

PENGARUH VARIASI KUAT ARUS PENGELASAN TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN SAMBUNGAN LAS PLATE CARBON STEEL ASTM 36

Adi Nugroho^{1*} Eko Setiawan²

^{1,2} Progam Studi Teknik Industri Universitas Putera Batam,
Jalan R. Soeprapto, Muka Kuning, Batam, Kepulauan Riau

*Email: aaddinugroho@gmail.com

Abstract

This study aims to determine the effect of variations in the welding current to tensile strength and hardness welding SMAW with electrode E7016 on plate carbon steel ASTM A36 with a thickness 10 mm. large variations in use of welding current is 90 amps, 100 amps, 110 amps and 120 amps. This research was carried out by making spesiment test with the variation of welding current at 90 amperes, 100 amperes, 110 amperes and 120 amperes hereinafter spesiment test carried tensile testing and hardness to seek information influences that caused by the variation of welding current to the tensile strength and hardness of the welded joints. The results showed that the highest tensile strength (Ultimate Tensile Strength) were obtained on a sample of 110 amperes with value - average UTS at 467.78 MPa. While the highest hardness values obtained on a sample of 120 amperes with value - average in the region of 191 HV HAZ and in the region of 228 HV Weld metal.

Keywords: Carbon Steel Plate, ASTM A36

1. Pendahuluan

Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas (Wirjosumarto, 2000). Berdasarkan definisi dari *American Welding Society* (AWS) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Secara singkat, dapat dijabarkan bahwa proses pengelasan merupakan sambungan dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Salah satu faktor yang mempengaruhi, kualitas hasil penyambungan logam adalah sifat logam (Wirjosumarto, 2000). Kondisi ini sangat bergantung pada perubahan suhu yang terjadi pada saat proses penyambungan karena menggunakan panas yang mempunyai peran yang sangat sensitif pada hasil pengelasan. Selama proses pengelasan berlangsung, logam akan mengalami siklus termal yaitu proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi secara cepat di daerah pengelasan sehingga terjadi proses metalurgi, deformasi yang berpengaruh pada kualitas hasil pengelasan seperti jenis cacat yang dihasilkan, ketangguhan sambungan, kekuatan tarik (*tensile strength*) serta struktur mikro logam (Teguh Wiyono, 2012).

Pengelasan *Shield Metal Arc Welding* merupakan teknik pengelasan yang di kelompokkan ke dalam teknik pengelasan menggunakan busur gas dan fluk. Pada teknik pengelasan ini bahan atau material logam penyambung (elektroda) berupa logam yang telah dilapisi *oleh fluks* (slag las). Lapisan ini berfungsi untuk melindungi logam dari gas oksidasi luar (Mizhar susri *et al*, 2014). Pada proses pengelasan logam dengan teknik pengelasan *Shield metal arc welding* (SMAW) kuat arus listrik yang digunakan dalam proses penyambungan logam merupakan indikator penting yang perlu di perhatikan, Hal ini di karenakan kuat arus listrik menentukan besarnya panas yang di hasilkan dari busur listrik pada nyala di ujung electrode yang di gunakan. Semakin besar kuat arus listrik yang di berikan maka semakin besar pula (*heat input*) panas yang di hasilkan untuk mencairkan logam dasar dan logam penyambung (elektroda), dan sebaliknya semakin kecil kuat arus yang di berikan maka semakin kecil pula panas yang di hasilkan untuk mencairkan logam induk dan logam penyambung atau elektroda (Joko santoso, 2006).

Tegangan listrik yang digunakan pada teknik ini berkisar antara 23- 45 Volt, dan untuk pencairan menggunakan arus listrik hingga mencapai antara 80-200 amper. Dikondisi aktualnya, teknik pengelasan seperti ini memiliki

beberapa kelemahan. Salah satunya terjadinya kontaminasi gas yang berasal dari luar area pengelasan (Nastiti Gemi *et al*, 2014). Pada perusahaan *Balance Engginer Construction Specialist* Batam (BEC spesialis batam) aktifitas pengelasan menggunakan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) untuk proses penyambungan *plate carbon steel* ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm pada spiderlink yang di gunakan untuk menahan malcetakan pada pengecoran cerobong asap konstruksi pembangkit listrik. Proses pengelasan menggunakan standar AWS (*american welding society*) dimana pengelasan menggunakan SMAW arus listrik polaris terbalik DC- dan menggunakan electrode E7016 diameter 3.2 .

