

## PENGARUH DIAMETER ELEKTRODA LAS SMAW PADA BAJA ST 42 TERHADAP KEKUATAN TARIK

(Studi Kasus Pegelasan pada Kerangka Bawah Bodi Kapal LCT)

*Effect of SMAW Welding Electrode Diameter on ST 42 Steel on Tensile strength  
(Case Study of Welding on the Underbody Framework of an LCT Ship)*

Suparno<sup>1\*</sup>, Alimuddin<sup>2</sup>, Anni Fatmawati<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Prodi.Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Samarinda,  
Jl.Dr.Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Samarinda Seberang, Kota Samarinda  
<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Prodi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda,  
Jl.Dr.Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Samarinda Seberang, Kota Samarinda  
e-mail: <sup>1</sup>suparno@polnes.ac.id, <sup>2</sup>alimuddin@polnes.ac.id, <sup>3</sup>anni140763@gmail.com

### Info Artikel

Riwayat Artikel:  
Diterima: 10-05-2024  
Diterima dalam bentuk revisi:  
21-05-2024  
Diteima/publis: 27-05-2024

### Kata Kunci:

Diameter ELektroda, Grain  
coarsening, Kekuatan  
sambungan, HAZ

### Abstrak

Diameter elektroda yang berbeda akan memberikan heat input yang berbeda pada sambungan las karena perbedaan jumlah arus listrik atau amper yang berbeda. Heat input berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las karena memengaruhi mikro struktur pada heat affected zone (HAZ). Heat input yang besar akan menyebabkan HAZ bertambah lebar dan grain coarsening yang pada akhirnya menurunnya kekuatan sambungan, sehingga elektroda dengan kekuatan yang sama tetapi diameternya berbeda akan menghasilkan kekuatan sambungan yang berbeda. Setelah di lakukan penelitian bahwa Kekuatan tarik all weld metal dari elektroda diameter kecil akan lebih kuat dari pada elektroda diameter yang besar yaitu  $\varnothing 2,6$  mm, Lebar daerah yang terpengaruh panas (HAZ) naik seiring naiknya heat input .2,85 untuk diameter 2,6 mm dan 4,15 untuk diameter 4,0, heat input karena perbedaan pemakaian arus 15,45% untuk  $\varnothing 2,6$  mm dan 24,25 % untuk  $\varnothing 4,0$ mm, Elongasi dari sampel yang dilas dengan elektroda berdiameter kecil  $\varnothing 2,6$  mm lebih besar dari pada sampel yang dilas dengan elektroda diameter besar yaitu  $\varnothing 4,0$ mm dan kekuatan sambungan turun lebih besar jika menggunakan elektroda  $\varnothing 4,0$ mm.

### Abstract

*Different electrode diameters will provide different heat input to the welding joint due to different amounts of electric current or different amperes. Heat input affects the strength of the welded joint because it affects the microstructure in the heat affected zone (HAZ). Large heat input will cause the HAZ to widen and grain coarsening which ultimately reduces the connection strength, so that electrodes with the same strength but different diameters will produce different connection strengths. After conducting research, the tensile strength of all weld metal from small diameter electrodes will be stronger than that of large diameter electrodes, namely  $\varnothing 2.6$  mm. The width of the heat affected area (HAZ) increases as the heat input increases. 2.85 for diameter 2, 6 mm and 4.15 for diameter 4.0, heat input due to differences in current consumption 15.45% for  $\varnothing 2.6$  mm and 24.25 % for  $\varnothing 4.0$ mm, Elongation of samples welded with small diameter electrodes  $\varnothing 2.6$  mm is greater than samples welded with large diameter electrodes, namely  $\varnothing 4.0$ mm and the connection strength drops greater if using electrodes  $\varnothing 4.0$ mm*

## PENDAHULUAN

Kekuatan sambungan las dipengaruhi banyak factor antara lain komposisi kimia, jenis elektroda, cacat las, perlakuan panas, proses produksi material, serta heat input atau masukan panas. Heat input akan mempengaruhi struktur mikro dan lebar heat affected zone (HAZ). Semakin besar heat input maka struktur mikro akan semakin tidak baik karena ukuran butir semakin besar dan HAZ smakin lebar.

