

PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN GTAW TERHADAP SIFAT MEKANIS PADA PIPA BAJA KARBON ASTM A 106

Awal Syahrani*, Mustafa*, Oktavianus**

* Dosen Jurusan Teknik Mesin, Univ. Tadulako

** Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Univ. Tadulako

*Email : awsyahrani_untad@yahoo.com

Abstract: The Influence of GTAW Welding Current Variation on Mechanical Properties of Carbon Steel Pipe ASTM A 106.

This study aims to determine the mechanical properties of carbon steel ASTM A 106 after experiencing the GTAW welding process using current variations of 90 A, 110 A and 130 A. This study used a low alloy steel material, welding treatment materials with variations of current 90 A, 110 A And 130 A by using GTAW DC reverse polarity welding with electrode or metal filler ER 70S-6. The type of camp that is used is V with a corner of 30°. Specimens were subjected to tensile, impact, hardness and microstructure photographs. This research was conducted at PT Poso Energy for its welding and testing was done in the laboratory testing material of Mechanical Engineering Department of Tadulako University.

The highest tensile strength of the weld joints occurred in the 90 A specimen group of 573.61 MPa which increased by 11.99 MPa or 2.13% of the specimen group 110 A and 18.01 MPa or 3.24% of the current 130 A, and decreased from raw material that is equal to 20,22 MPa or equal to 3,52%. The highest tensile strain in the current variation group occurred in the 90 A specimen group of 23.04% and the lighter in the 130 A flow group that decreased by 2.92%. For the elasticity of the highest value in the current variation group of 130 A at 3895.21 MPa. The toughness of the highest welding area in the 90 A specimen group was 578068.3 Joule / m², it increased by 59.76% of the raw material. The current group 110 A and 130 A experienced an increase of raw material of 44.10% and 34.00% respectively. The highest hardness level occurs in the weld metal area of 151.55 kg / mm² of current variation of 90 A, followed by variation of 110 A current of 147.67 kg / mm² and the lowest level of hardness is in the current velocity 130 A of 125.33 kg / Mm² in the HAZ area. The microstructure that is formed is ferrite and pearlite, ferrite tends to be smoother and has enough strength and ductility while the pearlite is rougher and has a hard and less ductile properties. Metallographic test results that experienced the process of welding current variation shows the shape of the structure of pearlite and ferrite grains are almost balanced.

Keywords: Current, GTAW, carbon steel ASTM A 106, mechanical properties.

ABSTRAK: Pengaruh variasi Arus Pengelasan GTAW Terhadap Sifat Mekanis Pada Pipa Baja Karbon ASTM A 106.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis baja karbon ASTM A 106 setelah mengalami proses pengelasan GTAW dengan menggunakan variasi arus 90 A, 110 A dan 130 A. Penelitian ini menggunakan bahan baja paduan rendah, bahan diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 90 A, 110 A dan 130 A dengan menggunakan las GTAW DC polaritas balik dengan elektroda atau logam pengisi ER 70S-6. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V dengan sudut 30°. Spesimen dilakukan pengujian tarik, dampak, kekerasan dan foto struktur mikro. Penelitian ini dilakukan di PT Poso Energy untuk pengelasannya dan pengujiannya dilakukan dilaboratorium pengujian bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako.

Kekuatan tarik sambungan las tertinggi terjadi pada kelompok spesimen arus 90 A yaitu 573,61 MPa yang mengalami kenaikan sebesar 11,99 MPa atau sebesar 2,13 % dari kelompok spesimen 110 A dan sebesar 18,01 MPa atau sebesar 3,24 % dari arus 130 A, dan mengalami penurunan dari raw material yaitu sebesar 20,22 MPa atau sebesar 3,52 %. Regangan tarik tertinggi pada kelompok variasi arus terjadi pada kelompok spesimen arus 90 A yaitu 23,04 % dan terenda pada kelompok arus 130 A yang mengalami penurunan sebesar 2,92 %. Untuk elastisitas nilai tertinggi pada kelompok variasi arus 130 A sebesar 3895,21 MPa. Ketangguhan pada daerah las tertinggi pada kelompok spesimen arus 90 A yaitu sebesar 578068,3 Joule/m², hal ini mengalami kenaikan sebesar 59,76 % dari raw material. Kelompok arus 110 A dan 130 A mengalami kenaikan terhadap raw material yaitu masing-masing sebesar 44,10 % dan 34,00 %. Tingkat kekerasan tertinggi terjadi pada