Permasalahan yang ditemukan pada hasil sambungan *plate carbon steel* ASTM A36 menggunakan pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) yaitu di temukan permasalahan *defect welding* diantaranya *defect undercut* pada bagian tepi logam las yang mengikis bagian batas antara logam induk dengan logam hasil pengelasan yang kemudian membentuk garis pemisah antara logam hasil pengelasan dengan logam induk yang di las. *Defect porosity* pada logam hasil pengelasan yaitu lubang- lubang kecil pada logam las yang dihasilkan pada saat pengelasan, serta *defect* yang sangat fatal pada pengelasan yaitu di temukan *defect crack* pada tepi sambungan logam las, kondisi ini mengakibatkan pada saat pemindahan *spaider link* Ke mal cetakan pengecoran hasil sambungan las tersebut tidak kuat menahan beban dari mal cetakan sehingga mengakibatkan crack tersebut membesar dan membuat sambungan patah.

Kekuatan sambungan las dari hasil proses pengelasan SMAW pada *plate carbon steel* ASTM A36 belum kuat untuk menahan beban yang di berikan sehingga diperlukan evaluasi teknis untuk mendapatkan kekuatan optimal dari sambungan las proses pengelasan SMAW pada *plate carbon steel* ASTM A36. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh arus pengelasan *shield metal arc welding* (SMAW) terhadap kekuatan sambungan las pada *plate carbon steel* ASTM A36 dan juga mencari berapa nilai arus pengelasan yang optimum untuk mendapatkan kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las yang baik, sehingga dari hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan evaluasi teknis dalam proses perbaikan kualitas pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) pada pengelasan *plate carbon steel* ASTM A36.

2. Landasan Teori

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Salah satu cara untuk mengurangi pengaruh buruk tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu prosedur pengelasan yang benar dan tepat, atau dicari arus, kecepatan pengelasan dan masukan panas yang optimal (wiriyosumarto,2000)

Berdasarkan definisi dari *American Welding Society* (AWS) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair.Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pada proses pengelasan logam dengan teknik pengelasan *Shield metal arc welding* (SMAW) kuat arus listrik yang digunakan dalam proses penyambungan logam merupakan indikator penting yang perlu di perhatikan, Hal ini di karenakan kuat arus listrik menentukan besarnya panas yang di hasilkan dari busur listrik pada nyalaan ujung electrode yang di gunakan, semakin besar kuat arus listrik yang di berikan maka semakin besar pula (heat input) panas yang di hasilkan untuk mencairkan logam dasar dan logam penyambung (elektroda), dan sebalik nya semakin kecil kuat arus yang di berikan maka semakin kecil pula panas yang di hasilkan untuk mencairkan logam induk dan logam penyambung atau elektroda (Joko Santoso, 2006)

2.1 Pengelasan *Shield Metal Arc Welding*

Merupakan pengelasan yang di klasifikasikan sebagai las busur gas dan fluk. pada proses pengelasan *Shield Metal Arc Welding* bahan penyambung (elektroda) berupa logam yang telah lapisan fluks (slag las) yang berfungsi melapisi logam las dari gas oksidasi dari luar (Mizhar Susri *et al*, 2014). Sebagaimana di jelaskan dalam *American Welding Society* (AWS) prinsip dari pengelasan *shield metal arc welding* adalah menggunakan panas dari busur listrik dari ujung sebuah *consumable* elektroda tertutup dengan tegangan listrik yang dipakai 23 - 45 Volt, dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 500 amper yang pada umum digunakan berkisar antara 80-200 amper. Pada Proses pengelasan *shield metal arc welding* sambungan las dapat terkontaminasi oleh gas oksidasi dari luar, hal ini perlu dicegah karena oksidasi metal merupakan senyawa yang tidak mempunyai kekuatan mekanis (Nastiti gemi *et al*, 2014). Bahan pengisi sambungan las (Elektroda) atau kawat elektroda terdiri dari dua bagian yaitu

bagian yang berselaput (fluks) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Sedangkan fungsi fluks sendiri adalah untuk melindungi logam cair dari pengaruh gas oksidasi dari lingkungan udara luar dan menghasilkan gas pelindung untuk menstabilkan nyala busur listrik (Mizhar susri et al, 2014). Kawat elektroda dibedakan menjadi elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam non ferro. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi harus benar benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material (Wirjosumarto, 2000). Klasifikasi kawat elektroda diatur berdasarkan standar *American Welding Society (AWS)*. Menurut standar AWS penomoran kawat elektroda dengan kode E_{XXXX} adalah sebagai berikut :

