

PENGARUH MASUKAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PADA PENGELASAN *SHIELD METAL ARC WELDING (SMAW)* DARI PIPA BAJA DIAMETER 2,5 INCHI

Susri Mizhar, Ivan Hamonangan Pandiangan

*Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Medan
Jl.Gedung Arca No 52 Telp. (061) 7363771 Fax. (061) 7347954
Medan 20271 Sumatra Utara
email : itm@itm.ac.id*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan terhadap ketangguhan, kekerasan dan struktur mikro las pada pengelasan SMAW dengan elektroda E7016. Bahan pipa baja karbon rendah dengan diameter 2,5 inchi dan ketebalan 12 mm dilas dengan variasi arus 100 Amper, 110A dan 120 Amper dengan menggunakan las SMAW DC polaritas terbalik dengan elektroda E7016 diameter 3,2 mm dan menggunakan kampuh V tunggal dengan sudut 60°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketangguhan impak tertinggi diperoleh pada arus 120 Amper dengan nilai 1,6 Joule/mm². Hal ini karena masukan panas yang tinggi, maka laju pendinginan setelah pengelasan akan menjadi lebih lambat, sehingga struktur ferrite acicular yang terbentuk akan lebih banyak.

Kata Kunci : Pengelasan SMAW, ketangguhan, struktur mikro

1. Pendahuluan

Pengelasan adalah dimana bahan dengan jenis yang sama atau berbeda digabungkan menjadi satu sehingga dihasilkan suatu sambungan dari pemakaian panas dengan atau tanpa tekanan [4]. *American Welding Society (AWS)* memberikan definisi bahwa pengelasan merupakan suatu proses penyambungan material menggunakan panas dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler metal*).

Pada pengelasan baja, kandungan C pada logam las biasanya dibuat rendah yaitu 0,1 % massa, dengan tujuan untuk mempertahankan sifat mampu las atau weldability [2].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh variasi masukan panas terhadap ketangguhan dan struktur mikro pada pipa baja karbon rendah melalui

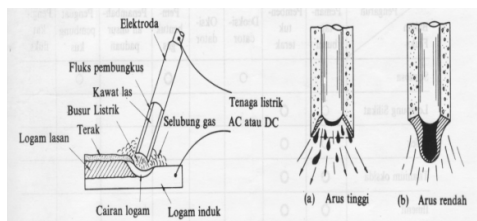
proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*.

2. Dasar Teori

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) 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 benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Ada pun yang termasuk dalam las busur listrik adalah Las Elektroda Terbungkus (SMAW), Las Wolfram Gas Mulia (TIG), Las Logam Gas Mulia (MIG) dan Las Busur Rendam.

2.1. Las Busur Elektroda Terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding /SMAW*)

SMAW adalah suatu proses pengelasan busur listrik yang mana penggabungan atau perpaduan pengelasan logam yang dihasilkan oleh panas dari busur listrik yang dikeluarkan diantara ujung elektroda terbungkus dan permukaan logam dasar yang dilas [3]. Hampir setiap proses penyambungan dan perbaikan logam menggunakan pengelasan busur SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) ini dalam produksinya. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai oksidasi. Didalam pengelasan ini hal yang paling penting adalah bahan fluks dan jenis listrik yang digunakan.



Gambar 1. las busur elektroda terbungkus (SMAW)

2.2. Masukan Panas (*Heat Input*)

Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter

yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

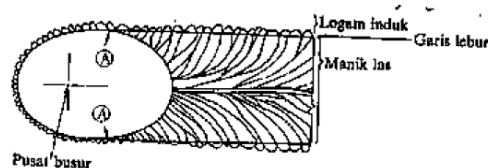
$$H = P/v = EI/v$$

Dimana:

- P : Tenaga input (Watt)
- v : Kecepatan pengelasan (mm/s)
- E : Potensial listrik (volt)
- I : Arus listrik (Amper)

2.3. Daerah logam las

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las [5].