Semakin besar diameter elektroda semakin besar besar juga arus listrik yang dipakai dan sebaliknya sehingga akan memberikan heat input yang berbeda serta akan mepengaruhi kekuatan sambungan las yang di dihasilkan. Dalam penelitian ini , kami akan meneliti pengaruh diameter elektroda terhadap kekuatan sambungan las akibat akibat perbedaan arus listrik yang dipakai, apakah berdampak pada penurunan kekuatan sambungan las dari diameter yang kecil ke diameter yang besar serta penurunan ini signifikan atau dapat diabaikan?. Dan sebagai data pembanding kami juga melakukan uji tarik terhadap all weld metal setiap diameter, dari data akan didapat apakah ada perbedaan kekuatan tarik dari setiap elektroda serta kami juga melakukan uji tarik pada logam induk untuk mengetahui kekuatan tariknya

Banyaknya factor yang mempengaruhi kekuatan sambungan las maka kami hanya melakukan uji tarik pada sambungan las, mengukur lebar HAZ, besarnya dilusi, dan elongasi , yang kami buat tanpa melakukan pengecekan terhadap perubahan struktur mikro pada HAZ, fasa intermetalik, perubahan kekerasan (hardness), tingkat pertumbuhan butir dan difusi hydrogen yang menyebabkan penggetasan dan pada akhirnya mempengaruhi kekuatan sambungan las karena keterbatasan alat yang yang dimiliki politeknik dananya cukup besar.

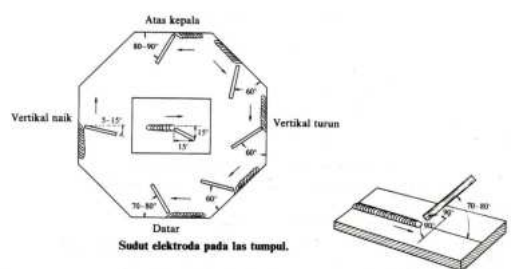
## TINJAUAN PUSTAKA

Pengelasan adalah penyambungan material dengan menggunakan panas atau tekanan atau keduanya dengan megggunakan atau tidak material pengisi (filler metal).

Penyambungan ini terjadi karena karena adanya ikatan antar atom dalam material yang disambung.atau dengan kata lain menyambung logam berarti mendekatkan atom-atom antara kedua material sedekat mungkin untuk memungkinkan terjadinya ikatan atom antar kedua material.

Pengelasan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain solid phase welding atau fusion weiding. Shielded metal arc welding (SMAW) atau las busur listrik dengan elektroda terbungkus yang paling banyak dipakai di Indonesia adalah salah satu fusion welding, artinya terjadi pencairan logam pengisi dan juga logam induknya sehingga terjadi dilusi atau tercampurnya logam induk dengan logam pengisi dengan prosentasi tertentu.

SMAW atau las busur elektroda terbungkus adalah pengelasan yang menggunakan elektroda yang dibungkus oleh fluks sebagai pelindung busur listrik terutama untuk melindungi kampuh las yaitu cairan logam sehingga terhindar campuran udara luar yang akan menyebabkan berbagai cacat antara lain oksidasi logam cair dan difusi hihrogen. Istilah – istilah yang lazim digunakan dalam welding engineering versi American Welding Society (AWS) seperti gambar di bawah ini:



Gambar 1 Berbagai jenis cara pengelasan  
 Sumber: Harsono Wiryosumarto, 2004

Base metal yaitu material induk yang disambung, filler metal yaitu logam pengisi, weld metal yaitu bagian logam yang cair saat proses pengelasan berlangsung baik dari logam pengisi maupun logam induk, heat affected zone(HAZ) yaitu bagian dari logam induk yang mengalami perubahan struktur mikro akibat siklus panas (thermal cycle).

