

**Effect Of Slab Thickness On Weld Distortion Results In Medium Carbon Steel AISI 1045  
By SMAW Method**

**Irsyad Haryono A<sup>1)</sup>, Tarkono<sup>2)</sup> dan Zulhanif<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung  
Jln. Prof.Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedung H FT Lt. 2 Bandar Lampung  
Telp. (0721) 355519, Fax. (0721) 704947  
Email : irsyadharyono@ymail.com

**Abstract**

*This research aimed to investigate the effect of width plate variation to distortion caused by welding in AISI 1045 light steel alloy plate. This kinds of steel is formable by heat treatment and often for making mechanical component use. Sometimes repairing mechanical component was done by welding. The deformation that occurred by welding are caused by distortion. Distortion is shape transformation process of welding result which caused by unbalance between expanding metal while heating and shrink while colding.*

*This research takes places in Bureau of Work and Training (BLK) Bandar Lampung, for making the test specimen and distortion measurement, while the hardness test and microstructure test held in Material Laboratory Lampung University. Before testing the specimen, first of all the steel must be welded well, using Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method. The electrode which used for welding is E 6013 RB 26, while the joint are V form with 80 A electric current. The welding region that will be the sample data test are base metal, HAZ, and weld metal for hardness test and microstructure test. The variation of plate width are 2, 5, 8 mm.*

*From the result of testing materials, we can make some conclusion which is, the largest distortion level experienced by plate occurred in 8 mm width of plate, while the largest hardness number experienced by plate occurred in base metal region with 57,5 HRC number. Although, the 8 mm width of plate is the most thick of all specimen, the hardness number in HAZ region has the smallest number of hardness.*

**Keywords:** *distortion, plate, light steel, SMAW*

**LATAR BELAKANG**

Konsumsi baja di bidang manufaktur sampai saat ini masih mendominasi di bidang konstruksi, baik baja paduan, baja cor, maupun baja karbon. Hal ini terjadi dikarenakan baja mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan logam lain seperti aluminium atau sejenisnya. Kelebihan dari baja sebagai bahan konstruksi adalah memiliki sifat yang di suatu pihak lebih baik dikarenakan baja memiliki kekuatan tarik tinggi, mudah disambung atau dilas selain itu memiliki harga konduktivitas listrik yang tinggi, konduktivitas panas tinggi, mudah ditreatment, dan dapat dihaluskan

sehingga berkilau permukaannya. Namun diantara itu, baja pun mempunyai kelemahan seperti tidak tahan terhadap korosi karena kelembaban maupun pengaruh udara sekeliling dan terjadi perubahan bentuk bila terkena suhu atau panas tinggi.

Baja karbon adalah baja yang paling banyak digunakan di dunia industri maupun untuk konstruksi, karena kekuatan dan keuletannya cukup baik. Baja karbon di dalam perdagangan dibagi menjadi 3 (tiga) jenis yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Jenis baja karbon yang paling banyak digunakan pada konstruksi baja umumnya

adalah baja karbon rendah. Hal ini dikarenakan baja karbon rendah merupakan jenis baja yang diproduksi dalam jumlah terbesar. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling murah diproduksi diantara semua baja karbon, mudah dimachining dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tak tahan aus. Sehingga pada penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa, jembatan, kaleng, pagar, dan lain-lain.

Baja karbon menengah mempunyai kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah, kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi, dan dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik. Baja ini lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah, serta dapat diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatannya. Baja karbon menengah banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi.

Baja AISI 1045 adalah jenis baja yang mudah untuk dibentuk dengan perlakuan panas (*heat treatable steel*) dan sering digunakan sebagai bahan pembuatan komponen-komponen mesin. Baja kelompok *heat treatable* memiliki keuntungan yaitu sifat mekanik baja yang dapat dimodifikasi dengan menggunakan *heat treatment*. Proses perbaikan komponen mesin sering dilakukan dengan cara pengelasan dengan SMAW. Kekurangan SMAW adalah elektroda tidak bersifat kontiniu dan tidak dapat digunakan untuk pengelasan multilayer secara cepat, akibatnya muncul slag setiap selesainya pengelasan satu layer. Akibat masukan panas dan kecepatan pendinginan, sehingga deformasi yang terjadi dapat mengakibatkan cacat bentuk dan geometri pada hasil las. (*Kou, S. 1987.*)

Deformasi yang terjadi pada hasil pengelasan sering disebabkan oleh adanya distorsi. Distorsi merupakan peristiwa perubahan bentuk hasil las sebagai akibat adanya pemuaian logam saat pemanasan yang tidak sebanding dengan penyusutan saat pendinginan. Tegangan thermal saat

pemanasan dan pendinginan dapat melewati deformasi plastik bahan (*kou, 1987*).

Tegangan thermal pada proses pengelasan dipicu oleh distribusi temperatur yang dipengaruhi oleh masukan panas. Pengelasan pelat datar sering menggunakan *single layer* dan *multi layer*. Pengelasan *single layer* sering digunakan untuk pelat tipis dan pengelasan *multi layer* sering digunakan untuk konstruksi dengan keuletan sambungan yang tinggi.

### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penggunaannya, logam yang digunakan akan mengalami gaya luar atau pembebanan. Setiap logam mempunyai daya tahan terhadap pembebanan yang berbeda-beda, perbedaan ini ditentukan oleh sifat dari logam tersebut. Sifat-sifat logam antara lain sebagai berikut:

#### 1. Sifat mekanis

Sifat mekanis adalah kemampuan bahan untuk menerima pembebanan atau untuk menahan beban yang diterimanya baik beban statis maupun beban dinamis. Sifat mekanis terdiri dari aspek-aspek berikut ini:

##### a. Kekuatan bahan (*strength*)

Kekuatan bahan (*strength*) yaitu ketahanan suatu material menerima pembebanan tarik, tekan, lentur, puntir dan geser.