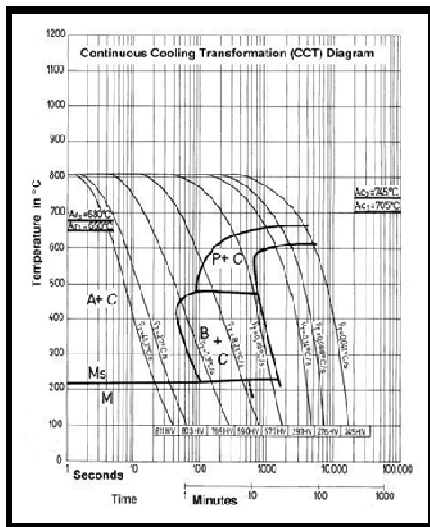


Gambar 2. Arah pembekuan dari logam las

Struktur mikro yang mungkin terbentuk dari pengelasan adalah:

1. *Proeutectoid Ferrite*, terdiri dari *grain boundary Ferrite* dan *intragranular polygonal Ferrite* pada suhu 1000-650 °C.
2. *Widmanstatten Ferrite* atau *Ferrite with aligned second phase* pada suhu 750-650 °C.
3. *Accicular Ferrite*, tumbuh di dalam butir *Austenite* pada suhu 650 °C.
4. *Bainite*, terbentuk pada suhu 400-500 °C.
5. *Martensite*, terjadi jika pendinginan berlangsung sangat cepat.

Proses pendinginan hasil pengelasan pada umumnya berlangsung secara cepat sehingga untuk menganalisa struktur mikro hasil pengelasan tidak dapat digunakan diagram fasa. Diagram fasa hanya dapat dipergunakan untuk kondisi dimana laju pendinginan sangat lambat dan proses difusi atom berlangsung. Karena itu untuk menganalisa struktur mikro hasil pengelasan dapat digunakan diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT).



Gambar 3. Continuous Cooling Transformation (CCT)

3. Prosedur Penelitian

3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pipa baja diameter 2,5 Inchi dan ketebalan 13 mm.

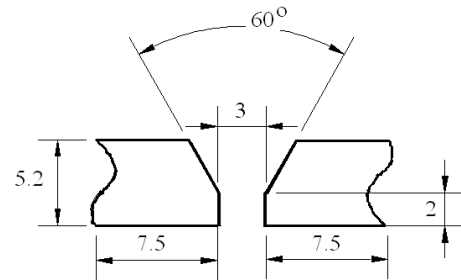
3.2. Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin las SMAW.
2. Mesin gergaji beserta kelengkapannya.
3. Jangka sorong.
4. Mesin bubut.
5. Mesin uji impak.
6. Mesin polishing.
7. Mikroskop optik.

3.3. Prosedur Penelasan

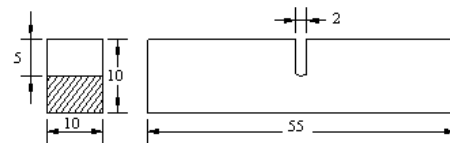
Pengelasan pada penelitian ini menggunakan las SMAW. Untuk pipa dengan diameter 2,5 inchi ketebalan 13 mm menggunakan arus 100 Amper dan 120 Amper, dengan elektroda E7016 diameter 3,2 mm dan menggunakan kampuh V tunggal sudut 60° .



Gambar 4. Kampuh V (ukuran dalam milimeter)

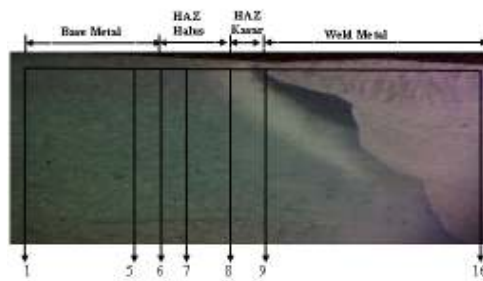
3.4. Pengujian

Untuk mengetahui ketangguhan material diadakan pengujian impak dengan bentuk dan ukuran spesimen sesuai dengan standar ASTM. Pengujian impak charpy dengan replikasi 2 buah. Pengujian lain untuk mendukung analisa adalah uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro.