Elektroda adalah logam pembangkit busur listrik sekaligus logam pengisi pada SMAW yang dibungkus dengan fluks atau serbuk yg juga ikut mencair serta menghasilkan gas sebagai pelindung busur, tetesan logam pengisi, dan menutupi kawah las. Batang elektroda dibuat dari kawat logam yang ditarik 9 – 16 kali reduksi penampang untuk menghasilkan diameter yang berbeda-beda sesuai keinginan. Tingkat reduksi penampang dari elektroda akan mempengaruhi kekuatan elektroda. Fluks atau serbuk pembungkus didisain dalam empat dalam empat kelompok yaitu: acid, rutile, cellulose, dan basic. Komponen dasar dari fluks adalah :

1. slag dan pembentuk gas pelindung
2. (lime atau rutile)
3. Bahan deoksidan (FeSi-B, FeMn-A)
4. Pengikat atau binders (silicate of potassium)

Untuk meningkatkan kekuatan baja ada beberapa metode penguatan baja :

1. Larutan padat (solid solution) yaitu dengan menambahkan unsur paduan pada baja baik larut intersisi maupun yang larut secara substitusi sehingga menghambat dislokasi.
2. Dislokasi yaitu dengan memperbanyak dislokasi, yang saling menghalangi dan tertumpuk di batas butir sehingga dibutuhkan energi yang lebih besar untuk dislokasi berikutnya
3. Presipitasi yaitu pengersan yang dicapai melalui difusi atom-atom yang larut kelewat jenuh dalam fasa alpa( $\alpha$ ) ke batas butir dan membentuk fasa baru (presipitat)
4. Penghalusan butir (grain refinement) Dengan butir yang halus maka banyak batas butir yang menghambat dislokasi.

Penghalusan butir adalah cara yang paling baik untuk meningkatkan kekuatan logam sesuai dengan hukum Hall-Petch bahwa kekuatan logam berbanding terbalik kuadrat diameter butirnya. Di samping itu penghalusan butir juga meningkatkan keuletan yang amat penting untuk material

yang digunakan untuk temperature dibawah 0<sup>0</sup>C (subzero). Salah satu hal ini yang mempengaruhi kekuatan sambungan las akibat adanya pengaruh panas yang digunakan untuk mencairkan logam terhadap logam induk khususnya pada daerah HAZ, dimana struktur mikronya berbeda dengan logam induk (base metal).

Ada beberapa hal yang akan menyebabkan turunnya kekuatan material antara lain perlakuan panas. Perlakuan panas dilakukan untuk memodifikasi sifat – sifat mekanik suatu material seperti kekerasan (hardness), kekuatan tarik (tensile strength), keuletan (ductile) dan mampu kerja (work ability). Pengelasan merupakan perlakuan panas terhadap heat affected zone (HAZ) sehingga mikro strukturnya berbeda dengan logam induk yang pada akhirnya memberikan kekuatan yang berbeda sehingga sambungan las biasanya putus pada HAZ.

Struktur yang terjadi di sambungan las dipengaruhi oleh :

1. Komposisi kimia dari material induk, bahan pengisi, dan fluks
2. Masukan panas
3. Laju pendinginan
4. Dilusi

Heat input adalah jumlah panas yang digunakan untuk mengelas persatuan panjang

$$\text{Heat Input} = \frac{\text{Voltase} \times \text{Amper} \times 60}{\text{Kecepatan pengelasan} \times 1000} \quad (\text{kJ/cm}) \quad (1)$$

Heat input adalah parameter yang sangat penting dalam pengelasan karena akan mempengaruhi ukuran HAZ, dan laju pendinginan. Heat input yang tinggi akan menyebabkan lebarnya HAZ dan laju pendinginan menjadi lebih lambat.