- E : Kawat elektroda untuk las busur listrik.
- XX : Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 Psi (60.000 Ib/in²) atau 42 kg/mm
- Y : Menyatakan posisi pengelasan, 1 berarti dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi
- Z : Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan arus AC Atau DC

Ketentuan pemilihan diameter kawat las dengan arus listrik pengelasan telah di atur didalam *American welding society* yang dapat di lihat pada table berikut ini:

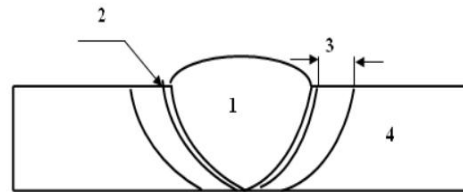
Tabel 1 Hubungan diameter elektroda dengan arus listrik pengelasan

Diameter Kawat las (mm)	Arus las (Amper)
1.6	25 - 45
2.0	50 - 75
2.5	70 - 95
3.2	95 - 130
4.0	135 - 180
5.0	155 - 240

Sumber: American welding society (AWS D1.1, 2010)

2.2 Daerah Pengaruh Panas (*Heat Affected Zone*)

Daerah pengaruh panas dalam proses pengelasan merupakan bagian yang sangat penting dalam proses pengelasan. Karena daerah ini akan berpengaruh pada kekuatan sambungan las. Struktur logam pada daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini dinamakan batas las (Akbar taufik et al, 2012).



Gambar 1 Daerah pengaruh panas pada pengelasan

Sumber : akbar taufik et al, 2012

Keterangan :

- 1) Logam Las (*Weld Metal*) adalah daerah dimana terjadi pencairan logam dan dengan cepat kemudian membeku. *Fusion Line* Merupakan daerah perbatasan antara daerah yang mengalami peleburan dan yang tidak melebur. Daerah ini sangat tipis sekali sehingga dinamakan garis gabungan antara *weld metal* dan H A Z.
- 2) H A Z merupakan daerah yang dipengaruhi panas dan juga logam dasar yang bersebelahan dengan logam las selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat, sehingga terjadi perubahan struktur akibat pemanasan.
- 3) Logam Induk (*Parent Metal*) merupakan logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat.
- 4) Distribusi temperatur yang terjadi pada saat proses pemanasan maupun pendinginan tidak merata pada seluruh material. Distribusi yang tidak merata ini terjadi baik dalam hal tempatnya pada material maupun bila ditinjau dari segi waktu terjadinya. Ketidak merataan distribusi temperatur inilah yang menjadi penyebab timbulnya deformasi pada struktur las. Sehingga untuk dapat menyelesaikan berbagai persoalan dari tegangan dan deformasi hasil pengelasan harus diketahui dahulu bagaimana distribusi

dari temperatur yang dihasilkan terhadap material las (Akbar taufik *et al*, 2012).

Pada proses pengelasan tidak semua energi digunakan untuk memanaskan elektroda dan logam las. Sebagian energi yang dihasilkan terserap ke lingkungan karena adanya kontak dengan udara lingkungan sekitar. Sehingga energi efektif yang digunakan dalam pengelasan dapat dirumuskan sebagai berikut (Akbar taufik *et al*, 2012):

$$Q = \mu \cdot U \cdot I \quad (1)$$

Keterangan

Q = net heat input / *effective thermal power* (W)

μ = Koefisien busur

U = daya busur (V)

I = arus busur (A)

Pada proses pengelasan, panas yang di hasilkan akan menentukan struktur mikro logam las yang erat kaitanya dengan kekuatan hasil sambungan las. 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 (Mizhar susri *et al*, 2014).

2.3 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dengan menarik suatu bahan sampai putus maka dapat diketahui bagaimana suatu bahan tersebut bereaksi terhadap gaya tarik dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang (Wirjosumarto, 2000). Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) bahan tersebut. Proses terjadinya deformasi pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang di akibatkan melemahnya gaya elektro magnetik setiap atom logam hingga terlepas ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum (Mizhar susri *et al*, 2014).