##### b. Kekerasan

Kekerasan adalah sifat dasar dari logam, kekerasan ini didefinisikan sebagai ketahanan logam terhadap goresan atau tekanan.

##### c. Elastisitas

Merupakan kemampuan logam untuk kembali ke bentuk semula setelah menerima beban hingga berubah bentuk. Semakin tinggi batas elastisitas suatu material maka nilai elastisitas material tersebut juga semakin tinggi.

##### d. Kekakuan

Kekakuan merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan perubahan bentuk.

##### e. Plastisitas

Plastisitas adalah kemampuan suatu

bahan ketika mengalami perubahan bentuk tanpa mengalami kerusakan. Seperti halnya elastisitas, jika batas plastisitas material tersebut tinggi, maka nilai plastisitas material juga tinggi, namun batas elastisnya semakin rendah.

f. Kelelahan

Kelelahan merupakan kemampuan maksimal suatu bahan ketika menerima beban yang berganti-ganti dan secara terus-menerus dalam jangka waktu tertentu, dimana tegangan maksimal selalu diberikan selama proses pembebanan dilakukan.

2. Sifat fisis

Sifat fisis adalah kemampuan logam terhadap peristiwa-peristiwa fisika. Adapun sifat-sifat fisika tersebut antara lain adalah:

a. Titik lebur

Titik lebur merupakan temperatur dimana logam akan meleleh dan akhirnya mencair akibat panas yang diberikan.

b. Kepadatan

Faktor yang mempengaruhi dari kepadatan ini adalah berat dari atom dan jarak antar atom dari unsur-unsur pembentuknya. Semakin rapat jarak antar atom, maka nilai kepadatannya semakin tinggi.

c. Daya hantar panas

Merupakan kemampuan logam menghantarkan panas. Pada aplikasinya dibedakan menjadi konduktor, semi konduktor dan isolator. Daya hantar panas ini sebanding dengan kemampuan material untuk mengalirkan listrik.

d. Daya hantar listrik

Merupakan kemampuan logam untuk dialiri maupun mengalirkan arus listrik. Daya hantar listrik pada aplikasinya dibedakan menjadi konduktor, semikonduktor, dan isolator.

3. Sifat kimia

Sifat kimia merupakan kemampuan dari setiap logam terhadap reaksi- reaksi kimia.

Pada umumnya sifat ini diindikasikan sebagai daya tahan terhadap karat pada suatu logam.

Baja Karbon AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 – 0,50 dan termasuk golongan karbon menengah [Glyn.et.al, 2001]. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor.

Baja AISI 1045 disebut dengan baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10XX berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineers*). Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukkan *plain carbon* kemudian kode XXX setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon [Gln,et.al, 2001].

Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau *plain carbon steel* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Pada aplikasinya ini baja tersebut harus mempunyai ketahanan aus yang baik karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan [Avner, 1974]. Pada umumnya ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan.

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas.

Perkembangan teknologi pengelasan logam memberikan kemudahan umat manusia dalam menjalankan kehidupannya. Saat ini ilmu

pengetahuan di bidang elektronik melalui penelitian yang melihat karakteristik atom, mempunyai kontribusi yang sangat besar terhadap penemuan material baru dan sekaligus bagaimanakah menyambungkannya.

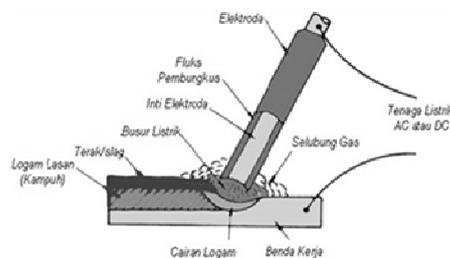
Jauh sebelumnya, penyambungan logam dilakukan dengan memanasi dua buah logam dan menyatukannya secara bersama. Logam yang menyatu tersebut dikenal istilah *fusion*. Las listrik merupakan salah satu yang menggunakan prinsip tersebut.

Pada zaman sekarang pemanasan logam yang akan disambung berasal dari pembakaran gas atau arus listrik. Beberapa das dapat digunakan, tetapi yang sangat populer adalah gas Karbit. Selama pengelasan, gas Acetylene dicampur dengan gas Oksigen murni. Kombinasi campuran gas tersebut memproduksi panas yang paling tinggi diantara campuran gas lain.

Cara lain yang paling utama digunakan untuk memanasi logam yang dilas adalah arus listrik. Arus listrik dibangkitkan oleh generator dan dialirkan melalui kabel ke sebuah alat yang menjepit elektroda diujungnya, yaitu suatu logam batangan yang dapat menghantarkan listrik dengan baik. Ketika arus listrik dialirkan, elektroda disentuhkan ke benda kerja dan kemudian ditarik ke belakang sedikit, arus listrik tetap mengalir melalui celah sempit antara ujung elektroda dengan benda kerja. Arus yang mengalir ini dinamakan busur (*arc*) yang dapat mencairkan logam.

Terkadang dua logam yang disambung dapat menyatu secara langsung, namun terkadang masih diperlukan bahan tambahan lain agar deposit logam lasan terbentuk dengan baik, bahan tersebut disebut bahan tambah (*filler metal*). *Filler metal* biasanya berbentuk batangan, sehingga biasa dinamakan *welding rod* (Elektroda las). Pada proses las, *welding rod* dibenamkan ke dalam cairan logam yang tertampung dalam suatu cekungan yang disebut *welding pool* dan secara bersama-sama membentuk deposit logam lasan, cara seperti ini dinamakan Las Listrik atau SMAW (*Shielded metal Arch welding*), lihat

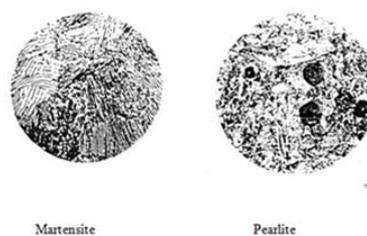
gambar 1.