Dilusi yaitu prosentase logam induk yang ikut mencair dalam deposit sehingga akan mempengaruhi komposisi kimia deposit las apabila komposisi kimia elektroda berbeda dengan logam induk dan biasanya berbeda seperti yang digunakan dalam penelitian ini. Perubahan komposisi kimia seperti rumus dibawah ini :

$$\text{Komposisi Kimia Deposit Las} = \frac{A \cdot B}{A \cdot B + C \cdot D} \quad (\%)$$

Dimana :

- A = komposisi unsur logam induk (%)
- B = Besarnya dilusi yang terjadi (%)
- C = komposisi unsur dalam elektroda (%)
- D = 100% - Dilusi

Bagian yang berhubungan dengan kumpuh las atau fusion line di HAZ akan mempunyai temperatur yang paling tinggi dan bertahan sesuai dengan laju pendinginan. Bagian yang mempunyai temperatur diatas 910 °C akan bertransformasi seluruhnya menjadi austenit dan apabila mengalami pendinginan yang lambat akan menyebabkan pertumbuhan butir austenit dan apabila terjadi pendinginan yang cepat bias mengakibatkan retak dingin bila ada fasa yang getas terbentuk di HAZ.

Laju pendinginan dipengaruhi oleh : Besarnya heat input, Tebal plat, Temperatur awal dari plat. Dilusi adalah banyak prosentase base metal yang ikut mencair dan tercampur dengan logam pengisi.. Besarnya dilusi akan mempengaruhi komposisi kimia dari dari weld metal dan daerah fusion line karena atom karbon berdifusi pada temperature tinggi.

### METODE PENELITIAN

Bahan yang kami gunakan adalah baja St 42 dengan tebal plat 12 mm , elektroda E7013 jenis rutil untuk semua posisi dengan variasi diameter  $\phi$  2,6 mm,  $\phi$  3,2 mm , dan  $\phi$  4,0 mm. Adanya perbedaan kekuatan logam induk dengan kekuatan elektroda menurut kelasnya dimaksudkan untuk menghindari terjadinya daerah putus di dalam deposit las sehingga digunakan elektroda yang lebih kuat minimal 10% dari kekuatan logam induknya agar pada saat uji tarik terjadi putus diluar deposit las

Komposisi kimia dari logam induk dan elektroda yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan data produksi dari plat dan elektroda berikut ini :

Tabel 1. Komposisi Kimia Logam Induk dan Elektroda

Material	C (%)	Mn (%)	Si (%)
Logam Induk	0,2	0,35	1,3
Elektroda	0,05	0,7	0,5

Besar arus (I) yang digunakan untuk tiap diameter berbeda sesuai dengan dengan besar diameter elektroda. Polaritas yang kami gunakan adalah polaritas lurus atau DCEN. Kecepatan pengelasan yang dipakai adalah sama untuk ssetiap jenis elektroda yaitu 16 cm/menit sedangkan besarnya tegangan diukur pada mesin las yang sedang dipakai. Saat pengelasan logam induk kami tidak melakukan preheat atau pemanasan awal karena karbonya rendah yaitu sekitar 0,23 % C dan tebalnya tidak lebih dari 25 mm, sedangkan temperature antar pass di bawah 100°C dengan menggunakan kapur indicator. Heat input yang pakai untuk setiap elektroda akan berbeda seperti data berikut:

Tabel 2. Parameter pengelasan sampel.

Diameter Elektroda(mm)	Arus Listrik (A)	Kecepatan Pengelasan(cm/menit)	Tegangan (V)	Heat Input (kJ/cm)
$\phi$ 2,6	80	18	23	6,2
$\phi$ 3,2	110	18	24	8,8
$\phi$ 4,0	150	18	26	13

Ukuran sampel untuk tiap – tiap test pice adalah seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2. Sampel Sambungan Las dan Lokasi Spesimen

Jumlah specimen yang diuji tarik untuk setiap jenis sampel atau setiap elektroda adalah 3 buah . Lokasi pengambilan specimen pada sampel pengelasan seperti sketsa di atas. Lokasi sampel dan III mempunyai residual stress yang rendah dan lokasi II mempunyai residual stress yang paling tinggi.