Rumus untuk mencari tegangan dapat di lihat di bawah ini :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{F}{A_0} \quad (2)$$

Keterangan :

ε = tegangan tarik (N/mm²)

L = panjang spesiment setelah patah (mm)

L₀ = panjang spesiment mula-mula (mm)

F = beban (N)

A₀ = luas penampang

atau dengan rumus berikut ini :

$$S_U = \frac{P_{maks}}{A_0} \quad (3)$$

Keterangan :

S_u = Kuat tarik

P_{maks} = Beban maksimum

A₀ = Luas penampang awal

2.4 Pengujian Kekerasan (*hardness test*)

Pengujian kekerasan dengan alat *vickers hardness testing machine*, bertujuan untuk menghitung kekerasan logam paduan tersebut karena nilai kekerasan setiap logam berbeda. Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya. Luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut ini:

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \quad (4)$$

Keterangan :

P = beban yang digunakan (kg)

D = panjang diagonal rata- rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan yang berhadapan (136⁰)

3. Metodologi Penelitian

3.1 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan observasi dan literature untuk membantu mengumpulkan informasi penelitian. Observasi bertujuan untuk memperoleh informasi langsung hasil pengujian sampel penelitian. Sedangkan literature digunakan untuk menggali informasi dari standar pengelasan, jurnal penelitian pengelasan, skripsi serta buku yang berkaitan dengan pengelasan sebagai referensi dalam proses pembuatan spesiment test pengelasan, spesiment test uji tarik dan uji kekerasan, serta perhitungan matematis dan uji statistik yang digunakan untuk mencari pengaruh dari variabel-variabel dalam penelitian ini dan juga bertujuan mencari nilai optimumnya.

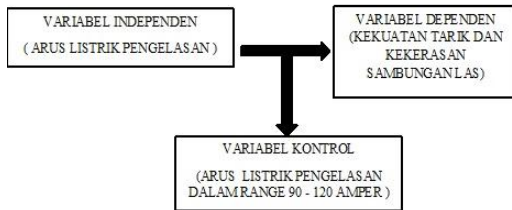
3.2 Metode Analisis Data

Untuk memperoleh hasil yang lebih objektif, penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif sebagai dasar analisis data. Pengujian terhadap hasil eksperimen meliputi korelasi (*pearson product moment*), normalitas sampai melakukan uji hipotesis untuk membuktikan

pendugaan. Model pendugaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

H_0 = Terdapat pengaruh signifikan antara arus listrik pengelasan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las pada *plate carbon steel* ASTM A36.

H_1 = Tidak ada pengaruh signifikan antara arus listrik pengelasan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las pada *plate carbon steel* ASTM A36.



Gambar 2 Kerangka Konsep Penelitian

4. Hasil Penelitian

4.1 Pengujian Tarik



Gambar 3 Sampel pengujian

Penelitian ini menggunakan variasi arus listrik sebesar 90 Amper, 100 Amper, 110 Amper dan 120 Amper. Hasil pengujian tarik masing-masing variasi arus dapat dilihat pada tabel 2. Masing-masing pengujian dilakukan replika sebanyak tiga kali.

Tabel 2 Hasil Pengujian Tarik Plate Carbon

	Sampel	90	100	110	120
Tensile test (Mpa)	1	360.7	400.4	468.2	426.9
	2	363.9	391.1	462.3	435.7
	3	355.7	401.1	472.	418.

Pada *spesiment* test pengelasan yang di beri perlakuan variasi arus pengelasan sebesar 90 amper, hasil uji tarik menunjukkan pada sampel pertama di dapatkan nilai tegangan maksimum (*Ultimate Tensile Strength*) yaitu sebesar 360.77 MPa, dan pada sampel ke dua di dapatkan nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) sebesar 363.93 MPa, dan pada sampel ke tiga di dapatkan nilai UTS nya sebesar 355.78 MPa. dari 3 pengulangan pada *spesiment* test dengan perlakuan variasi arus pengelasan sebesar 90 Amper di dapatkan nilai rata2 UTS nya sebesar 369.69 MPa.