daerah logam las sebesar 151,55 kg/mm² dari variasi arus 90 A , disusul variasi arus 110 A sebesar 147,67 kg/mm² dan tingkat kekerasan paling rendah terdapat pada variasi arus 130 A sebesar 125,33 kg/mm² yaitu pada daerah HAZ. Struktur mikro yang terbentuk adalah ferit dan perlit, ferit cenderung lebih halus dan mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup sedangkan perlit lebih kasar dan mempunyai sifat yang keras dan kurang ulet. Hasil pengujian metalografi yang mengalami proses pengelasan variasi arus memperlihatkan bentuk struktur butir perlit dan ferrit yang hampir seimbang.

Kata Kunci : Arus, GTAW, baja karbon ASTM A 106, sifat mekanis.

Pendahuluan

Pada mulanya pemakaian pengelasan hanya berfungsi sebagai perbaikandan pemeliharaan dari semua alat-alat yang terbuat dari logam baik sebagai proses penambalan retak, penyambungan sementara, maupun sebagai alat pemotongan bagian-bagian yang dibuang atau diperbaiki. Kemajuan teknologi dewasa ini semakin pesat, demikian pula yang terjadi di Indonesia sangat membutuhkan teknik pengelasan yang baik. Pada proses pengelasan ada beberapa faktor yang menentukan keberhasilan dalam pengelasan, dimana perubahan logam yang disambung diharapkan mengalami perubahan sekecil-kecilnya sehingga mutu las tersebut dapat dijamin.

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) atau sering juga disebut *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan salah satu dari bentuk las busur listrik (*Arc Welding*) yang menggunakan *inert gas* sebagai pelindung dengan *tungsten* atau *wolfram* sebagai elektroda. Pengelasan ini dikerjakan secara manual maupun otomatis. Elektroda pada GTAW termasuk elektroda tidak terumpan (*non consumable*) berfungsi sebagai tempat tumpuan terjadinya busur listrik. GTAW mampu menghasilkan lasan berkualitas tinggi pada hampir semua jenis logam mampu las (<http://taryza.wordpress.com>, 2008).

Pada saat ini teknik pengelasan telah dipergunakan secara luas, salah satunya pada pembangunan PLTA Poso II. Jenis Pengelasan yang digunakan Pada PLTA Poso salah satunya GTAW. Penggunaan pengelasan terutama digunakan untuk menyambung bagian dari pipa yang berdiameter 3 inci dengan

tebal 7,3 mm. Pipa ini berfungsi untuk menyalurkan oli, oleh karena itu proses pengelasan pada pipa tersebut memiliki peranan yang sangat penting.

Teori Dasar

1. Pengertian Las

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian logam atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan.

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain:

4. Metalurgi Las

Aspek metalurgi adalah meliputi siklus termal dan pengaruhnya terhadap perubahan struktur mikro serta faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mampu las (*weldability*) dari logam yang disambung. Kualitas sambungan las biasanya dikaitkan dengan kekuatan, ketangguhan atau sifat mekanis lainnya, maka perlu dibahas hubungan antara struktur mikro dengan sifat-sifat terhadap tekanan dan kekerasan dari sambungan las.