Gambar 1. Prinsip kerja las listrik

Sebagian besar logam akan berkarat (korosi) ketika bersentuhan dengan udara atau uap air, sebagai contoh adalah logam besi mempunyai karat, dan aluminium mempunyai lapisan putih di permukaannya. Pemanasan dapat mempercepat proses korosi tersebut. Jika karat, kotoran, atau material lain ikut tercampur ke dalam cairan logam lasan dapat menyebabkan kekroposan deposit logam lasan yang terbentuk sehingga menyebabkan cacat pada sambungan las.

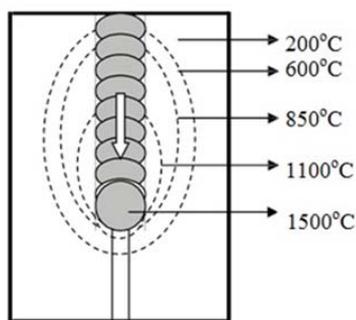
Pencairan logam saat pengelasan menyebabkan adanya perubahan fasa logam dari padat hingga mencair. Ketika logam cair mulai membeku akibat pendinginan cepat, maka akan terjadi perubahan struktur mikro dalam deposit logam las dan logam dasar yang terkena pengaruh panas (*Heat affected zone/HAZ*). Struktur mikro dalam logam lasan biasanya berbentuk columnar, sedangkan pada daerah HAZ terdapat perubahan yang sangat bervariasi. Sebagai contoh, pengelasan baja karbon tinggi sebelumnya berbentuk *pearlite*, maka setelah pengelasan struktur mikronya tidak hanya *pearlite*, tetapi juga terdapat *bainite* dan *martensite*.



Gambar 2. Struktur mikro baja karbon

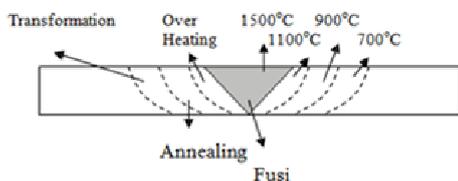
Perubahan ini mengakibatkan perubahan pula sifat-sifat logam dari sebelumnya. Struktur mikro pearlite memiliki sifat liat dan tidak keras, sebaliknya martensite mempunyai sifat keras dan getas. Biasanya keretakan sambungan las berasal dari struktur mikro ini.

Gambar 3 mendeskripsikan distribusi temperatur pada logam dasar yang sangat bervariasi telah menyebabkan berbagai macam perlakuan panas terhadap daerah HAZ logam tersebut.



Gambar 3. Distribusi temperatur saat pengelasan

Logam lasan mengalami pemanasan hingga temperatur 1500° C dan daerah HAZ bervariasi mulai 200° C hingga 1100° C (lihat Gambar 4). Temperatur 1500° C pada logam lasan menyebabkan pencairan dan ketika membeku membentuk struktur mikro *columnar*. Temperatur 200° C hingga 1100° C menyebabkan perubahan struktur mikro pada logam dasar baik ukuran maupun bentuknya.



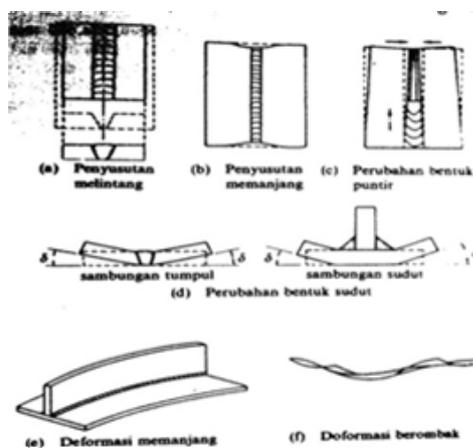
Gambar 4. Perlakuan panas logam las

Selama proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal.

Sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalangan pengembangan yang mengakibatkan terjadinya peregangan yang rumit. Kalau tidak dihindari, peregangan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk tetap yang disebabkan karena adanya perubahan besaran mekanik.

Tegangan sisa dan perubahan bentuk yang terjadi sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan, karena itu usaha untuk mengatur dan mengurangi tegangan sisa dan perubahan bentuk harus mendapat perhatian utama.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, karena adanya pencairan, pembekuan, pengembangan termal, perpendekan dan penyusutan maka pada konstruksi las selalu terjadi perubahan bentuk yang sangat rumit. Walaupun demikian secara kasar perubahan bentuk yang terjadi masih dapat dipisah-pisahkan. Untuk las tumpul dan las sudut pengelompokan dari perubahan bentuk yang terjadi dapat dilihat dalam gambar dibawah ini



Gambar 5. Perubahan bentuk pada lasan

Faktor yang mempengaruhi terbentuknya deformasi las dapat dibagi menjadi dalam dua kelompok yaitu, kelompok pertama yang erat hubungannya dengan masukan panas pengelasan dan kelompok dua yang disebabkan oleh adanya penahan atau penghalang pada sambungan las.

Faktor yang termasuk dalam kelompok

pertama adalah masukan panas pengelasan (yang ditentukan oleh tegangan listrik, aliran listrik, kecepatan dan ukuran serta jenis elektroda), cara pengelasan, suhu pemanasan mula, tebal pelat, geometri sambungan dan jumlah lapisan dari lasan. Sedangkan yang tercakup dalam kelompok yang kedua adalah bentuk, ukuran serta susunan dari batang-batang penahan dan urutan pengelasan.