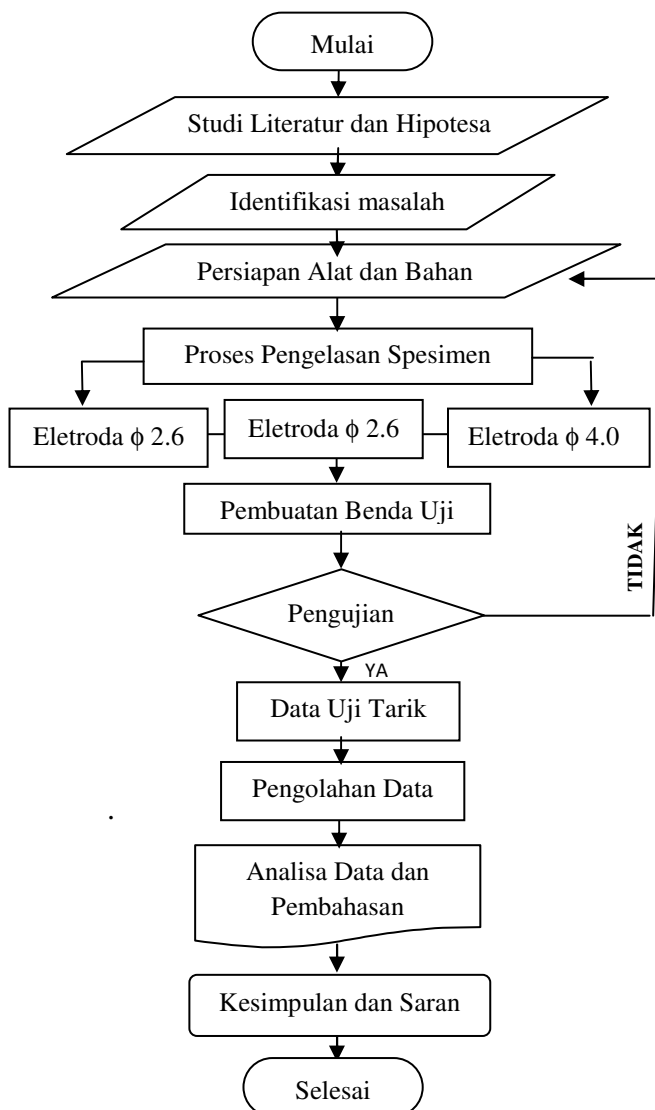
Lebar daerah yang terpengaruh panas (HAZ) untuk setiap elektroda diukur dengan mengamati makro etsa, hanya satu sampel untuk tiap elektroda, sedangkan besarnya dilusi juga diukur lewat sampel yang sama.



Untuk pengelasan sampel all weld metal, bahan yang kami gunakan adalah St 42 dengan tebal 36mm dengan menggabungkan 3 (tiga) untuk sampel sambungan las diatas dengan pameter pengelasan yang sama seperti pada table 1. Jumlah specimen uji tarik dari all weld metal hanya satu buah karena hanya sebagai pembanding kekuatan sambungan dengan kekuatan tarik elektrodanya, Ukuran sampelnya sperti gambar berikut:



Gambar 3. Sampel All Weld Metal



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil uji tarik untuk all weld metal di peroleh data sebagai berikut:

Tabel 3. Kekuatan Tarik All Weld Metal

Bahan	Kekuatan Tarik Bahan St 42 ( $\sigma_t$ ): (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongasi (%)
φ 2,6 mm	48,31	22,23
φ 3,2 mm	47,21	20,21
φ 4,0 mm	46,15	20,15
Logam induk	41,3	19,83