Siklus termal akan dapat menimbulkan perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal ataupun cacat pada logam las. Perubahan yang paling penting dalam pengelasan adalah perubahan struktur-mikro yang akan menentukan sifat-sifat mekanis sambungan las. Pada umumnya struktur mikro yang terjadi tergantung pada komposisi kimia dari logam induk, kondisi logam induk seperti geometri atau proses pengerjaan sebelumnya, teknik pengelasan yang diterapkan, serta perlakuan panas yang diberikan.

Tingkat perubahan mikro struktur yang terjadi disamping dipengaruhi oleh faktor-faktor dari material yang dilas juga tergantung pada temperatur maksimum yang dicapai ketika pengelasan, waktu/lamanya temperatur itu terjadi dan kecepatan pendinginan. Faktor utama yang mengontrol perubahan struktur tersebut adalah besarnya masukan panas (*heat input*) yang diberikan kepada sambungan logam (termasuk kalau ada pemanasan mula). Kecepatan pendinginan mempengaruhi sifat-sifat mekanis sesuai dengan jenis fasa dan butiran logam yang terbentuk. Pendinginan yang cepat menghasilkan struktur yang kuat, keras dan kurang ulet.

Pendinginan yang lambat menghasilkan sifat-sifat sebaliknya. Menahan logam pada temperatur tinggi (di atas temperatur kritis) untuk waktu yang lama dapat menghasilkan struktur dengan butiran yang kasar, namun

demikian selama pengelasan berlangsung ada bagian logam yang letaknya bersebelahan dengan las berada pada temperatur tinggi untuk waktu yang sangat singkat. (Santoso, J., 2006)

5. Pengujian kekuatan sambungan

Kekuatan Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan perubahan-perubahannya dari suatu logam terhadap pembebanan tarik seperti tegangan, regangan, dan modulus elastisitas. Pengujian tarik merupakan jenis pengujian yang paling banyak dilakukan karena mampu memberikan informasi perilaku mekanis material. Pengujian ini umumnya diperuntukan bagi pengujian beban - beban statik. Beban tarik tersebut dimulai dari nol dan berhenti pada beban atau tegangan patah tarik (*Ultimate Strength*) dari logam yang bersangkutan.

Beban uji yang telah dinormalisasikan ukurannya dipasang pada mesin tarik, kemudian diberi beban (gaya tarik) secara perlahan-lahan dari nol hingga maksimum. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik atau dengan *universal testing machine*. Hubungan antara tegangan dan regangan pada beban tarik ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- F = Beban (N)
- A₀ = Luas penampang (mm²)
- σ = Tegangan (N/mm²).

Kemudian besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (*gage length*).

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

- ε = Regangan (%)
- ΔL = Perubahan panjang (mm).
- L₀ = panjang mula-mula (mm).

Modulus Elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan

regangan dari suatu benda. Besarnya nilai modulus elastisitas yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan dan dapat dihitung dengan persamaan:

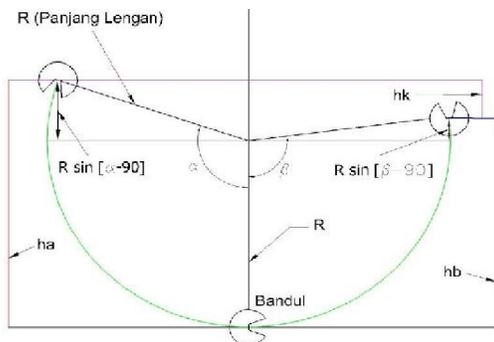
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

- E = Modulus elastisitas tarik (N/m²).
- σ = Tegangan (N/m²).
- ε = Regangan (%).
- Lo = panjang mula-mula (mm).
- ΔL = Perubahan panjang (mm).

Impak/Ketangguhan

Pengujian impak atau ketangguhan merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan material terhadap beban kejut. Prinsip dasar dari pengujian ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi.