Setiap logam yang dipanaskan mengalami pemuaihan dan ketika pendinginan akan mengalami penyusutan. Fenomena ini menyebabkan adanya ekspansi dan kontraksi pada logam yang dilas. Ekspansi dan kontraksi pada logam yang dilas ini menurut istilah metalurgi dinamakan distorsi.



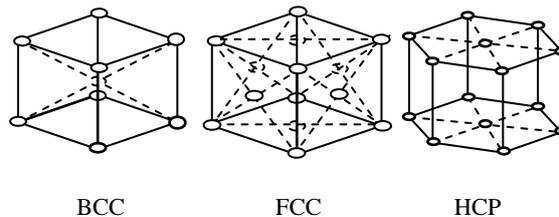
Gambar 6. Struktur makro sambungan las.

Sifat-sifat yang dimiliki logam akan berpengaruh dalam penggunaan logam, hal inilah yang merupakan dasar dari pemilihan bahan. Sifat-sifat yang dimiliki setiap logam sangatlah berbeda karena adanya perbedaan unsur-unsur penyusun serta paduan yang akan membentuk struktur mikronya.

Unsur adalah material yang independen dan murni tanpa pengotor atau unsur-unsur lain. Unsur-unsur tersusun atas atom-atom yang mempunyai inti dan elektron. Inti atom bermuatan positif (+) yang terdiri dari neutron dan proton, sedangkan elektron sendiri bermuatan negatif (-). Karena adanya muatan ini setiap unsur akan saling tarik menarik sehingga mencapai kondisi yang stabil atau netral.

Karena adanya gaya tarik menarik antar atom, maka atom-atom logam akan membentuk persenyawaan satu dengan yang lain. Persenyawaan ini akan membentuk suatu bagan geometrik tertentu dalam keadaan padat, dan disebut sebagai kristalit. Bentuk

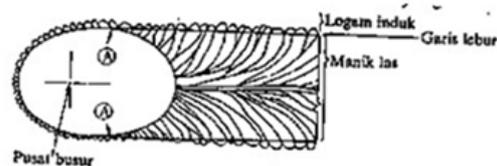
geometri dari persenyawaan logam besi dan baja biasanya berupa kubus, yang tersusun dari atom-atomnya. Bentuk geometris ini adalah BCC (Body Center Cubic), FCC (Face Center Cubic), HCP (Hexagonal Close Packed). Seperti terdapat pada gambar berikut:



BCC FCC HCP

Gambar 7. Bentuk geometris kristal

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidakhomogennya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit atas yang menurunkan ketangguhan logam las. Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las (Sonawan, 2004).

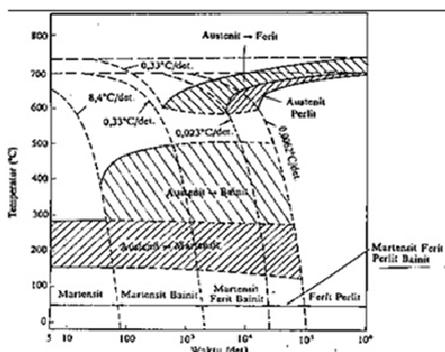


Gambar 8. Arah pembekuan dari logam las (Wiryosumarto, 2000)

Dari gambar diatas ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang pilar. Titik A dari gambar adalah titik mula dari struktur pilar yang terletak dari logam induk. Titik ini

tumbuh menjadi garis lebur dengan arah sama dengan sumber panas. Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama. Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk, jika ukuran butir austenitnya besar. Waktu pendinginan yang lama akan meningkatkan ukuran batas butir ferit, selain itu waktu pendinginan yang lama akan menyebabkan terbentuk ferit *Widmanstätten*.

Pada proses pengelasan, transformasi austenit menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini disebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenit menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las. Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*continuous cooling transformation*).



Gambar 9. Diagram CCT untuk baja ASTM 4340 (Wiryosumarto,2000)

Contoh diagram CCT ditunjukkan dalam gambar di atas, dari diagram di atas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah campuran ferit-perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit (Wiryosumarto, 2000).

**METODE PENELITIAN**

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Pelat baja karbon rendah AISI 1045 dengan ketebalan 2 mm, 5 mm, dan 8 mm. Bentuk awal pelat baja karbon sedang AISI 1045 sebelum dilakukan pengelasan. Pelat berbentuk persegi panjang ukuran 300 mm x 150 mm dengan ketebalan masing-masing 2 mm, 5 mm dan 8 mm.



Gambar 10. Pelat Baja Karbon Sedang AISI 1045.

2. Elektroda. Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda berjenis E 6013 RB 26 diameter elektroda 2,6 mm dan arus yang digunakan adalah arus DC dengan amper 80. Jenis elektroda ini sangat mudah didapat dipasaran, murah dan banyak digunakan oleh industri.



Gambar 11. Elektroda RB 26.

3. Las SMAW.  
Dibawah ini merupakan mesin las dengan arus searah yang digunakan untuk mengelas benda uji.



Gambar 12. Mesin Las Safex M340.

4. Mesin Uji Kekerasan  
Gambar dibawah adalah mesin uji kekerasan yang berada di di Lab. Material Universitas Lampung yang digunakan untuk mengambil data kekerasan penelitian.



Gambar 13. Mesin Uji Brinell

Uji kekerasan Rockwell ini paling banyak dipergunakan di Amerika Serikat. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu cepat, bebas dari kesalahan manusia. Untuk pengujian ini, load yang digunakan sebesar 100 kg skala B. Cara penggunaan mesin tersebut adalah mengidentasi material baja AISI 1045 dengan indenter bola baja dengan ukuran 1/16". Indenter ditekan ke material dibawah beban minor. Kemudian mengkalibrasi ke titik nol. Setelah itu material ditekan dan ditahan selama 10 – 20 detik, setelah itu dilepas dan akan segera terdeteksi angka kekerasannya. Setelah itu mengkonversikan data kekerasan ke Brinell.

