



## **PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PROSES PENGELASAN SMAW**

**Azwinur<sup>1</sup>, Saifuddin A. Jalil<sup>2</sup>, Asmaul Husna<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280 Buketrata, Lhokseumawe-Aceh  
Email: azwinur@pnl.ac.id

### **Abstrak**

Teknologi di bidang konstruksi terus berkembang terutama dalam perancangan dan desain produk. Salah satu konstruksi rancangan yang sering dijumpai adalah konstruksi baja. Dalam penerapannya konstruksi baja ini seringkali tidak dapat dihindari dari melakukan proses penyambungan logam atau yang sering disebut dengan pengelasan. Setiap proses pengelasan pasti berhubungan dengan arus pengelasan yang berfungsi untuk mendapatkan hasil sambungan yang baik atau lolos pengujian sesuai standart atau code yang dianut. Oleh karena itu pemilihan besarnya arus pengelasan sangat penting sebelum melakukan proses pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap sifat mekanik dengan menggunakan proses pengelasan SMAW. Penelitian ini menggunakan material baja karbon rendah. Material diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 80 A, 90 A dan 100 A. Jenis sambungannya adalah sambungan tumpul kampuh V tunggal dengan sudut 70°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik pada spesimen raw material yang tidak mengalami pengelasan dan spesimen yang mengalami pengelasan bahwa nilai kekuatan tarik yang paling tinggi terdapat pada arus 100 A yaitu sebesar 44.08 kgf/mm<sup>2</sup>, selanjutnya diikuti oleh arus 80 A yaitu sebesar 43.14 kgf/mm<sup>2</sup>, selanjutnya diikuti oleh nilai kekuatan tarik dari raw material yaitu sebesar 41.88 kgf/mm<sup>2</sup>, dan yang terakhir adalah arus 90 A yang nilainya sebesar 40.07kgf/mm<sup>2</sup>. Nilai pengujian kekerasan material pada arus 80 A, 90 A dan 100 A menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam las yaitu pada kelompok spesimen arus 80 A sebesar 96.5 HRC.

**Kata kunci:** Pengelasan, Kampuh V, kekerasan, kekuatan tarik, SMAW.

### **1. Pendahuluan**

Pada masa sekarang ini, teknologi di bidang konstruksi terus berkembang dan maju dengan pesat, terutama dalam perancangan dan desain produk. Salah satu konstruksi rancangan yang sering dijumpai adalah konstruksi baja. Dalam penerapannya konstruksi baja ini seringkali tidak dapat dihindari dan merupakan keharusan agar melakukan proses penyambungan logam, atau yang sering disebut dengan pengelasan. Hal ini mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi atau perbaikan logam. Pertumbuhan pembangunan konstruksi logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan. Pada konstruksi las secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya, agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, pipa pesat, atap rumah, rel, sarana transportasi, bejana tekan, rangka baja dan masih banyak yang lainnya.

Sambungan las adalah sambungan antara dua

atau lebih permukaan logam dengan cara mengaplikasikan pemanasan local pada permukaan benda yang disambung. Perkembangan teknologi pengelasan saat ini memberikan alternatif yang luas untuk penyambungan komponen mesin atau struktur. Beberapa komponen mesin atau struktur tertentu sering dapat difabrikasi dengan pengelasan, dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan pengecoran atau tempa, tentunya dengan memperhatikan kekuatan dari sambungan tersebut.

Pengelasan (*welding*) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam *continue*[1]. Las SMAW merupakan suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas dan menggunakan elektroda sebagai bahan tambahannya. Las SMAW kebanyakan dipilih karena proses yang mudah, ekonomis dan hasil lasnya pun ditinjau dari sifat mekanik dan fisis baik, serta biaya investasi yang rendah. Namun begitu kekurangan dari produk sambungan ini sangat tergantung oleh beberapa

faktor. Faktor tersebut antara lain juru las, elektroda, kuat arus, dan kecepatan pengelasan.