Sedangkan pada *spesiment* test pengelasan dengan perlakuan variasi arus pengelasan sebesar 100 Amper, di dapatkan Nilai rata-rata Untuk hasil uji tarik sebesar 397.59 MPa. selanjutnya pada spesiment test pengelasan dengan perlakuan variasi arus pengelasan sebesar 110 Amper, di dapatkan nilai rata-rata hasil uji tarik sebesar 467.78 MPa. Pada spesiment test pengelasan dengan perlakuan variasi arus pengelasan sebesar 120 Amper, nilai tegangan maksimum (*Ultimate Tensile Strength*) yang didapatkan dengan rata-rata sebesar 426.89 MPa. jika di dibandingkan dengan nilai-nilai pada variasi arus pengelasan Amper 90, Amper 100, Amper 110, dari ketiga sampel variasi arus pengelasan tersebut terhadap kekuatan tarik meningkat. Namun pada variasi amper pengelasan 120 hasil uji tarik menurun jika di dibandingkan dengan hasil dari spesiment variasi arus pengelasan 110, meskipun hasilnya masih lebih besar dari pada sampel untuk variasi arus pengelasan 90 dan 100 Amper.

Penurunan nilai tegangan tarik pada amper 120 di sebabkan oleh pengaruh panas yang di hasilkan pada proses pencairan logam sambungan las dengan logam induk yang mempengaruhi pembentukan struktur mikro logam. Pada fase pemanasan yang cepat dan tinggi struktur logam las pada daerah pengaruh panas membentuk struktur *ferit- bainit* yang lebih banyak sehingga mengakibatkan logam sambungan las mengeras dan bersiat getas. Selain pengaruh struktur mikro logam, penurunan nilai tegangan tarik pada amper 120 di sebabkan oleh komposisi C (karbon) dan SI (silicon) yang terkandung pada material *plate carbon steel* ASTM A36.

Pada dasarnya sifat karbon dan silicon pada material berfungsi menambah sifat kekerasan dan keuletan material tersebut, semakin banyak unsur karbon dan silicon pada material maka sifat material akan lebih keras dan ulet (Wiriyosumarto, 2000), hanya saja pengaruh panas yang berlebih pada kandungan karbon dan silicon menyebabkan sifat kekerasan meningkat

dan menurunkan keuletan material tersebut, sehingga meningkatkan sifat getas dari material tersebut sehingga mudah patah (Wirjosumarto, 2000).

4.2 Pengujian Kekerasan (Vickers Hardness Test)

Rekapitulasi hasil pengujian kekerasan pada masing-masing variasi arus dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3 Hasil Pengujian Tarik (Amper)

		Daerah	90	100	110	120
Hardness Test	Haz		160	161	178	190
			149	160	176	185
			150	168	183	181
	Weld metal		148	181	203	227
			150	186	201	239
			150	189	203	218

Dari data hasil uji kekerasan (*Vickers Hardness Test*) di atas, dapat dilihat pada *spesiment test* pengelasan dengan besar arus pengelasan 90 amper dari tiga kali pengulangan di dapatkan nilai rata – rata hasil uji kekerasan pada daerah HAZ sebesar 153 HV dan pada daerah Weld Metal sebesar 149 HV. Untuk spesimen test pengelasan dengan besar arus 100 amper di dapat kan nilai rata – rata pada daerah HAZ sebesar 163 HV dan pada daerah Weld Metal sebesar 185 HV. Pada *spesimen test* pengelasan dengan besar arus pengelasan 110 amper di dapatkan nilai rata – rata pada daerah HAZ sebesar 179 HV dan pada daerah Weld Metal sebesar 202 HV. Untuk *spesiment test* pengelasan dengan besar arus pengelasan 120 amper di dapatkan nilai rata – rata hasil uji kekerasan tertinggi yaitu pada daerah HAZ dengan rata – rata 185 HV dan pada daerah Weld Metal dengan rata – rata sebesar 228 HV.

Tabel 3 menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai kekerasan pada spesimen yang di beri perlakuan variasi arus pengelasan yang berbeda. Hal ini di sebabkan oleh pengaruh besaran masukan panas yang di hasilkan dari arus pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* pada setiap spesimen test pengelasan baik pada daerah HAZ maupun pada Daerah Weld Metal. Semakin tinggi suhu panas yang di hasilkan dari arus listrik pengelasan maka laju pendinginan akan semakin lambat dan mempengaruhi bentuk kerapatan struktur mikro logam tersebut yang selanjutnya mempengaruhi sifat mekanis logam (Wirjosumarto, 2000). Perubahan struktur mikro

logam bergantung pada laju pendinginan suhu pengelasan dari suhu austenit sampai ke suhu kamar. laju pendinginan akan menentukan bentuk struktur mikro sambungan logam, pada laju pendinginan dari suhu austenit – ferit logam las yang berkomposisi karbon dan silikon dengan kadar komposisi 0.25 – 2.00 % struktur mikro yang terbentuk akan lebih kasar dan berbentuk ferit+perlit yang memiliki sifat mekanis yang keras namun getas dan mudah patah (Wirjosumarto, 2000).