5. *Dial Gauge Indicator*

Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat distorsi sudut yang terbentuk dari hasil penyambungan dengan pengelasan proses SMAW.



Gambar 14. *Dial Gauge Indicator*

*Dial gauge* atau ada yang menyebutnya *dial indicator* adalah alat ukur yang digunakan untuk memeriksa penyimpangan yang sangat kecil dari bidang datar, bidang silinder atau permukaan bulat dan kesejajaran. Pada dial indicator terdapat 2 skala. Yang pertama skala yang besar (terdiri dari 100 strip) dan skala yang lebih kecil. Pada skala yang besar tiap stripnya bernilai 0,01 mm. jadi ketika jarum panjang berputar 1 kali penuh maka menunjukkan pengukuran tersebut sejauh 1 mm. sedangkan skala yang kecil merupakan

penghitung putaran dari jarum panjang pada skala yang besar. Adapun metode pengukuran yang digunakan pada pengujian ini adalah benda kerja yang digerakkan, dial indikator tetap pada posisi diam.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian pada beberapa pelat baja AISI 1045 dengan perbedaan plat antara 2, 5 dan 8 mm. Spesimen berbentuk persegi panjang dengan panjang 300 mm dan lebar 150 mm. Spesimen akan disambung dengan pengelasan SMAW, sebelum dilakukan proses pengelasan dibuat kampuh V pada spesimen kemudian digrid dengan tujuan agar ada jarak pada saat terjadi penetrasi. Setelah pelat disambung dan didinginkan kemudian akan dilakukan pemeriksaan visual yaitu pemeriksaan dengan penglihatan pada hasil lasan dan bentuk perubahan pada spesimen secara teliti. Pemeriksaan ini adalah pemeriksaan pertama yang dipakai untuk membantu menentukan kualitas sambungan las. Pemeriksaan dilakukan terhadap tiap tebal pelat yang mana terdapat tiga kali spesimen pada masing-masing ketebalan pelat.

Dengan didapat data-data diatas dapat dilakukan analisis untuk mengetahui tingkat distorsi yang terjadi pada tiap-tiap ketebalan pelat.

Persiapan spesimen uji adalah langkah awal dari penelitian ini, ada tiga tahap dalam melakukan persiapan spesimen uji, yaitu pemilihan material, pemilihan elektroda dan pembuatan kampuh las.

#### 1. Persiapan spesimen

- a). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah AISI 1045 mengikuti standar dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 150 mm, tebal 2 mm, 5 mm dan 8 mm.
- b). Elektroda yang digunakan adalah jenis E 6013 RB 26 dengan diameter 2,6 mm.
- c). Pembuatan bahan dan kampuh las

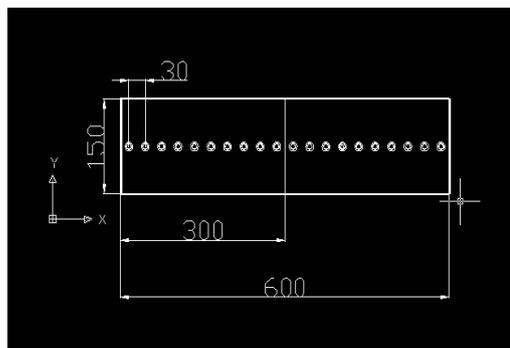
#### 2. Proses Pengelasan Spesimen Uji

Standar pengelasan yang digunakan

dalam penyambungan bahan uji adalah pengelasan posisi datar atau dibawah tangan (1G) dengan menggunakan elektroda RB 26 E 6013 berdiameter 2,6 mm. sebelum dilas, pada ujung spesimen yang akan di las dibentuk kampuh V dengan deajet 35<sup>0</sup> masing-masing spesimen dan pada proses pengelasannya menggunakan ampere 80 dan setelah pengelasan spesimen didinginkan dengan pendinginan lambat yaitu dengan mendinginkan spesimen di udara terbuka.

#### 3. Pengukuran Distorsi

Setelah seluruh proses pengelasan selesai dilakukan, selanjutnya akan dilakukan proses pengukuran distorsi pada seluruh pelat yang telah disambung dengan proses pengelasan SMAW dengan menggunakan alat ukur *dial gauge indikator*, dan menyajikannya dalam bentuk tabel yang telah disediakan. Adapun cara pengukurannya adalah dengan mengukur pada titik-titik yang telah ditentukan seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah. Dengan ruas sebesar 30 mm, sehingga diperoleh 20 titik pengambilan data.



Gambar 15. Titik pengambilan data distorsi

#### 4. Uji kekerasan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan yang terjadi akibat proses pengelasan yaitu diukur pada tiga titik, yaitu *base metal* (BM), HAZ dan *Weld metal*. Uji kekerasan dilakukan dengan menekan indenter ke permukaan logam yang

diukur kekerasannya.

5. **Data Uji Struktur Mikro**

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi di daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*. Proses ini diawali dengan melakukan pengampelasan sampel yang sudah dipotong. Pengampelasan menggunakan kertas ampelas dari mesh 200 sampai mesh 1500 secara berurutan. Pada proses pengampelasan berlangsung air dialirkan ke sampel sebagai media pendinginan. Kemudian dilanjutkan dengan pemolesan menggunakan altosol. Setelah mengkilap, dilanjutkan proses pengetsaan dengan larutan asam nitrat 2% dan alkohol 98%. Kemudian spesimen yang telah dipoles dan dibersihkan selanjutnya direndam pada larutan tersebut selama 10 – 20 detik. Setelah itu dicuci dengan air dan dikeringkan. Setelah kering baru dilakukan pemeriksaan struktur mikro.