Arus yang digunakan untuk pengelasan sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil las karena terjadinya perubahan struktur akibat pendinginan sehingga berpengaruh terhadap kekuatan bahan[2]. Jika penggunaan arus semakin besar maka proses pencairan logam yang akan disambung akan semakin cepat. Dampak dari penggunaan arus yang besar antara lain adalah akan membuat hasil rigi-rigi las bertambah lebar, jika bahan yang dilas itu tipis maka dapat menyebabkan bahan kerja berlubang. Selain itu, pengaruh arus yang besar akan mempengaruhi struktur atom pada daerah lasan karena semakin panas saat proses pengelasan maka daerah pengelasan atau disebut sebagai daerah HAZ akan membuat pengaruh rekristalisasi yaitu menyebabkan terjadinya butir-butir pada daerah HAZ semakin bertambah besar. Jika butiran ini semakin besar maka akan menurunkan kualitas dan kekuatan sambungan las. Sedangkan logam yang tidak dilas tidak akan terpengaruh struktur atomnya. Sedangkan jika arus yang digunakan terlalu kecil maka panas yang ditimbulkan juga kecil sehingga akan berdampak pada pencairan logam yang disambung. Arus yang digunakan kecil maka pencairan logam yang disambung tidak akan menjadi sambungan yang baik atau tidak akan terjadi ikatan metalurgi yang baik antar logam yang akan disambung. Selain itu, dampak arus yang kecil juga dapat membuat elektroda sering lengket terhadap benda kerja[3].

Berdasarkan latar belakang diatas maka perlu dilakukan suatu penelitian untuk mempelajari kekuatan bahan lasan yang terjadi pada sambungan las dengan melakukan variasi arus 80 A, 90 A, 100 A pada pelat ST 45, adapun elektroda yang akan digunakan adalah jenis elektroda E7016 dan E7018 yang berdiameter 3.2 mm, maka setelah pengelasan selesai nanti akan dilakukan pengujian *tensile test* dan pengujian *hardness test* menggunakan metode *Rockwell* pada spesimen uji dengan tujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dan ketangguhan pada material. Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui kekuatan tarik pada material
2. Mengetahui nilai kekerasan pada material
3. Mengetahui pengaruh perbandingan arus yang digunakan 80 A, 90 A dan 100 A
4. Mempelajari sambungan las diantara ketiga arus diatas yang paling baik digunakan untuk penyambungan bahan baja karbon sedang menggunakan elektroda E7016 dan E7018 diameter 3.2 mm pada pengelasan SMAW.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe dengan kondisi dan peralatan yang disesuaikan guna memperoleh data tentang

pengaruh arus pengelasan terhadap uji tarik dan ketangguhan las SMAW dengan elektroda E7016 dan E7018.

### 2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama dua bulan, tempat dilakukan penelitian ini adalah :

- a. Proses pembentukan spesimen benda uji dan proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Produksi dan Pemesinan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
- b. Proses pengelasan dilakukan pada Laboratorium *Welding Technology*
- c. Uji tarik dan uji kekerasan dilakukan pada Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.

### 2.2 Bahan dan Alat Penelitian

Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

#### Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Spesimen
2. Elektroda

#### Alat Penelitian

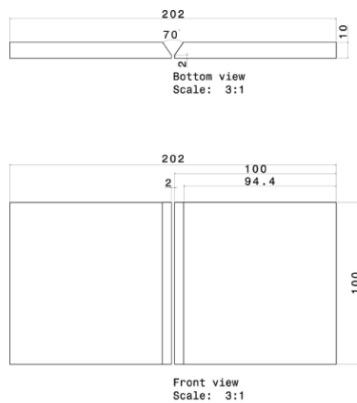
Adapun persiapan peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin frais
2. Peralatan pengelasan
3. Mesin las SMAW DC
4. Penggaris
5. Mesin Uji Tarik (GALDA BINI/ITALY)
6. Mesin uji kekerasan GNHEM
7. *Stopwatch*
8. Jangka sorong
9. Spidol permanen
10. Benda uji
11. Meteran

### 2.3 Proses Pengelasan

#### Proses Pembuatan Sampel Benda Uji

1. Spesimen las dipotong dengan ukuran 100×100×10 mm.
2. Setelah dipotong dilakukan pembentukan sudut kampuh V dengan sudut 70° menggunakan gerinda tangan.