Gambar 2. Ilustrasi pengujian impak charpy

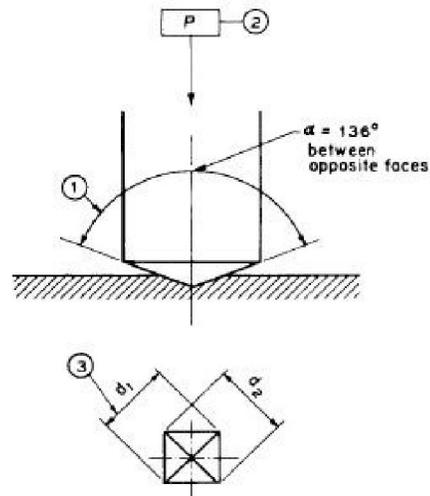
Pada pengujian tersebut, banyaknya energi yang diserap oleh spesimen untuk terjadinya perputahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan spesimen tersebut. Suatu material dikatakan tangguh bila memiliki kemampuan menyerap beban kejut yang besar tanpa terjadinya retak atau terdeformasi dengan mudah. Pada pengujian impak, energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan joule dan dibaca langsung pada skala (*dial*) penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin uji.

Kekerasan

Hardness atau kekerasan merupakan ketahanan suatu material (baja karbon) terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (*penetrator*). Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang banyak dipengaruhi oleh unsur – unsur paduannya.

Penelitian ini menggunakan metode pengujian kekerasan *Vickers* dengan skala makro atau biasa disebut dengan *Macro Vickers* dengan menggunakan penekanan berbentuk piramida intan. Besar sudut antara permukaan piramida yang saling berhadapan 136°. Pada pengujian ini bahan di tekan dengan gaya tertentu dan terjadi cetakan pada bahan uji dari intan.

Gambar 3. Metode pengujian kekerasan *vickers*



Pengujian Struktur Mikro

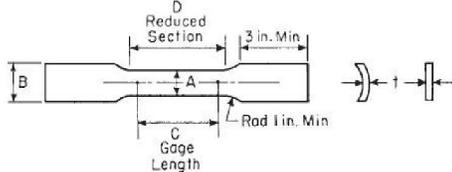
Struktur mikro merupakan struktur suatu material dalam orde kecil, sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Struktur ini hanya dapat dilihat dengan menggunakan peralatan untuk mengamati struktur mikro.

Dengan pengujian ini, dapat diketahui bentuk struktur, ukuran dan banyaknya bagian struktur yang berbeda dari suatu material. Sehingga, hubungan antara karakteristik suatu material dengan struktur serta cacat pada bahan tersebut dapat diketahui.

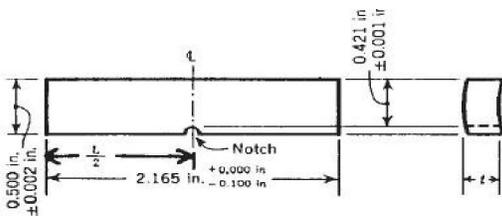
Metode Penelitian

Proses pengelasan penelitian ini dilakukan di PT.POSO ENERGY yang terletak di Desa Sulewana Kecamatan Pamona Utara Kabupaten Poso sedangkan untuk Pengujian tarik dan bending dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu.

Alat yang digunakan adalah : mesin las GTAW, mesin perkakas (sekrup, gergaji dan gerinda), tensil test dan hardness test. Bahan yang digunakan Baja Karbon ASTM A 160, elektroda tungsten. Pengerjaan penelitian ini dimulai dengan memotong bahan dengan ukuran 220 mm x 17,6 mm x 7,3 mm (untuk uji tarik), 55 mm x 12,7 mm x 7,3 mm (untuk uji impak) kemudian dilakukan pembentukan kampuh V dengan sudut 70°. Selanjutnya dilakukan pengelasan dengan variasi arus 90 A, 110 A dan 130 A. Pembentukan spesimen uji dilakukan pada tahap berikutnya, spesimen uji tarik dan spesimen uji kekerasan dengan standar ASTM. Pengambilan data adalah langkah selanjutnya.