Dan sebagai data pembanding kami juga melakukan uji tarik untuk logam induk yang dilas sebagai sampel sambungan Hasil uji tarik yang kami lakukan dari 3 (tiga) specimen dengan kekuatan tarik rata-rata 41,3 kg/mm<sup>2</sup> dan elongasi rata – rata 19,83 % seperti pada tabel 3 di atas

Dari hasil pengelasan sampel diperoleh jumlah pass dan layer yang berbeda pada tiap diameter elektroda. Perbedaannya seperti data berikut :

Tabel 4. Jumlah Rata -Rata Pass dan Layer

Ø elektroda	φ 2,6 mm	φ 3,2 mm	φ 4,0 mm
<b>Kampuh las</b>			
Jml Pass	8	6	4
Jml Layer	6	4	4

Perbedaan jumlah pass dan layer seperti tabel diatas adalah akibat dari perbedaan diameter elektroda dengan kecepatan pengelasan yang sama. Dengan kecepatan pengelasan yang sama, sehingga menghasilkan ketebalan deposit las yang berbeda. Untuk diameter yang besar tentunya akan memberikan vulome deposit las yang besar untuk panjang yang sama. Perbedaan jumlah pass dan layer ini juga menyebabkan jumlah pemanasan yang berlangsung pada setiap sampel sehingga akan mengalami perlakuan panas yang berbeda yang tentunya akan mempengaruhi struktur HAZ yang pada akhirnya mempengaruhi kekuatan sambungan yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena pass sebelumnya akan mengalami perlakuan panas berupa tempering atau normalisai akibat adanya panas dari pengelasan pass berikutnya.

Dari hasil uji tarik all weld metal pada table 2 terlihat adanya penurunan kekuatan tarik dari 48,31 kg/mm<sup>2</sup> untuk  $\phi$  2,6 mm ke 46,15 kg/mm<sup>2</sup> untuk  $\phi$  4,0 mm atau sekitar 4 %. Menurut teori deformasi yaitu thermomechanical treatment bahwa terjadinya deformasi yang berulang melalui reduksi penampang akan menghaluskan butir dan menurunkan titik cair dari material tersebut dimana diameter  $\phi$  2,6 mm paling banyak mengalami deformasi deformasi ulang karena baik diameter  $\phi$  2,6 mm maupun diameter  $\phi$  4,0 mm di reduksi dari penampang awal yang sama. Demikian juga pada nilai elongasi yang menunjukkan keuletan cenderung turun dari diameter kecil ke diameter yang besar yaitu dari 22.3% untuk diameter  $\phi$  2,6 mm ke 20,15% untuk diameter atau turun sebesar 9%. Ada kesulitan yang kami alami untuk melihat struktur mikronya karena peralatan yang dimiliki politeknik tidak memadai untuk mengecek strukturnya apakah ada perbedaan karena adanya perbedaan parameter pengelasan khususnya heat input khususnya besar butir. Lebar daerah yang terpengaruh panas (HAZ) untuk masing – masing sampel pengelasan adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Lebar HAZ

Elektroda	Ukuran HAZ (mm)	Dilusi (%)
$\phi$ 2,6 mm	2,85	15,45
$\phi$ 4,0 mm	4,15	24,25

Dari table diatas terbukti adanya perbedaan lebar HAZ untuk masing – masing elektroda dari 2,85m untuk  $\phi$  2,6 mm ke 4,35 mm untuk diameter  $\phi$  4,0 mm atau sebesar 45,6% suatu kenaikan yang besar, hal ini di akibatkan oleh adanya perbedaan heat input cukup besar seperti pada tabel 1 diatas dari 6,2 kJ/cm untuk elektroda  $\phi$  2,6 mm dengan 13 kJ/cm untuk elektroda  $\phi$  4,0 mm. Dengan bertambahnya daerah HAZ seiring dengan naiknya heat input maka luas daerah yang telah berubah strukturnya juga bertambah luas.