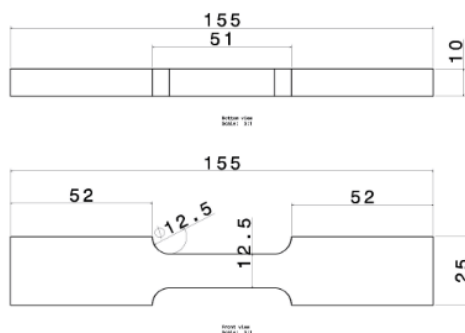
Gambar 2.1 Pembuatan kampuh V sudut 70°.

3. Dilakukan penyambungan dengan pengelasan pada sudut kampuh V dengan kuat arus masing-masing 80 Ampere, 90 Ampere, 100 Ampere.
4. Elektroda yang digunakan adalah jenis E7016 dan E7018 dengan diameter 3.2 mm, E7016 untuk pengelasan akar (*root pass*) sedangkan E7018 untuk pengisian dan *capping*.
5. Dilakukan pembentukan spesimen uji tarik berupa persegi panjang serta pembersihan spesimen dari sisa pengelasan dengan menggunakan mesin frais.

#### Dimensi Benda Uji Pengelasan

Adapun dimensi benda uji yang digunakan pada penelitian pengelasan ini adalah:

1. Bahan yang digunakan adalah pelat baja karbon.
2. Ketebalan pelat 10 mm.
3. Kampuh yang digunakan jenis kampuh V, sudut kampuh 70°
4. Bentuk spesimen benda uji mengacu standar untuk pengujian tarik[4]



Gambar 2.2 Spesimen.

#### Langkah-Langkah Pengelasan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengelasan adalah:

1. Mempersiapkan mesin las SMAW DC sesuai dengan pemasangan polaritas terbalik.
2. Mempersiapkan benda kerja yang akan dilas pada meja las.
3. Posisi pengelasan dengan menggunakan posisi pengelasan mendatar atau bawah tangan.

4. Mempersiapkan elektroda sesuai dengan arus dan ketebalan pelat dalam penelitian dipilih elektroda jenis E7016 dan E7018 dengan diameter 3.2 mm.
5. Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya, dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Ampere meter diatur pada angka yang telah ditentukan, selanjutnya mulai dilakukan pengelasan untuk spesimen dengan arus yang telah ditentukan. Bersamaan dengan hal itu dilakukan pencatatan waktu pengelasan.

#### 2.4 Proses Pembentukan Material Pengujian

Setelah proses pengelasan selesai maka dilanjutkan pembuatan spesimen sesuai dengan standar pengujian, yang nantinya akan diuji kekuatan bahan. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Meratakan alur hasil pengelasan dengan gerinda tangan.
2. Pemotongan ukuran material yang sesuai.
3. Setelah proses selesai kemudian benda kerja dirapikan dengan mesin frais
4. Setelah itu dilakukan pembuatan spesimen untuk pengujian tarik dan bending sesuai dengan standar.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material St 45 sebagai material uji dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik pada umumnya adalah parameter kekuatan (kekuatan tarik atau kekuatan luluh), parameter keliatan atau keuletan yang ditunjukkan dengan presentase perpanjangan dan presentase kontraksi atau reduksi penampang.

Pengujian dengan menggunakan mesin *Galda Bini/Italy* pada skala beban 100 KN dan suhu kamar. Spesimen pengujian terdiri dari pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik baja St 45, hasil pengelasan SMAW dengan elektroda E7018 dan kekuatan tarik daerah baja St 45. Gambar 3.1 sampai 3.4 merupakan gambar spesimen hasil pengujian uji tarik.

Data hasil pengujian tarik pada kelompok variasi arus pengelasan dan *raw material* yang sudah diperoleh kemudian dimasukkan kedalam persamaan yang ada. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1.