Gambar 4. Spesimen uji tarik (ASTM 370-03)



Gambar 5. Spesimen uji impack (ASTM A 327-91)

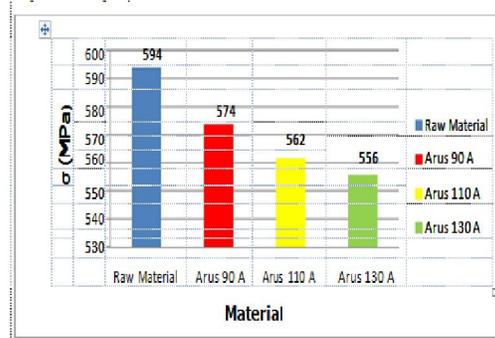
Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material baja karbon ASTM A 106 sebagai material uji dalam penelitian ini. Hasil

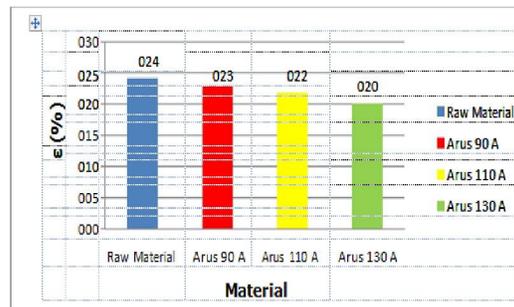
pengujian tarik pada umumnya adalah parameter kekuatan tarik, parameter keuletan yang ditunjukkan dengan adanya persentase perpanjangan dan persentase kontraksi atau reduksi penampang.

Tabel 2. Hasil Pengujian tarik

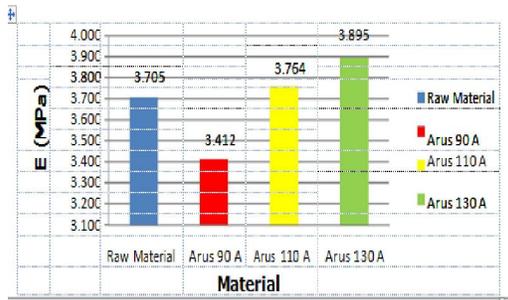
No	Parameter	Spesimen			
		Raw Material	Arus 90 A	Arus 110 A	Arus 130 A
1	Tegangan (σ) (MPa)	592,38	577,33	551,27	552,01
2		605,35	584,38	583,32	558,80
3		583,77	559,12	550,27	555,98
	Rata-rata	593,83	573,61	561,62	555,60
1	Regangan (ε) (%)	23,62	22,75	20,12	19,25
2		25,37	23,62	23,62	21,00
3		23,62	22,75	21,87	20,12
	Rata-rata	24,21	23,04	21,87	20,12
1	Tegangan (σ) (MPa)	343,65	385,68	374,95	345,89
2		341,80	363,79	365,44	353,98
3		343,92	339,11	365,08	379,49
	Rata-rata	343,13	362,86	368,49	359,79
1	Regangan (ε) (%)	8,75	11,37	8,75	7,87
2		10,50	12,25	9,62	9,62
3		8,75	8,75	11,37	10,50
	Rata-rata	9,33	10,79	9,92	9,33
1	Elastisitas (E) (MPa)	3927,96	3391,00	4285,65	4392,78
2		3255,63	2970,05	3797,26	3678,17
3		3931,05	3876,08	3209,88	3614,67
	Rata-rata	3704,88	3412,38	3764,26	3895,21