Dilusi yang terjadi pada setiap sampel juga berbeda setiap jenis diameter seperti tabel 5, dari tabel diatas terlihat bahwa naiknya heat input juga meningkatkan dilusi yang terjadi yaitu dari 15,45% untuk elektroda  $\phi$  2,6 mm dengan 24,25% untuk elektroda  $\phi$  4,0 mm atau sebesar 56,9% dengan perbedaan heat input sebesar 6,8 kJ/cm. Dilusi ini akan mempengaruhi komposisi kimia deposit las maupun HAZ yang pada akhirnya akan mempengaruhi kekuatan sambunganlas, karena komposisi kimia menentukan struktur mikro yang mungkin terjadi. Misalnya dengan dilusi 24,25% akan memberikan kandungan karbon pada deposit las sebesar 0,086 %C dari pada dilusi 15,45% yang hanya sebesar 0,073 %C karena kandungan karbon logam induk lebih besar daripada elektroda. Dari segi kandungan karbon dilusi yang besar akan menaikkan kekuatan deposit tetapi menyebabkan lebarnya HAZ seperti pada tabel 5. Dari hasil uji tarik diperoleh data kekuatan tarik rata- rata seperti pada tabel 6 di bawah ini :

Tabel 6. Kekuatan Tarik Rata-Rata Dari Tiap Sampel Bahan St. 42

Elektroda	Kekuatan Tarik Rata <sup>2</sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongasi (%)
$\phi$ 2,6 mm	38,45	19,10
$\phi$ 3,2 mm	36,25	18,23
$\phi$ 4,0 mm	35,37	17,75

Dari tabel diatas jelas terlihat adanya penurunan kekuatan tarik dari sampel yang dilas dengan elektroda  $\phi$  2,6 mm dengan heat input 6,2 kJ/cm menghasilkan kekuatan tarik sebesar 38,45 kg/mm<sup>2</sup> dengan sampel yang dilas elektroda memakai elektroda  $\phi$  4,0 mm dengan heat input 13 kJ/cm hanya menghasilkan kekuatan tarik sebesar 35,37 kg/mm<sup>2</sup>. Bila dibandingkan dengan kekuatan tarik logam induknya yaitu sebesar 41,3 kg/mm<sup>2</sup> maka sampel pertama hanya mengalami penurunan kekuatan sebesar 2,85 kg/mm<sup>2</sup> atau turun sekitar 7 % dari kekuatan logam induknya, sedangkan sampel yang dilas dengan elektroda yang paling besar kekuatannya turun sebesar 5,93 kg/mm<sup>2</sup> atau turun sekitar 14

% dari kekuatan logam induk atau base metal.

Penyebab turunnya kekuatan tarik dari sampel yang dilas dengan elektroda yang besar atau menggunakan heat input yang besar adalah akibat tingginya temperature di HAZ dan menyebabkan laju pendinginan yang lebih lambat. Pendinginan yang lebih lambat akan menyebabkan pertumbuhan butir austenit atau pengasaran butir di HAZ dan sesuai dengan teori dasar bahwa pengasaran butir akan menurunkan kekuatan. Karena butir yang kasar mempunyai batas butir yang sedikit untuk menghambat dislokasi yang terjadi sehingga tidak diperlukan gaya yang besar untuk melakukan deformasi, sedangkan pada butir yang lebih halus mempunyai batas butir yang lebih banyak untuk menghambat dislokasi oleh karenanya dibutuhkan gaya yang lebih besar untuk melakukan deformasi. Penyebab turunnya kekuatan sambungan las juga diakibatkan oleh cacat – cacat mikro yang merupakan pusat konsentrasi tegangan pada saat mengalami beban. Akibat adanya cacat mikro ini maka tidak perlukan waktu untuk inisiasi retak tetapi langsung pada rambatan retak dari cacat mikro tersebut.