4.3 Pengujian Korelasi (Pearson Product Moment).

a. Uji Korelasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap kekerasan pada daerah HAZ (*Vickers Hardness Test*).

Diketahui :

$$\sum X = 1260$$

$$\sum X^2 = 133800.00$$

$$\sum Y = 2041$$

$$\sum Y^2 = 349281$$

$$\sum X*Y = 21600$$

$$(\sum X)^2 = 1587600$$

$$(\sum Y)^2 = 347140$$

Untuk mencari nilai korelasi dari kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dihitung dengan menggunakan rumus *Pearson Product Moment*

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}}$$

$$r = \frac{216000 - \frac{(1260)(2041)}{12}}{\sqrt{(133800.00 - \frac{1587600}{12})(349281 - \frac{347140}{12})}}$$

$$r = \frac{216000 - 214305}{\sqrt{(133800.00 - 132300)(349281 - 28928.33)}}$$

$$r = \frac{1695}{\sqrt{(1500)(2140,92)}} = \frac{1695}{\sqrt{3211375}} = \frac{1695}{1792.03}$$

$$r = 0.946$$

Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh korelasi (hubungan) antara kuat arus pengelasan terhadap kekerasan sambungan las (*Vickers hardness test*) pada daerah HAZ yaitu sebesar 0.946. kategori hubungan antara kuat arus pengelasan kekerasan sambungan las (*Vickers hardness test*) pada daerah HAZ adalah sangat kuat. Artinya semakin besar arus pengelasan *Shielded metal Arc welding* pada proses penyambungan *plate carbon steel ASTM A36* maka akan semakin besar pula nilai kekerasan sambungan logam las pada daerah HAZ .

b. Uji Korelasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap kekerasan pada daerah Weld metal (*Vickers Hardness Test*)

Diketahui :

$$\sum X = 1260$$

$$\begin{aligned}\sum X^2 &= 133800 \\ \sum Y &= 2295 \\ \sum Y^2 &= 448975 \\ \sum X*Y &= 244770 \\ (\sum X)^2 &= 1587600 \\ (\sum Y)^2 &= 5267025\end{aligned}$$

Nilai korelasi kuat arus pengelasan *Pearson*

$$\begin{aligned}Product\ Moment\ r &= \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}} \\ r &= \frac{244770 - \frac{(1260)(2295)}{12}}{\sqrt{(133800.00 - \frac{1587600}{12})(448975 - \frac{5267025}{12})}} \\ r &= \frac{244770 - 240975}{\sqrt{(133800.00 - 132300)(448975 - 438918)}} \\ r &= \frac{3795}{\sqrt{(1500)(10057)}} = \frac{3795}{\sqrt{15085500}} = \frac{3795}{3884} \\ r &= 0.977\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, di peroleh informasi hubungan antara kuat arus pengelasan terhadap kekerasan sambungan las (*Vickers hardness test*) pada daerah Weld Metal yaitu sebesar 0.977. kategori hubungan antara kuat arus pengelasan kekerasan sambungan las (*Vickers hardness test*) pada daerah Weld Metal adalah sangat kuat artinya semakin besar arus pengelasan *Shielded metal Arc welding* pada proses penyambungan *plate carbon steel ASTM A36* maka akan meningkatkan pula besar nilai kekerasan sambungan logam pada daerah Weld metal . Dari data hasil uji kekerasan (*Vickers hardness test*) yang telah di lakukan dapat di lihat hubungan antara besar variasi arus pengelasan yang di gunakan dengan nilai kekerasan yang di hasilkan.