Gambar 3.1 Hasil pengujian pada raw material



Gambar 3.4 Hasil pengujian tarik pada specimen dengan arus 100 Ampere



Gambar 3.2 Hasil pengujian tarik pada specimen dengan arus 80 Ampere

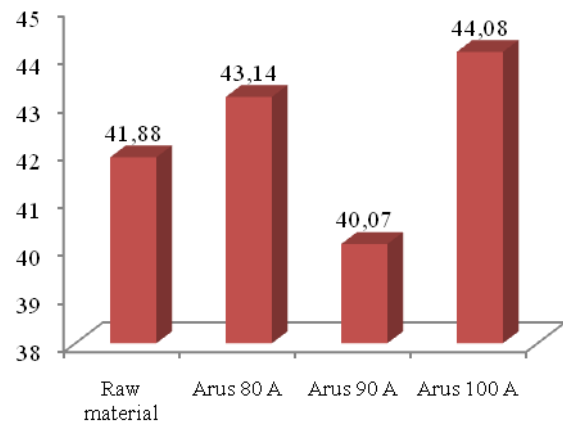


Gambar 3.3 Hasil pengujian tarik pada specimen dengan arus 90 Ampere

Tabel 3.1. Hasil pengujian tarik

Parameter	Spesimen			
	Raw material	Arus 80 A	Arus 90 A	Arus 100 A
$\sigma_{max}$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	418.8	42.92	42.94	47.59
	-	41.65	43.4	46.57
	-	44.87	33.87	38.1
<b>Rata-rata</b>	<b>41.88</b>	<b>43.14</b>	<b>40.07</b>	<b>44.08</b>
$\epsilon$ (%)	21.56	19.6	13.72	23.52
	-	17.64	21.56	19.6
	-	19.6	23.52	22.54
<b>Rata-rata</b>	<b>21.56</b>	<b>18.94</b>	<b>19.6</b>	<b>21.88</b>

Hasil pengujian tarik (*tensile test*) tersebut bisa disajikan juga dengan grafik, seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



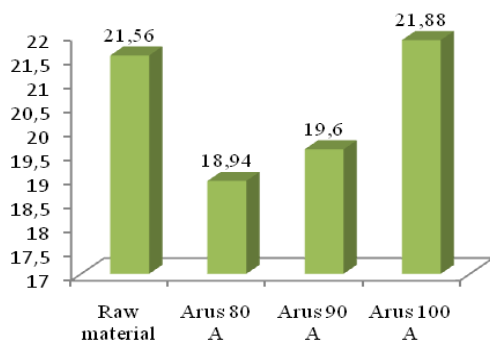
Gambar 3.5. Diagram untuk tegangan tarik baja St 45.

Nilai kekuatan tarik untuk *raw material* adalah 41.88 kgf/mm<sup>2</sup>. Nilai kekuatan tarik untuk kelompok 80 A adalah 43.14 kgf/mm<sup>2</sup>, ini berarti mengalami kenaikan sebesar 1.26 dari kelompok



*raw material*. Nilai kekuatan tarik untuk kelompok 90 A adalah  $40.07 \text{ kgf/mm}^2$ , ini berarti mengalami penurunan dari kelompok *raw material* dan kelompok 80 A dikarenakan terjadi cacat pada pengelasan. Nilai kekuatan tarik pada kelompok 100 A adalah  $44.08 \text{ kgf/mm}^2$ . Berarti nilai kekuatan tarik pada kelompok ini lebih besar dari pada kelompok *raw material*, arus 80 A dan 90 A.

Pada gambar 3.6, perpanjangan untuk kelompok *raw material* adalah sebesar 21.56%. Nilai perpanjangan untuk kelompok arus 80 A adalah sebesar 18.94%, mengalami penurunan sebesar 2.62%. Pada arus 90 A nilai perpanjangannya adalah 19.6%, mengalami kenaikan sebesar 0.66% dari pada perpanjangan arus 80 A, tetapi nilai perpanjangan ini masih di bawah *raw material*. Nilai perpanjangan arus 100 A adalah sebesar 21.88%, ini menunjukkan bahwa nilai perpanjangannya naik sebesar 2.28% dari arus 80 A dan perpanjangannya di atas *raw material* sebesar 0.32%.



Gambar 3.6. Grafik untuk regangan.

### 3.2 Hasil Uji Kekerasan

Untuk pengujian kekerasan menghasilkan data dari nilai kekerasan kelompok variasi arus pengelasan. Pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan Model HR-150 A *made in* Taiwan. Hasil uji kekerasan diambil dari empat daerah pengelasan yaitu daerah logam las, daerah HAZ 1, daerah HAZ 2 dan daerah logam dasar. Adapun untuk nilai kekerasan pada spesimen tanpa pengelasan terdapat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Angka pengujian kekerasan untuk spesimen tanpa pengelasan

Daerah pengujian	Titik	Angka kekerasan titik pengujian spesimen (HRC)
Logam dasar	1	96.2
	2	87.5
	3	82
	4	91.5
<b>Rata-rata</b>		<b>89.3</b>

Adapun untuk nilai kekerasan pada proses pengelasan dengan memvariasikan arus yaitu 80 A, 90 A, dan 100 A seperti yang terlihat pada tabel 3.3.