Gambar 5. Spesimen uji Impak ASTM B23-96

Pengujian kekerasan pada spesimen variasi arus 100 Amper dan 120 Amper dilakukan dengan metode *vickers* untuk mengetahui distribusi kekerasan dari logam induk (*base metal*) menuju logam las (*weld metal*). Seperti yang terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Daerah titik pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan dengan beban 1 kg. Untuk titik pengujian distribusi kekerasan dilakukan dengan jarak 2 mm dan kedalaman 2 mm yang dimulai dari logam induk (*base metal*) menuju logam las (*weld metal*).

4. Hasil Dan Analisa Data

4.1. Hasil Pengujian komposisi kimia

Adapun unsur-unsur kimia yang diperoleh dari hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Kimia Base Metal

No	Unsur	Kadar %
1	Karbon (C)	0,1114
2	Silikon (Si)	0,4043
3	Sulfur (S)	0,0031
4	Posfor (P)	0,0063
5	Mangan (Mn)	1,0661
6	Nikel (Ni)	0,0354
7	Cromium (Cr)	0,1737
8	Molibdenum (Mo)	0,0306
9	Vanadium (V)	0,0094
10	Tembaga (Cu)	0,0577
11	Stanum (Sn)	0,049
12	Aluminium (Al)	0,0104
13	Besi (Fe)	98,086

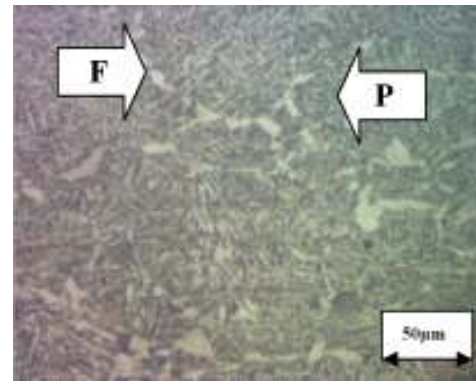
Dari hasil pengujian komposisi logam induk (*base metal*) diperoleh unsur karbon (C) sebesar 0,1114 %. Hal ini menunjukkan bahwa logam induk (*base metal*) termasuk dalam baja karbon rendah (*low carbon steel*) karena komposisi karbon masih dibawah nilai 0,30 % [6].

Tabel 2. Komposisi Kimia Weld Metal

No	Unsur	Kadar %
1	Karbon (C)	0,2940
2	Silikon (Si)	0,2689
3	Sulfur (S)	0,0171
4	Posfor (P)	0,0106
5	Mangan (Mn)	0,5505
6	Nikel (Ni)	0,1137
7	Cromium (Cr)	0,9155
8	Molibdenum (Mo)	0,2097
9	Vanadium (V)	0,0093
10	Tembaga (Cu)	0,1148
11	Stanum (Sn)	0,0068
12	Aluminium (Al)	0,0366
13	Besi (Fe)	97,452