4.4 Uji Hipotesis

Pada uji hipotesis penelitian ini digunakan tingkat kepercayaan 95% atau $\alpha = 0.05$ dengan jumlah data 12, nilai T tabel dapat di cari dengan rumus:

$$T\ tabel: \alpha/2 ; n - k - 1$$

Dimana :

α = tingkat kepercayaan

n = jumlah data

k = jumlah variabel bebas

Nilai T hitung di cari sebagai berikut :

$$\begin{aligned}t_{hitung} &= \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \\ t_{hitung} &= \frac{0.760\sqrt{12-2}}{\sqrt{1-0.578}} \quad t_{hitung} = \frac{0.760(3.162)}{0.664} \\ &= \frac{2.413}{0.664} = 3.634\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas di dapatkan nilai T hitung = 3.634.

Nilai T tabel di cari sebagai berikut :

$$T\ tabel : \alpha/2 ; n - k - 1$$

$$T\ tabel = 0.05/2 ; 12 - 1 - 1$$

$$T\ tabel = 0.025 ; 10$$

$$T\ tabel = 2.228$$

Sedangkan untuk Nilai T hitung kekerasan (*Vickers hardness test*) pada daerah HAZ dan daerah Weld Metal dapat di cari sebagai berikut :

Nilai T hitung pada daerah HAZ(*Heat Affected Zone*)

$$\begin{aligned}t_{hitung} &= \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \\ t_{hitung} &= \frac{0.946\sqrt{12-2}}{\sqrt{1-0.894}} \\ t_{hitung} &= \frac{0.946(3.162)}{\sqrt{0.082}} = \frac{2.991}{0.324} = 9.231\end{aligned}$$

Nilai T hitung pada daerah Weld Metal

$$\begin{aligned}t_{hitung} &= \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \\ t_{hitung} &= \frac{0.977\sqrt{12-2}}{\sqrt{1-0.954}} \\ t_{hitung} &= \frac{0.977(3.162)}{\sqrt{0.460}} \\ &= \frac{3.089}{0.214} = 14.434\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai T hitung daerah HAZ = 9.231 > T tabel = 2.228 sehingga H0 diterima dan H1 di tolak. Di simpulkan bahwa terdapat pengaruh signifikan antara variasi kuat arus pengelasan terhadap kekerasan (*Vickers hardness test*) daerah HAZ sambungan Las pada *Plate carbon steel ASTM A36*.

Hasil perhitungan nilai T hitung daerah Weld Metal = 14.434 > T tabel = 2.228 sehingga H0 diterima dan H1 di tolak. Di simpulkan bahwa terdapat pengaruh signifikan antara variasi kuat arus pengelasan terhadap kekerasan (*Vickers hardness test*) daerah Weld Metal sambungan Las pada *Plate carbon steel ASTM A36*.

4.5 Nilai Optimum Kuat Arus Pengelasan (Standar AWS. D1.1)

Untuk mendapatkan kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las yang memenuhi standar pengujian pada *plate carbon steel ASTM A36*. Penelitian ini mengacu pada standar yang telah di tetapkan oleh AWS (*American Welding Society*) *D1.1 Structural Welding Code Steel* untuk pengujian kekuatan tarik (*Tensile Strength*) dan uji kekerasan (*Vickers Hardness Test*). Kuat Arus Pengelasan Optimum Untuk Mendapatkan Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*) yang Memenuhi Standar AWS D1.1.

Standar pengujian tarik (*tensile test*) pada sambungan pengelasan secara umum dijelaskan pada AWS D.1.1 *Structural Welding Code* tahapan dan proses pengujian tarik (*tensile test*) dan kriteria hasil uji tarik yang memenuhi standar (*accepted*). Kriteria yang memenuhi standar hasil uji tarik pada sambungan pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

harus lebih besar atau sama dengan 95% nilai UTS material yang di gunakan .

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh informasi bahwa nilai UTS rata-rata hasil uji tarik pada sampel uji tarik dengan perlakuan variasi amper 90 dan 100 tidak memenuhi kriteria standar (*accepted*) AWS. Nilai rata-rata UTS pada sampel uji tarik amper 90,100 sebesar 369.69 MPa dan sebesar 397.59 MPa tidak masuk pada kriteria yang telah di tetapkan

Sedangkan pada sampel uji tarik amper 110 dan 120 memenuhi kriteria standar yang telah di tetapkan yaitu rata – rata UTS amper 110, 120 sebesar 467.78 MPa dan sebesar 415.09 MPa. Namun jika di dibandingkan dengan nilai rata- rata UTS sampel Amper 110 dengan amper 120, nilai UTS rata-rata amper 110 lebih besar yaitu 467.78 MPa, sedangkan nilai rata – rata UTS sampel amper 120 hanya sebesar 415.09 Mpa .