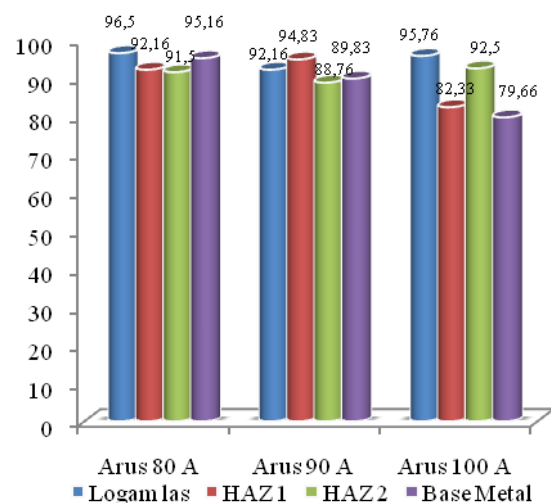
Hasil angka kekerasan pada spesimen yang

telah dilakukan perlakuan pengelasan maka, akan ditampilkan dengan grafik yaitu seperti gambar 3.7.

Dari tabel 3.3 dan gambar 3.7 dapat disimpulkan bahwa untuk arus 80 A angka kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam las yang angkanya mencapai 96.5 HRC. Kemudian diikuti dengan daerah base metal yang mempunyai nilai sebesar 95.16 HRC, angka tersebut turun sekitar 1.34 HRC. Selanjutnya diikuti dengan angka kekerasan daerah HAZ 1 yang nilainya 92.16, nilai ini turun dari nilai kekerasan logam las sekitar 4.34 HRC dan juga turun dari nilai kekerasan base metal sekitar 3 HRC. Selanjutnya nilai HAZ 2 yaitu 91.5 HRC, nilai ini turun dari logam las sekitar 5 HRC, turun dari nilai base metal sekitar 3.66 HRC dan turun dari nilai HAZ 1 sekitar 0.66 HRC.

Tabel 3.3 Angka pengujian kekerasan untuk spesimen variasi arus

Daerah pengujian	Spesimen	Angka Kekerasan Pada Titik Pengujian		
		Arus 80 A	Arus 90 A	Arus 100 A
Logam las	1	98	93	94
	2	95	94.5	96.8
	3	96.5	89	96.5
	<b>Rata-rata</b>	<b>96.5</b>	<b>92.16</b>	<b>95.76</b>
HAZ 1	1	92	85.5	78.5
	2	92.5	99.5	79.5
	3	92	99.5	89
	<b>Rata-rata</b>	<b>92.16</b>	<b>94.83</b>	<b>82.33</b>
HAZ 2	1	82	93	85
	2	99.5	79.3	97.5
	3	93	94	95
	<b>Rata-rata</b>	<b>91.5</b>	<b>88.76</b>	<b>92.5</b>
Logam dasar	1	93	78	80
	2	94	97	78
	3	98.5	94.5	81
	<b>Rata-rata</b>	<b>95.16</b>	<b>89.83</b>	<b>79.66</b>



Gambar 3.7 Diagram kekerasan terhadap arus pengelasan

Untuk arus 90 A angka kekerasan tertinggi terdapat pada daerah HAZ 1 yang mencapai sekitar 94.83 HRC. Angka ini naik sekitar 2.67 HRC dari angka kekerasan HAZ 1 pada arus 80 A. Selanjutnya diikuti dengan angka logam las yaitu sebesar 92.16 HRC, angka ini turun sekitar 2.67 HRC dari nilai kekerasan HAZ 1 dan dari logam las pada arus 80 A turun sekitar 4.34 HRC. Selanjutnya diikuti oleh nilai kekerasan base metal yang mencapai sekitar 89.83 HRC, nilai ini turun dari logam las sekitar 2.33 HRC dan dari nilai kekerasan yang terdapat pada arus 80 A turun sekitar 5.33 HRC. Dan selanjutnya diikuti oleh nilai kekerasan HAZ 2 yaitu mencapai 88.76 HRC, nilai ini turun dari base metal sekitar 1.07 HRC. Dibandingkan dengan nilai HAZ 2 yang terdapat pada arus 80 A, turun sekitar 2.74 HRC.