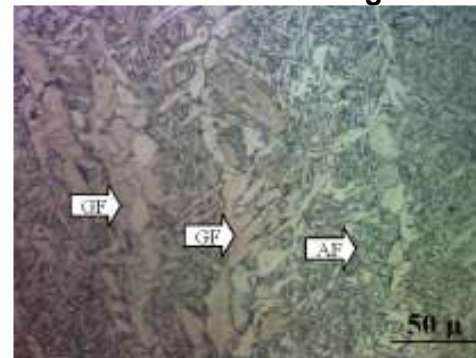
4.2. Hasil Foto Struktur Mikro

A. Struktur Mikro Base Metal

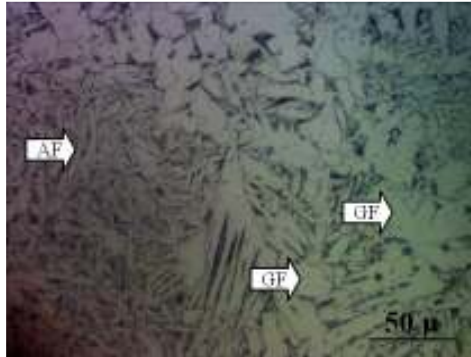


Gambar 5. Foto struktur mikro *base metal* perbesaran 200x

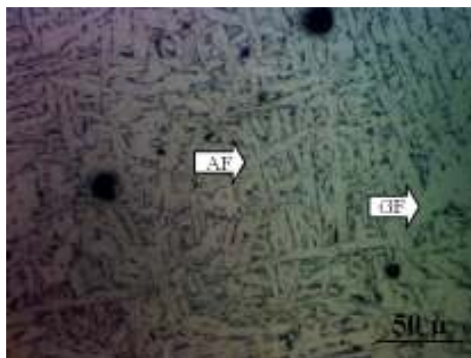
B. Struktur Mikro Welding Metal



Gambar 6. Foto struktur mikro welding metal arus 100 Ampere perbesaran 400x

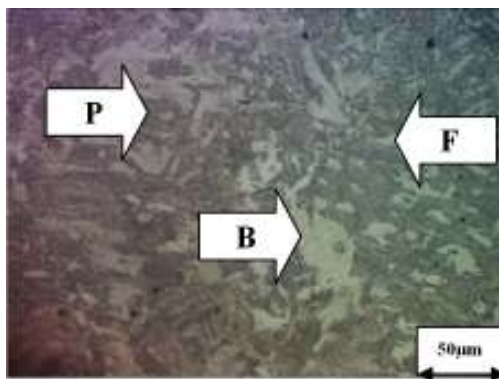


Gambar 7. Foto struktur mikro welding metal arus 110 Amper perbesaran 400x

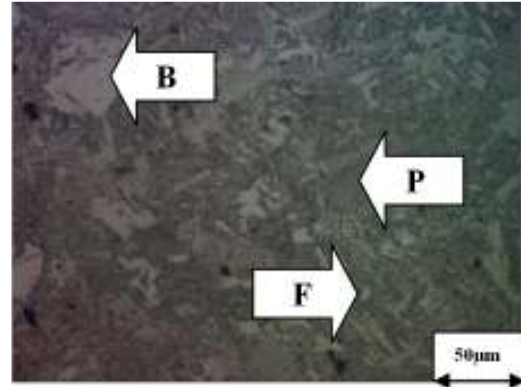


Gambar 8. Foto struktur mikro welding metal arus 120 Amper perbesaran 400x

C. Struktur Mikro HAZ



Gambar 9. Foto struktur mikro HAZ arus 100 Amper perbesaran 200x



Gambar 10. Foto struktur mikro HAZ arus 120 Amper perbesaran 200x

Keterangan:

AF : *Acicular Ferrite*

B : *Bainite*

GF : *Grain boundary Ferrite* (ferit batas butir)

F : *Ferrite*

P : *Pearlite*

WF : *Widmanstatten Ferrite*

4.3. Analisa Struktur Mikro

A. Base Metal

Struktur mikro yang ada pada *base metal* didominasi butir-butir perit yang berwarna gelap, sedangkan fasa ferit lebih sedikit berwarna putih (terang). Butir ferit cenderung lebih halus sedangkan butir perlit lebih kasar. Butir perlit cenderung keras karena mengandung karbon mempunyai sifat yang keras dan kurang ulet, sedangkan butir ferit mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup.