Pada pengujian kekerasan amper 90 nilai rata-rata hasil uji kekerasan (*Vickers hardness test*) tidak memenuhi kriteria standar minimal yang telah di tetapkan. Rata-rata hasil uji kekerasan amper 100, nilai rata-rata kekerasan pada daerah HAZ juga tidak memenuhi kriteria standar minimal, namun pada daerah *Weld Metal* nilai rata-rata hasil uji kekerasannya memenuhi kriteria standar minimal. Meskipun pada daerah *Weld Metal* nilai rata- rata hasil uji kekerasannya memenuhi nilai kriteria standar hasil uji kekerasan pada amper 100 tetap dikatakan tidak memenuhi standar.

Selanjutnya pada nilai rata-rata hasil uji kekerasan amper 110, dapat di lihat baik pada nilai rata- rata kekerasan daerah HAZ mau pun daerah *Weld Metal*, keduanya memenuhi persyaratan standar minimal nilai kekerasan. Pada amper 120, nilai rata-rata hasil uji kekerasan pada daerah *Welding Metal* melebihi nilai kriteria standar maksimal yaitu sebesar 228 HV yang seharusnya tidak lebih dari 220 HV, meskipun nilai rata-rata hasil uji kekerasan pada daerah HAZ memenuhi kriteria standar minimal-maksimal, tetapi hasil uji kekerasan pada amper 120 tidak memenuhi standar yang telah di tetapkan. Dari penjelasan diatas, dapat diperoleh informasi bahwa pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* dengan arus listrik 110 amper pada plate carbon steel ASTM A36 akan di dapatkan nilai kekerasan optimal

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Variasi Kuat arus pengelasan *Shielded metal arc welding* pada penyambungan *plate*

carbon steel ASTM A36 mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las. Pengaruh yang di timbulkan variasi kuat arus pengelasan terhadap kekutan tarik berada pada kategori kuat, sedangkan pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekerasan berada pada kategori sangat kuat.

- 2) Besar kuat arus pengelasan optimum untuk mendapatkan tingkat kekuatan sambungan las yang memenuhi kriteria standar AWS. D1.1 sebesar 110 Amper.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM A53 Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless, (2013), *American Petroleum Institute (API), 1220 L. St., NW, Washington, DC 20005-4070*
- AWS D1.1/D1.1M Structural Welding Code – Steel, ANSI 2010, *550 N.W Lejeune Road Miami, FL. 33126*
- Gemi Nastiti., Sri Handani, Dan B. Bandriyana., (2014). Pengaruh Proses Oksidasi Pada Logam Paduan Zr-2,5Nb Untuk Material Bioimplan. *Jurnal Fisika Unand Vol. 3, No. 4, april 2014 ISSN 2302-8491 : 205 – 207*
- Joko santoso., (2006) Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las Smaw Dengan Elektroda E7018, *Jurnal teknik mesin UNES Vol, III, NO 11, 22 september 2006 ISSN 2102- 7491: 206 – 220*
- Sugiyono., Metode penelitian kualitatif kuantitatif dan R&D, (2014) Bandung, Cv Alfabeta, *ISBN 979-8433-64-0*
- Susri Mizhar, Ivan Hamonangan Pandiangan., (2014). Pengaruh Masukan Panas Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketangguhan Pada Pengelasan *Shield Metal Arc Welding (Smaw)* Dari Pipa Baja Diameter 2,5 Inchi. *Jurnal Dinamis Vol.II, No.14, Januari 2014 ISSN 0216-7492 : 16 – 21*
- Taufik Akbar, Budie Santosa., (2012). Analisa Pengaruh dari *Welding Sequence* Terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Pada *Circular Patch Weld Double Bevel Butt-Joint* Plat ASTM A36 Menggunakan Metode Element Hingga. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No.*

1(Sept. 2012) ISSN: 2301-9271: 352 – 357

Teguh wiyono. (2012), Penentuan Pengelasan Dissimiliar Alluminium Dan Pelat Baja Karbon Rendah Dengan Variasi Waktu Pengelasan Dan Arus Listrik. *Jurnal Foundry Vol. 2 No. 1 April 2012 ISSN 2087-2259 :20 – 25*

Wirjosumarto, H. dan Okumura, T. *Teknologi Pengelasan Logam*. 2000. Jakarta, PT. Pradya Paramita,