Untuk arus 100 A angka kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam las yaitu sebesar 95.76 HRC. Angka ini naik sekitar 3.6 HRC dari pada logam las 90 A, tetapi masih di bawah nilai kekerasan pada arus 80 A sekitar 0.74 HRC. Selanjutnya diikuti dengan angka kekerasan HAZ 2 yaitu sebesar 92.5 HRC, nilai ini naik sekitar 3.74 HRC dari nilai kekerasan HAZ 2 yang terdapat pada arus 90 A, dan juga naik sekitar 1 HRC dari nilai kekerasan HAZ 2 yang terdapat pada arus 80 A. Selanjutnya diikuti dengan nilai kekerasan HAZ 1 yang mencapai 82.33 HRC. Nilai kekerasan ini turun dari HAZ 2 sekitar 10.17 HRC, turun sekitar 12.5 HRC dari nilai kekerasan HAZ 1 yang terdapat pada arus 90 A dan turun sekitar 9.16 HRC dari nilai kekerasan HAZ 1 yang ada pada arus 80 A. Dan selanjutnya diikuti nilai kekerasan base metal yaitu 79.66 HRC. Nilai kekerasan ini paling rendah dibandingkan dengan yang lain, nilai kekerasan ini turun sekitar 19.17 HRC dibandingkan nilai kekerasan base metal pada arus 90 A dan turun sekitar 15.5 pada base metal arus 80 A.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada spesimen uji dengan menggunakan variasi arus yang berbeda-beda maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Adapun kekuatan tarik pada raw material dan logam las adalah:
  - a. nilai kekuatan tarik untuk raw material (tanpa pengelasan) adalah 41.88 kgf/mm
  - b. untuk arus 80 A adalah 43.14 kgf/mm
  - c. untuk arus 90 A adalah 40.07 kgf/mm
  - d. untuk arus 100 A adalah 44.08 kgf/mm
2. Adapun nilai kekerasan pada material adalah:
  - a. untuk material tanpa pengelasan (raw material) adalah 89.3 HRC
  - b. untuk logam las dengan variasi arus
    - 1) 80 Ampere = 96.5 HRC
    - 2) 90 Ampere = 92.16 HRC
    - 3) 100 Ampere = 95.76 HRC

- c. untuk HAZ 1 dengan variasi arus
    - 1) 80 Ampeer = 92.16 HRC
    - 2) 90 Ampere = 94.83 HRC
    - 3) 100 Ampere = 82.33 HRC
  - d. untuk HAZ 2) dengan variasi arus
    - 1) 80 Ampere = 91.5 HRC
    - 2) 90 Ampere = 88.76 HRC
    - 3) 100 Ampere = 92.5 HRC
  - e. untuk base metal dengan variasi arus
    - 1) 80 Ampere = 95.16 HRC
    - 2) 90 Ampere = 89.83 HRC
    - 3) 100 Ampere = 79.66 HRC
3. Sambungan las yang paling baik antara ketiga arus tersebut terjadi pada arus 100 A dengan kekuatan tarik yang tinggi sebesar 44.08 kgf/mm<sup>2</sup>.

#### Daftar Putaka

- [1] Wiryosumarto. H, Okumura. T, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta Cetakan Ke 8. 2000
- [2] Santoso Joko, “*Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018*” Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. 2006.
- [3] Arifin, S. *Las Listrik dan Otogen*, Ghalia Indonesia, Jakarta. 1997
- [4] *ASTM E8/E8M-11. Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials*. USA, 2012
- [5] *American Welding Society, Eighth Edition, Welding Technology Volume 1* 1991
- [6] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX, Qualification Standard for Welding and brazing procedures, welders, brazzers, and welding and brazing operators*, ASME New York, 2010
- [7] Andrew D. Althouse, *Modern Welding*, The Good Heart Wilcox Company, Inc, South Holland, 1992
- [8] George E. Totten, *Steel Heat Treatment Handbook : Metallurgy and Technologies*, CRC Press, USA, 2006