8	1,14	0,80	1,28	1,70	1,25	1,86	1,39	1,59	1,82
9	0,69	0,42	0,69	0,88	0,65	1,02	0,79	0,78	1,02
10	0,09	0,05	0,10	0,13	0,08	0,19	0,20	0,09	0,17
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0,04	0,16	0,8	0,02	0,03	0,6	0,16	0,32	0,22
13	0,47	0,78	0,55	0,78	0,55	0,66	0,98	0,99	0,89
14	0,84	1,32	1,11	1,57	1,35	1,17	1,59	1,73	1,54
15	1,45	1,79	1,69	2,34	1,84	1,87	2,21	2,41	2,33
16	1,93	2,15	1,93	3,14	2,59	2,54	2,92	3,40	3,12
17	2,32	2,41	2,28	3,82	3,30	3,11	3,69	4,15	3,95
18	2,65	2,39	2,40	4,60	3,89	3,68	4,32	5,03	4,69
19	2,94	2,43	2,88	5,35	4,66	4,21	5,05	5,74	5,31
20	3,22	2,38	3,12	6,06	5,09	4,95	5,78	6,46	6,09
21	3,40	2,95	3,37	6,79	5,47	5,24	6,56	7,27	6,77

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil pengujian sebagai berikut:

1. Data Hasil Pengujian Distorsi.

Tabel 1. Data hasil pengujian distorsi

NO	Tebal pelat 2 mm			Tebal pelat 5 mm			Tebal pelat 8 mm		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	4,12	3,40	3,88	4,95	4,61	4,44	4,48	7,15	5,95
2	3,83	3,06	3,44	4,88	4,91	4,14	4,74	6,28	5,30
3	3,32	2,80	2,80	4,69	4,86	4,03	4,18	5,59	4,83
4	2,81	2,49	2,52	3,90	3,83	3,53	3,63	4,78	4,09
5	2,34	2,04	2,17	3,08	3,51	3,11	3,01	3,98	3,40
6	1,82	1,66	1,76	2,30	2,45	2,50	2,51	3,18	2,90
7	1,52	1,28	1,44	1,50	1,60	2,09	1,94	2,37	2,33

Pengujian dilakukan dengan cara diukur dengan menggunakan *dial indicator*, spesimen atau pelat yang sudah dilas ditaruh pada meja datar kemudian dilakakukan pengukuran. Pengukuran dihitung pada titik-titik yang sudah ditentukan seperti gambar berikut :

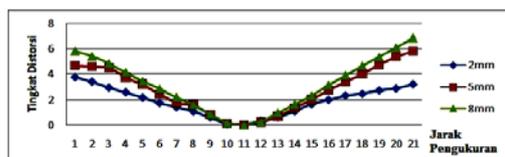


Gambar 16. Penghitungan distorsi sudut menggunakan *dial gauge*.

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui distorsi sudut yang disebabkan adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang dilas. Masing-masing spesimen diambil pengukuran sebanyak 21 kali dari titik tengah bernilai 0, kemudian bergerak kekanan dan kekiri untuk mendapatkan nilai distorsi. Dan berikut adalah data distorsi pada material hasil

pengukuran.

Dengan mengambil nilai rata-rata untuk setiap spesimen pada setiap titik maka didapatkan bentuk grafik untuk ketebalan 2 mm, 5 mm, dan 8 mm adalah sebagai berikut:



Gambar 17. Grafik perbedaan distorsi sudut pada masing-masing ketebalan.

Hasil dari proses pengelasan adalah material mengalami distorsi yang cukup besar pada bagian HAZ dengan lengkungan distorsi berbentuk huruf V. Pada pengujian ini terjadi perbedaan distorsi pada tiap-tiap tingkat ketebalan.

Pada gambar diatas terlihat bahwa distorsi pada pelat dengan tebal 8 mm lebih besar dibandingkan pelat dengan ketebalan 5 mm, dan distorsi terkecil terjadi pada pelat berketebalan 2 mm. Perbedaan bentuk distorsi pada masing-masing ketebalan dikarenakan distribusi panas yang tidak merata dan lama waktu ketika mengalami proses pengelasan, pada pelat 8 mm terjadi distorsi yang cukup besar karena untuk mengelas pelat yang cukup tebal maka digunakan pengelasan dengan *multilayer* dimana semakin tebal pelat semakin banyak juga layer yang digunakan. Karena *layer* yang banyak maka waktu yang digunakan untuk pengelasanpun semakin lama begitu juga panas yang dihasilkan. Semakin besar masukan panas pengelasan yang diterima maka akan mengakibatkan semakin besar juga tegangan termal yang terjadi pada daerah sambungan. (*kou,s., 1987*).

Untuk pelat dengan ketebalan 2 mm, distorsi terjadi begitu kecil. Dikarenakan oleh masukan panas yang tidak terlalu besar dan dalam waktu yang singkat sehingga tegangan termal yang terjadi tidak lebih besar dibanding yang dihasilkan oleh pelat dengan tebal 8 mm dan 5 mm.

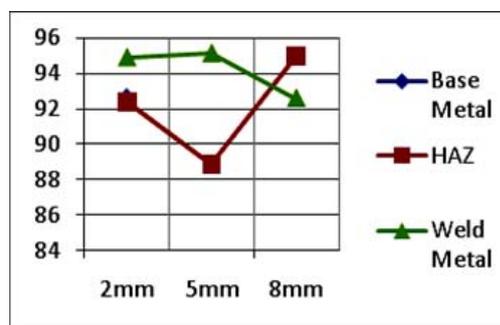
Secara umum perubahan sudut pada logam akibat proses pengelasan menjadi lebih besar bila pelat yang dilas maki tebal, tetapi sampai pada batas ketebalan tertentu perubahan sudutnya menurun dengan makin tebalnya pelat. Hal ini disebabkan oleh penahanan yang kuat dari logam yang tebal. (*Toshie okumora, 1985*).