Gambar 6. Grafik tegangan tarik

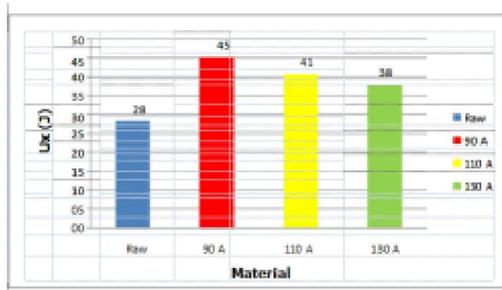


Gambar 7. Grafik regangan uji tarik

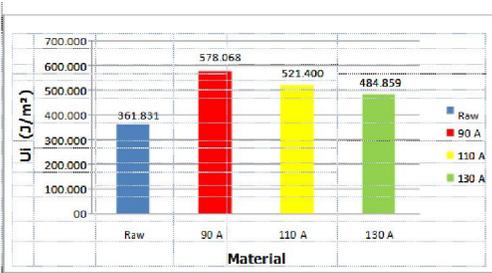


Gambar 8. Grafik elastisitas uji tarik

No	Parameter	Usaha Impak Rata-rata Ux (J)	Ketangguhan Rata-rata Ui (J/m ²)
1	Arus 130 A	37,9	484859,0
2	Arus 110 A	40,7	521399,6
3	Arus 90 A	45,2	578068,3
4	Raw Material	28,3	361831,1



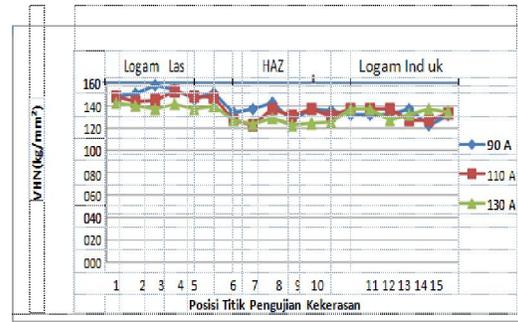
Gambar 9. Grafik Usaha Impak



Gambar 10. Diagram Ketangguhan Impak

Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan Vickers dalam satuan kg/mm²

Titik Pengujian	Daerah Uji	Spesimen		
		90	110	130
1	Logam Las	148,32	148,32	142,56
2		150,72	143,69	140,35
3		158,29	144,82	137,13
4		154,44	153,18	141,45
5		145,98	148,32	137,13
	Rata-rata	151,55	147,67	139,72
6	HAZ	134,02	127,16	127,16
7		137,13	122,58	123,47
8		142,56	137,13	129,07
9		127,16	131,01	122,58
10		137,13	137,13	124,38
	Rata-rata	135,60	131,00	125,33
11	Logam Induk	132,00	137,13	137,13
12		132,00	137,13	137,13
13		132,00	137,13	127,16
14		137,13	127,16	132,00
15		122,58	127,16	137,13
	Rata-rata	131,14	133,14	134,11



Gambar 11. Grafik kekerasan

Hasil pengujian tarik tabel 2, untuk variasi arus pengelasan 130 A. Nilai kekuatan tarik dan regangan tarik mempunyai nilai yang paling kecil di antara kelompok variasi arus pengelasan dan *raw material*. Pada kelompok variasi 130 A, arus yang terjadi terlalu besar menyebabkan pengaruh langsung penembusan yang terjadi terlalu dalam pada logam las dan juga memperlebar daerah *HAZ* serta makin banyak logam induk yang mencair. Nilai kekuatan tarik dan regangan tarik untuk variasi arus pengelasan kelompok 110 A mempunyai nilai yang lebih besar di banding kelompok variasi arus 130 A, tetapi lebih rendah dibanding kelompok variasi arus 90 A dan *raw material*. Pada kelompok ini, arus yang terjadi cukup baik di banding arus 130 A. Nilai kekuatan tarik dan regangan tarik maksimum yang paling besar di antarh variasi arus pengelasan dan lebih rendah terhadap *raw material*, hal ini dapat di lihat pada material yang mengalami proses perlakuan pengelasan pada kelompok arus 90 A. Arus pengelasan 90 A pada pengelasan arus yang terjadi tidak terlalu besar sehingga penembusannya pada daerah logam las tidak terlalu dalam serta panas yang terjadi pada daerah *HAZ* tidak melebar jauh. Hal ini sangat baik karena nilai yang dihasilkan untuk kekuatan tarik dan regangan tarik lebih kecil di bandingkan kelompok variasi arus pengelasan yang lain.

