerasan Pada Material Dasar



Gambar 10. Grafik Nilai Kekerasan Material Dasar

Berdasarkan gambar 10 di atas menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada baja karbon S45C yang tidak mengalami proses pengelasan adalah 83,1 HRB.

C. Hasil Uji Kekerasan Pengelasan Arus 60 A

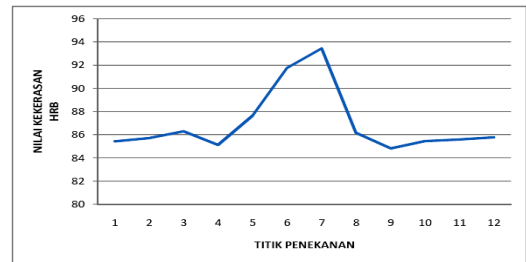


Gambar 11. Grafik Nilai Kekerasan Arus 60 A

Gambar 11 menunjukkan terdapatnya nilai kekerasan yang berbeda-beda pada spesimen dengan arus pengelasan 60 A. Dimana terjadi peningkatan kekerasan pada daerah weld metal. Dengan nilai kekerasannya yaitu :

- Di daerah weld metal, nilai kekerasan rata-ratanya adalah 94,7 HRB.
- Di daerah HAZ, nilai kekerasan rata-ratanya adalah 87,05 HRB.
- Di daerah base metal, nilai kekerasan rata-ratanya adalah 83,7 HRB.

D. Hasil Uji Kekerasan Pengelasan Arus 70 A

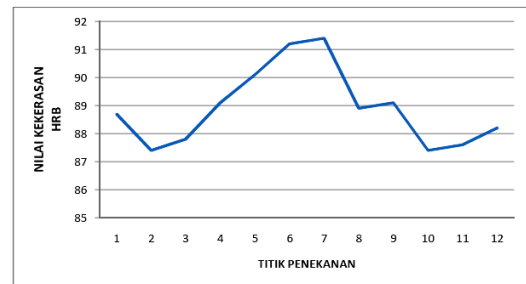


Gambar 12. Grafik Nilai Kekerasan Arus 70 A

Gambar 12 menunjukkan terdapatnya nilai kekerasan yang berbeda-beda pada spesimen dengan arus pengelasan 70 A. Dimana terjadi peningkatan kekerasan pada daerah weld metal. Dengan nilai kekerasannya yaitu :

- Di daerah weld metal, nilai kekerasan rata-ratanya adalah 92,7 HRB.
- Di daerah HAZ, nilai kekerasan rata-ratanya adalah 88,07 HRB.
- Di daerah base metal, nilai kekerasan rata-ratanya adalah 85,6 HRB.

E. Hasil Uji Kekerasan Pengelasan Arus 80 A



Gambar 13. Grafik Nilai Kekerasan Arus 80 A

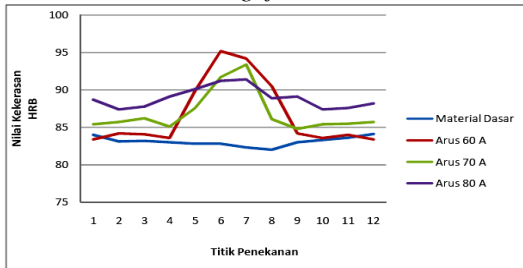
Gambar 13 menunjukkan terdapatnya nilai kekerasan yang berbeda-beda pada spesimen dengan arus pengelasan 80 A. Dimana terjadi peningkatan kekerasan pada daerah weld metal. Dengan nilai kekerasannya yaitu :

- Di daerah weld metal, nilai kekerasan rata-ratanya adalah 91,3 HRB.
- Di daerah HAZ, nilai kekerasan rata-ratanya adalah 89,3 HRB.
- Di daerah base metal, nilai kekerasan rata-ratanya adalah 87,8 HRB

Peningkatan kekerasan disebabkan karena Pada saat logam las masih cair, maka didaerah HAZ akan terbentuk

fasa *austenit*. Dan pada saat logam las mulai membeku terjadi laju pendinginan yang tinggi sehingga menyebabkan *austenit* tersebut bertransformasi ke *martensit*. Sehingga pada daerah *weld metal* nilai kekerasan akan tinggi dan berangsur-angsur menurun di daerah-daerah yang menjauhi *base metal*.

F. Pembahasan Hasil Pengujian

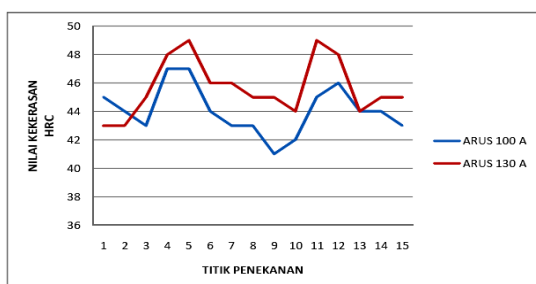


Gambar 14. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan

Untuk memudahkan pengamatan perubahan kekerasan pada penelitian ini, maka data dari gambar 10, 11, 12 dan 13 disajikan dalam satu grafik pada gambar 14. Dari grafik diatas terlihat bahwa distribusi kekerasan dari paling tinggi sampai paling rendah terjadi pada daerah *weld metal*, daerah HAZ, dan *base metal*. Kekerasan pada *weld metal* yang paling tinggi terjadi pada arus 60 A dan paling rendah terjadi pada arus 80 A, kekerasan pada daerah HAZ yang paling tinggi terjadi pada pengelasan arus 80 A dan yang paling rendah terjadi pada pengelasan arus 60 A. Kekerasan *base metal* yang paling mendekati dari material dasar adalah arus pengelasan 60 A dan yang paling jauh terjadi pada arus pengelasan 80 A.