Setelah dilakukan pengukuran distorsi sudut, langkah selanjutnya adalah mengambil data kekerasan material pada masing-masing spesimen. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi panas yang terjadi pada hasil pengelasan dengan metode SMAW. Pengujian kekerasan dilakukan pada 3 daerah lasan yaitu *base metal*, daerah pengaruh panas, dan daerah logam las. Sehingga diperoleh data kekerasan pada spesimen, diantaranya :

Tabel 2. Nilai rata-rata kekerasan baja AISI 1045.

SP	2 mm	5 mm	8 mm
HM	92,4	89	95,5
WM	96,31	96,31	92,4
HM	91,2	88	94,8
WM	93,6	93,6	91,8
HM	93,6	89,5	94,8
WM	94,8	95,5	93,6
BM	92,7		

Berdasarkan data yang diperoleh diatas, maka dapat ditunjukkan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 18. Grafik perubahan kekerasan dari *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal* pada tiap-tiap ketebalan

Siklus thermal dalam pengelasan akan

dipengaruhi oleh ketebalan pelat dan masukan panas. Ketebalan pelat dapat menyebabkan kenaikan permukaan benda kerja yang memungkinkan terjadinya perpindahan panas secara konduksi naik. Sehingga laju pendinginan yang dialami benda kerja akan naik ketika pelat yang di las semakin tebal. Serupa apa yang dialami oleh spesimen baja AISI 1045 berbeda ketebalan dari 2 mm, 5 mm dan 8 mm yang mengalami penyambungan las dengan proses SMAW. Proses pengelasan SMAW *multilayer* membutuhkan waktu pengelasan maupun waktu pendinginan yang lebih lama yang disebabkan panas yang tinggi. Untuk tebal pelat 2 mm pengelasan hanya menggunakan *singel layer*. Tidak memerlukan waktu yang lama dalam proses pengelasannya sehingga waktu pendinginannya pun lebih cepat. Oleh karena itu, pada ketebalan ini daerah *weld metal* mempunyai nilai dengan nilai rata-rata 96,31 BHN dan *HAZ* yang memiliki nilai rata-rata kekerasan terendah dengan nilai 91,2 BHN.

Pada spesimen dengan ketebalan 5 mm, didapat nilai kekerasan tertinggi didaerah *weld metal* dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 96,31 BHN. Sedangkan nilai kekerasan terendah berada pada daerah *HAZ* metal dengan nilai rata-rata kekerasan 88 BHN. Pada pengelasan *multilayer*, layer kedua akan memberikan efek *posheat* (penambahan panas) pada *layer* sebelumnya dan *preheat* (pemanasan ulang) bagi *layer* sesudahnya.

Pada spesimen 8 mm daerah *HAZ* mempunyai nilai rata-rata kekerasan tertinggi yaitu 95,5BHN. Pada pengelasan ini daerah *weld metal* mempunyai nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah yaitu 91,8 BHN. Pada pelat dengan ketebalan 8 mm, proses pengelasan memakan waktu yang cukup lama karena pengelasan membutuhkan jumlah *layer* yang lebih banyak dibandingkan dengan pelat 5 mm. Sehingga pada pelat 8 mm menghasilkan tingkat distorsi yang lebih besar dibandingkan pelat dengan ketebalan 2 mm dan 5 mm.

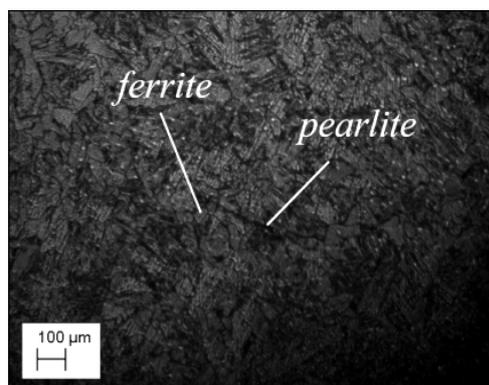
Foto mikro digunakan untuk menganalisa struktur mikro pada daerah *HAZ*, Dimana pada daerah ini terjadi perubahan fasa dari struktur *base metal* yang terkena pengaruh panas akibat

pengelasan. Pada baja karbon dengan kadar karbon dibawah 0,8% struktur penyusunnya terdiri dari *ferrite* dan *pearlite* (suherman, 1987). Selain itu laju penurunan suhu atau pendinginan juga berpengaruh, dimana pendinginan dengan udara luar menghasilkan pendinginan yang sangat lambat sehingga menghasilkan butiran kristal *ferrite* dan *pearlite*.



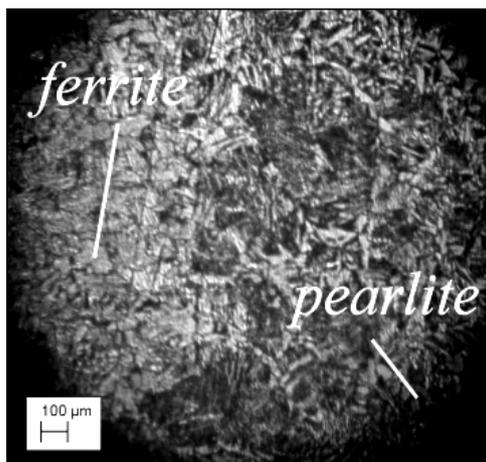
Gambar 19. Foto struktur mikro dari daerah *HAZ* menuju daerah Las dengan pengelasan multilayer menggunakan elektroda E 6013 (Pembesaran 50x).