B. Weld Metal

Pada pengelasan arus 100 Amper struktur mikro dapat dilihat bahwa *Acicular Ferrite* yang terbentuk berupa bilah-bilah yang menyilang terlihat lebih sedikit dibanding *Acicular Ferrite* yang ada pada pengelasan arus 120 Amper. Terbentuknya struktur seperti ini disebabkan oleh pendinginan yang relatif cepat.

C. HAZ

Pada pengelasan arus 120 Amper struktur mikro pada daerah

HAZ jumlah struktur *ferrite Acicular* terlihat lebih banyak dari arus 100 Amper. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya masukan panas maka laju pendinginan setelah pengelasan akan menjadi lebih lambat, sehingga struktur *ferrite Acicular* yang terbentuk akan lebih banyak sesuai dengan diagram CCT.

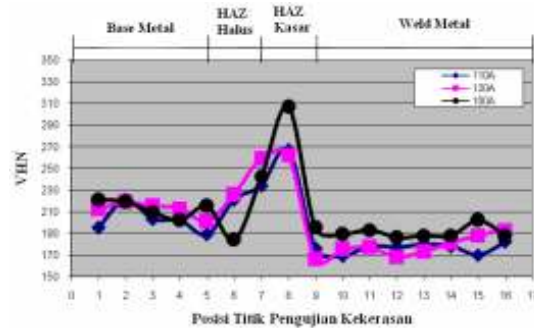
4.3. Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada spesimen variasi arus 100 Amper, 110 Amper dan 120 Amper dilakukan dengan metode *vickers* untuk mengetahui distribusi kekerasan dari logam induk (*base metal*) menuju logam las (*weld metal*). Nilai kekerasan dapat dilihat pada tabel 3 dibawah:

Tabel 3. Hasil pengujian Kekerasan

Titik	Daerah	Spesimen		
		Arus 100 A	Arus 110 A	Arus 120 A
1	Base Metal	221	195	212
2		219	221	219
3		209	203	215
4		202	202	213
5		215	189	201
	Rata-rata	213,2	202	212
6	HAZ Halus	184	221	226
7		242	234	259
	Rata-rata	213	232,5	242,5
8	HAZ Kasar	307	267	262
9	Weld Metal	195	176	166
10		189	169	175
11		193	178	177
12		186	177	168
13		188	180	173
14		188	178	181
15		202	170	188
16		188	182	193
	Rata-rata	191,12	176,25	177,62

Pada Gambar 11. Pengujian kekerasan yang dilakukan dengan pembebanan 1 kg. Untuk titik pengujian distribusi kekerasan mendapat jarak 2 mm dan kedalaman 2 mm yang dimulai dari logam induk (*base metal*) menuju logam las (*weld metal*). Dari pembebanan tersebut akan didapatkan nilai kekerasan untuk masing-masing titik yang diuji.



Gambar 11 Diagram nilai kekerasan

Dari gambar 11 di atas merupakan nilai kekerasan hasil pengelasan dengan variasi arus 100 Amper, 110 Amper dan 120 Amper.

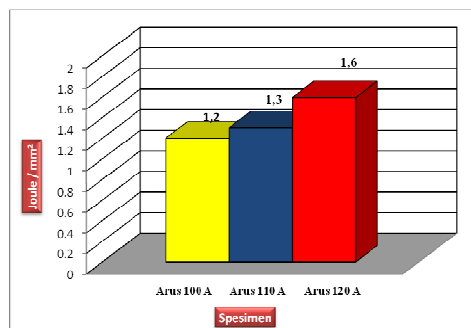
Nilai kekerasan daerah logam las (*weld metal*) untuk variasi arus 100 Amper adalah 191,12 VHN. Kekerasan daerah logam las (*weld metal*) untuk variasi arus 110 Amper dan 120 Amper mengalami penurunan. Nilai kekerasan daerah logam las (*weld metal*) untuk variasi arus 110 Amper sebesar 176,25 VHN, ini berarti mengalami penurunan sebesar 7,78 % menjadi 14,87 VHN dari variasi arus 100 Amper dan mengalami kenaikan terhadap variasi arus 120 Amper sebesar 0,77 % menjadi 1,37 VHN. Nilai Kekerasan daerah logam las (*weld metal*) untuk variasi arus 120 Amper mengalami penurunan sebesar 7,06 % menjadi 13,5 VHN dari variasi arus 100 Amper.