Pengasaran butir juga mengakibatkan penurunan keuletan sambungan yang ditandai dengan menurunnya elongasi atau prosentase pertambahan panjang setelah putus seperti pada tabel 6 dari 19,10% untuk sampel yang menggunakan elektroda  $\phi$  2,6 mm ke 17,75% untuk sampel yang menggunakan elektroda  $\phi$  4,0 mm hal ini dikibatkan oleh mudahnya terjadi dislokasi akibat pembebanan. Penurunan elongasi juga sebagai akibat adanya cacat mikro pada sambungan las. Cacat mikro ini akan mengurangi jumlah atom yang berikatan dalam sambungan las.

Prosentase pengasaran butir belum bisa kami tampilkan dalam penelitian ini karena terbatasnya peralatan yang dimiliki oleh laboratorium. Pada hal akan lebih menyakinkan kami jika kami dapat menyertakan tingkat pertumbuhan butir

akibat naiknya heat input yang digunakan dalam pengelasan

Dari sampel – sampel yang kami uji tarik rata-rata putus diluar deposit las karena kekuatan tarik deposit lebih tinggi dari pada kekuatan tarik logam induk tetapi putus di sekitar HAZ karena HAZ adalah bagian yang paling lemah dari sambungan las khususnya fusion welding itulah sebabnya HAZ merupakan bagian yang paling diperhatikan dalam desain sambungan las

## KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan di atas maka kami dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik all weld metal dari elektroda diameter kecil akan lebih kuat dari pada elektroda diameter yang besar yaitu  $\phi$ 2,6 mm
2. Lebar daerah yang terpengaruh panas (HAZ) naik seiring naiknya heat input .2,85 untuk diameter 2,6 mm dan 4,15 untuk diameter 4,0
3. Dulisi yang besar terjadi pada sampel yang menggunakan elektroda diameter yang besar sebagai akibat tingginya heat input karena perbedaan pemakaian arus 15,45% untuk  $\phi$ 2,6 mm dan 24,25 % untuk  $\phi$  4,0mm
4. Elongasi dari sampel yang dilas dengan elektroda berdiameter kecil  $\phi$ 2,6 mm Lebih besar dari pada sampel yang dilas dengan elektroda diameter besar yaitu  $\phi$  4,0mm
5. Kekuatan sambungan las dipengaruhi oleh besarnya diameter elektroda yang digunakan yaitu kekuatan sambungan turun lebih besar jika menggunakan elektroda  $\phi$  4,0mm

## REFERENSI

- [1] Balai Besar bahan dan Barang Teknik, 2004, *Handbook For International Welding Engineer Course*
- [2] Harsono Wiryosumarto, 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*. PT Pradnya Paramita, Jakarta

- [3] W Kenyon, 2002 , *Dasar-Dasar Pengelasan*, Erlangga,Jakarta
- [4] Amstsead. BH. 1993. *Teknik Mekanik Jilid 1* Jakarta Airlangga.
- [5] Brand d. A. 1985. *Metalurgi Fundamentals*, South Hollan. Will Cox Company
- [6] D.J.O.Brandit, 1995, *The manufacture of iron and steel*, English Universities Press
- [7] Bradbury.EJ. 1990. *Dasar Metalurgi untuk rekayasawan*, Jakarta. Gramedia Pustaka Utama
- [8] Groenendijk. G. 1984. *Pengujian Material*, Jakarta, Bina Cipta
- [9] Rajan. TJ. Sharma. 1997 *Heat Treatment Principlea and Tecniques*. New Delhi. Prantice Hall of India Private Limited
- [10] Sudira Tata. 1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta, Pradya Paramita
- [11] Vliet V. 1984. *Teknologi Untuk Bangunan Mesin Bahan-bahan I*, Jakarta, Airlangga
- [12] Vohdin K.W. 1982. *Mengolah Logam*, Jakarta, Pradya Paramitha
- [13] W.R. Lewis, 2003, *Notes on Soldering*, Then Tin Research Institute