Hal ini disebabkan pada saat *weld metal* masih cair, maka didaerah HAZ akan terbentuk fasa *austenit*. Dan pada saat *weld metal* mulai membeku terjadi laju pendinginan yang tinggi sehingga menyebabkan *austenit* tersebut bertransformasi ke *martensit*. Sehingga pada daerah *weld metal* nilai kekerasan akan tinggi dan berangsur-angsur menurun di daerah-daerah yang menjauhi *base metal*.

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa dalam uji kekerasan hasil las terjadi peningkatan kekerasan pada daerah logam las dan HAZ (Karahika, 2009).



Gambar 15. Grafik Perbandingan Perbedaan Arus Pengelasan pada Elektroda E 7018

Sumber : Karohika (2009)

Keterangan :

- Titik 1, 2, 3, 13, 14, dan 15 adalah daerah *base metal*

- Titik 4, 5, 11, dan 12 adalah daerah HAZ
- Titik 6, 7, 8, 9, dan 10 adalah daerah *weld metal*

Dari grafik pengujian kekerasan diatas, dapat kita lihat bahwa distribusi harga kekerasan dari tiap *speciment* memiliki kecenderungan yang berbeda-beda. Perbedaan dari kedua *speciment* tersebut dikaitkan dengan perbedaan penggunaan arus.

Secara teoritis dapat dikatakan bahwa pengelasan identik dengan siklus pemanasan dan pendinginan. Dan dengan variable arus yang berbeda maka dapat dikatakan bahwa semakin tinggi arus pengelasan maka temperatur yang dicapai juga akan semakin tinggi. Dengan media pendinginan yang sama, yaitu udara, pada temperatur yang lebih tinggi akan mempunyai laju pendinginan yang lebih cepat karena perbedaan temperatur yang lebih besar.

Pada laju pendinginan cepat akan didapatkan harga kekerasan pada daerah *weld metal* dan HAZ yang lebih tinggi. Sedangkan pada daerah *base metal* relatif tidak ada perubahan yang berarti karena perlakuan panas yang didapatkan tidak sampai merubah sifat kekerasannya secara signifikan (Karahika 2009).

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian kekerasan dapat disimpulkan bahwa :

- Arus yang terbaik yang digunakan untuk pengelasan plat baja karbon S45C adalah arus 80 A. Karena peningkatan kekerasannya seragam disemua titik penekanan.
- Semakin besar arus las maka daerah HAZ akan semakin besar pula nilai kekerasannya.
- Dari hasil pengujian kekerasan terlihat bahwa distribusi kekerasan dari yang paling tinggi sampai paling rendah adalah logam las, daerah HAZ dan daerah logam induk.
- Nilai kekerasan daerah logam induk yang paling mendekati dari nilai kekerasan material dasar adalah pengelasan arus 60 A dan yang paling jauh adalah pengelasan arus 80 A.
- Nilai kekerasan daerah HAZ yang paling tinggi terdapat pada pengelasan arus 80 A dan yang paling rendah terdapat pada pengelasan 60 A.
- Nilai kekerasan didaerah lasan yang paling tinggi terdapat pada pengelasan arus 60 A dan yang paling rendah terdapat pada pengelasan arus 80 A.

REFERENSI

Karahika, I Made Gatot. 2009. *Pengaruh Variasi Arus dan Jenis Elektroda Pada Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon*. Kampus Bukit Jimbaran Badung.

Kurniawan, Didit. 2010. *Pengaruh Jenis Elektroda Pada Pengelasan Dengan Smaw Terhadap Sifat Fisis dan*

- Mekanis Pada Baja Profil IWF*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Asfarizal. 2008. *Pengaruh Masukan Panas Pengelasan Kampuh V Terhadap Struktur Mikro*. Institut Teknologi Padang.
- Asngari, Agung Hari. 2008. *Pengaruh Arus Listrik Terhadap Daerah HAZ Las Pada Baja Karbon*. Surakarta.
- Akuan, Abrianto. 2009. *Teknik Pengelasan Logam*. Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani. Bandung.
- Cary, Howard B. 1998, *Modern Welding Technology*. 4nd edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Daryus, Asyari. 2008. *Proses Pengelasan dan Cacat Las Yang Terjadi*. Jakarta.
- Djamiko, Riswan Dwi. 2008. *Modul Pengelasan Logam*. Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Haryadi, Gunawan. 2007. *Analisa Kerusakan Hasil Pengelasan Bawah Air Pada Lambung Kapal Dengan Bahan Elektroda Rb 26 Terseloti*. Fakultas teknik mesin FT-UNDIP.
- International Welding Inspection Personnel*. Kemetrian Perindustrian RI Balai Besar Bahan dan Barang Teknik. Bandung.
- Winarto. 2008. *Desain Las*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Wiriosumarto, Harsono, 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta.
- Wiriosumarto, Harsono. Toshie, Okumura. 1994. *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramitha. Jakarta.
- Wiriosumarto, Harsono. Toshie, Okumura. 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan ke-9, Penerbit Pradnya Paramitha. Jakarta.
- International Welding Inspection Personnel*. Kemetrian Perindustrian RI Balai Besar Bahan dan Barang Teknik. Bandung.
- Manual Book, Hardness Test Rockwell.
- Santhiarsa, I Gusti Ngurah Nitya dan Budiarsa, I Nyoman. 2008. *Pengaruh Posisi Pengelasan dan Gerakan Elektroda Terhadap Kekerasan Hasil Las Baja JIS SSC 41*. Bali.
- Salmon, Dkk. 1991. *Struktur Baja, Disain dan Perilaku*, jilid 1 dan 2, Edisi kedua. Santoso, Joko. 2006. *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las Smaw Dengan Elektroda E7018*. Universitas Negeri Semarang.