Hasil pengujian ketangguhan impact diketahui bahwa nilai untuk *raw material* mengalami penurunan di banding dengan

variasi arus pengelasan, ini karena panas yang dihasilkan saat pengelasan menyebabkan bahan makin ulet sehingga ketangguhan yang dihasilkan makin tinggi. Nilai ketangguhan impact untuk arus 90 A lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok spesimen variasi arus 110 A dan 130 A. Karena kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen yang menyebabkan terbentuknya butir-butir ferit kasar yang dapat menurunkan ketangguhan.

Hasil dari pengujian kekerasan diketahui bahwa pada daerah logam las terjadi kekerasan yang paling tinggi di antara logam induk dan *HAZ*, hal ini disebabkan adanya struktur ferit dan perlit. Nilai kekerasan yang paling tinggi hasil pengelasan kelompok arus 90 A di antara kelompok *raw material* dan variasi arus 110 A dan 130 A. yang menyebabkan struktur *HAZ* yang berbatasan dengan logam las sangat lebar dan butir dapat tumbuh hingga menjadi sangat kasar. Daerah yang dekat dengan logam las mengalami pertumbuhan butir yang kasar maka kekerasan *HAZ* menjadi rendah.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh variasi arus pengelasan GTAW terhadap sifat mekanis pada pipa baja karbon ASTM A 106 maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil uji tarik pada proses pengelasan memberi nilai kekuatan tarik dan regangan tarik pada proses pengelasan kelompok variasi arus 90 A mempunyai nilai tertinggi sebesar 573,61 MPa dan terendah pada kelompok variasi arus 130 A sebesar 555,60 MPa untuk kekuatan tarik, dan untuk perpanjangan atau regangan tarik nilai tertinggi sebesar 23,04 % dan terendah 20,12 %. Untuk nilai elastisitas pada proses pengelasan kelompok 130 A nilai tertinggi sebesar 3895,21 MPa dan terendah 3412,38 MPa.
2. Nilai usaha mematakan spesimen dan kekuatan energi impact untuk kelompok 90 A mempunyai nilai paling tinggi di banding kelompok variasi arus 110 A, 130 A dan kelompok *raw material*, nilai rata-rata tertinggi sebesar 45,2 Joule dan 578068,3 Joule/m², dan nilai terendah pada kelompok *raw material* sebesar 28,3 Joule untuk usaha mematakan spesimen dan 361831,1 Joule/m² untuk kekuatan energi impact.
3. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen variasi arus pengelasan 90 A sebesar 151,55 kg/mm² terletak pada daerah logam las, dan nilai terendah pada kelompok variasi arus 130 A sebesar 125,33 kg/mm² terletak pada daerah *HAZ*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM *International* (A 106/A 106M-04b), 2005, *Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service1*, West Conshohocken, USA.
- ASTM *International* (A 327-91), 1997, *Standard Test Methods for Impact Testing of Cast Irons1*, West Conshohocken, USA.
- ASTM *International* (A 370-03), 2003, *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products1*, West Conshohocken, USA.
- Santoso, J., 2006, "Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018", Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang.
- Sariyusriati, 2009, *Electric Arc Welding-welding* Proses, termuat di : <http://sariyusriati.wordpress.com/2009/01/05/electric-arc-welding->

[welding-process-part2/](#), diakses 20
Maret 2012.

Sonawan, H., Suratman, R., 2004,
*Pengantar Untuk Memahami
Pengelasan Logam*, Alfa Beta,
Bandung.

Wiryosumarto, Harsono, Prof., Dr., Ir.,
dan Toshie Okomura, Prof., Dr.,
(2000), *Teknologi Pengelasan
Logam*, Jakarta, PT. Pradnya
Paramita.

Widharto, S., 2007, *Menuju Juru las
Tingkat Dunia*, Pradnya Paramita-
Jakarta.