Gambar diatas menunjukkan struktur mikro *HAZ* menuju daerah las pada pengelasan multilayer menggunakan elektroda RB26. Dimana butiran yang terbentuk adalah *pearlite* dan *ferrite*. Butir kristal *ferrite* tampak berwarna putih dan *pearlite* tampak berwarna kehitaman apabila dilihat dengan mikroskop. Butir *ferrite* cenderung lebih halus dan lunak, sedangkan butir *pearlite* cenderung lebih kasar dan keras.



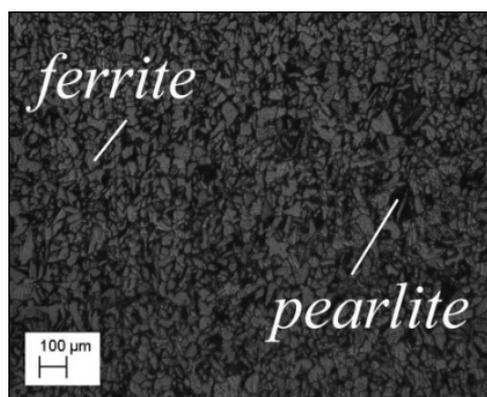
Gambar 20. Foto struktur base metal mikro baja AISI 1045 pembesaran 100x

Dapat dilihat dari gambar 19 dan 21, Struktur mikro pada daerah *base metal* di dominasi oleh butiran *ferrite*, dan struktur mikro pada daerah *weld metal* di dominasi oleh butiran *pearlite*. sehingga pada daerah *base metal* cenderung lebih lunak dibandingkan dengan daerah *weld metal*.



Gambar 21. Foto struktur daerah HAZ baja AISI 1045 (pembesaran 100X)

Logam induk adalah bagian *base metal* dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat. Pada gambar 20 diatas dapat dilihat butir *ferrite* masih mendominasi.



Gambar 21. Foto struktur weld metal baja AISI 1045 (pembesaran 100X)

Pada gambar 19, 20 dan 21 dapat dilihat hubungan antara ukuran diameter butiran dengan daerah lasan (BM, HAZ, dan WM)

pada proses pengelasan SMAW, secara keseluruhan menunjukkan bahwa butir kristal pada *base metal* berdiameter lebih besar dibandingkan dengan daerah pengaruh panas (HAZ) dan daerah lasan. Hal ini disebabkan karena daerah yang paling cepat membeku adalah daerah yang bersentuhan dengan dinding *base metal* dilanjutkan dengan arah pembekuan menuju daerah lasan, karena waktu pembekuan sangat singkat, maka ukuran butiran daerah pengaruh panas dan logam lasan relatif mendekati, artinya ukuran butiran HAZ dan *weld metal* hampir sama.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasarkan pada pembahasan yang telah diuraikan pada bab IV dan mengacu pada metode penelitian, maka dapat ditarik beberapa simpulan dan saran sebagai berikut :

1. Tingkat distorsi terbesar pada baja karbon sedang AISI 1045 dengan ketebalan pelat 2 mm, 5 mm dan 8 mm terdapat pada pelat dengan ketebalan 8 mm. Dan distorsi terkecil berada pada ketebalan pelat 2 mm. Hal tersebut dikarenakan adanya stress atau tegangan pada daerah *haz* akan semakin tinggi pada pelat yang lebih tebal.
2. Baja karbon sedang AISI 1045 mempunyai standar kekerasan maksimal 59 HRC. Sedangkan pada hasil pengukuran didapat nilai kekerasan tertinggi pada *base metal* yaitu 57,5 HRC dan nilai kekerasan terkecil pada daerah HAZ yaitu 50 HRC. Perubahan nilai kekerasan pada *base metal* ini akibat perlakuan yang dialami pelat selama proses pengerjaan. Seperti saat penghalusan permukaan (gerinda) dan pemotongan pelat.
3. Pada daerah *haz metal*, pelat dengan nilai ketebalan yang lebih besar menyebabkan kebutuhan elektroda dan lama proses pengelasan menjadi lebih banyak (*multilayer*). Sehingga mengakibatkan proses pendinginan pelat menjadi lebih lama karena proses pemanasan berulang pada pengelasan *multilayer*. Oleh karena itu, nilai

kekerasan pada daerah *haz metal* berbanding terbalik dengan tebal pelat.

### **Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, untuk mendapatkan hasil yang optimal maka disarankan untuk :

1. Perlu memperhatikan variabel-variabel dalam proses pengelasan seperti jarak elektroda terhadap spesimen, kuat arus, kecepatan pengelasan dan lain-lain untuk mendapatkan hasil pengelasan yang optimal.
2. Sebaiknya dilakukan pemanasan elektroda terlebih dahulu sebelum dilakukan pengelasan untuk menghilangkan hidrogen yang ada pada *flux*.
3. Memperhatikan jumlah atau banyaknya elektroda yang digunakan dalam pengelasan multi layer agar mendapatkan hasil yang lebih teliti.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Giachino, et.al., 1976. *Introduction to Physical Metallurgy of Welding*. Butterwoth, London.
- [2] Wiryosumarto, Harsono dan Toshie Okumura. 1985. *Teknologi Pengelasan Logam*: PT. Pertja Jakarta.
- [3] Zamil, Farid Moch. 1999. *Teknologi Pengelasan Pipa Untuk Proses SMAW dan GTAW* : PT. Crossfiled Ind.
- [4] Smallman, R.E., Bishop, R.J., Djaprie, S. 2000, *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, Erlangga, Jakarta.
- [5] Wilson, R. 1975, *Metalurgi and heat treatmen of Tool Steels*, McGraw Hill, Book Company Limited, Maidanhead, England.
- [6] Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1995, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [7] Kou, S., "*Welding Metallurgy*". John Wiley & sons, Singapore, 1987.
- [8] Avner, S. H, "*Introduction to physical metallurgy*". Mc. Graw-Hill, New York, 1964.