4.4. Analisa Ketangguhan

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui ketangguhan daerah las. Pengujian ketangguhan dilakukan pada variasi arus 100 Amper, 110 Amper dan 120 Amper. Pengujian impak menunjukkan bahwa besarnya masukan panas mempengaruhi ketangguhan lasan.

Hasil uji ketangguhan impak pada daerah las terlihat bahwa variasi arus sangat mempengaruhi nilai ketangguhan dari sambungan las.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa masukan panas tinggi menyebabkan laju pendinginan setelah pengelasan akan menjadi lebih lambat, sehingga struktur *Acicular Ferrite* yang terbentuk akan lebih banyak sesuai dengan diagram CCT dan sebagai *interlocking structure* yang mampu menghambat laju perambatan retak yang terjadi. Ini berbanding lurus dengan pernyataan Lancaster (1996), bahwa semakin lembut *Acicular Ferrite* mempunyai ketangguhan yang semakin tinggi.



Gambar 12. Grafik ketangguhan Impak

Tabel 4. Hasil pengujian impak

No	Arus 100 A			Tenaga Patah (J)	Ketangguhan (Joule/mm ²)
	P	L	A		
1	10	5,2	52	60	1,2
2	10	5	50	62	1,2
Rata-Rata				61	1,2
No	Arus 110 A			Tenaga Patah (J)	Ketangguhan (Joule/mm ²)
	P	L	A		
1	10,3	4,9	50,47	68	1,3
2	10,5	4,4	46,2	64	1,4
Rata-Rata				66	1,3
No	Arus 120 A			Tenaga Patah (J)	Ketangguhan (Joule/mm ²)
	P	L	A		
1	10,1	5,4	54,54	87	1,6
2	9,7	5,3	51,41	82	1,6
Rata-Rata				84,5	1,6

5. Kesimpulan

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

1. Secara umum masukan panas mempengaruhi nilai ketangguhan dan struktur mikro daerah *Weld Metal* dan HAZ.
2. Ukuran butiran *Weld Metal* pada pengelasan arus 120 Amper lebih besar dibandingkan ukuran *Weld*

Metal pada pengelasan arus 100 Amper.

3. Pada daerah HAZ dengan pengelasan arus 120 Amper memiliki jumlah *Acicular Ferrite* yang lebih banyak dibandingkan pengelasan arus 100 Amper.
4. Struktur mikro pada daerah *Base Metal* tidak dipengaruhi oleh variasi parameter pengelasan sehingga bentuk dan ukuran butiran relatif sama.
5. Ketangguhan impak tertinggi sebesar 1,6 Joule /mm² diperoleh pada pengelasan arus 120 Amper.

Daftar Pustaka

- [1] ASTM Standart, *Meta Test and Anaytical Procedures* Volume 03.01.Edisi 3, West Conshohocken, 2001.
- [2] Easterling, K.E.,1993, *Introduction to the Phisical Metallurgy of Welding*, Sutterworths, pp. 115-123.
- [3] Kou, S., 1987, *Welding Metallurgy*, Jhon wiley & Sons.
- [4] Messler, Robert.W., 1999, *Principles of Welding Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*, JhonWilley & Sons, New York.
- [5] Sonawan, H., Suratman, R., 2004, Penghatar Untuk Memahami Pengelasan Logam, Alfa Beta, Bandung.
- [6] Wiryosumarto. Harsono. Prof. Dr. Ir dan Prof. Dr. Toshie Okumura. 1994. Teknologi Pengelasan Logam. PT. Pradnya Paramitha.