

**PENGARUH VARIASI KUAT ARUS PENGELASAN *TUNGSTEN*  
*INERT GAS* (TIG) TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN  
STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON *MEDIUM***

(Skripsi)

Oleh  
**GALIH PAMUNGKAS**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2016**

## ABSTRAK

### PENGARUH VARIASI KUAT ARUS PENGELASAN *TUNGSTEN INERT GAS* (TIG) TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON *MEDIUM*

Oleh

GALIH PAMUNGKAS

Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) adalah suatu proses pengelasan dengan menggunakan gas mulia sebagai pelindung untuk mencegah terjadinya oksidasi pada material pengelasan dengan udara luar. Untuk menghasilkan busur listrik, digunakan elektroda yang tidak terkonsumsi terbuat dari logam *tungsten* atau paduannya yang memiliki titik lebur sangat tinggi. Baja karbon *medium* merupakan baja dengan kandungan karbon sebesar 0,36% dan merupakan material yang cukup baik untuk digunakan dalam proses pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik hasil pengelasan *tungsten inert gas* (TIG) pada baja karbon *medium* dengan menggunakan variasi kuat arus yang berbeda. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa kekuatan tarik tertinggi terdapat pada material hasil pengelasan 200 *ampere* dengan nilai rata – rata kekuatan tarik sebesar 680 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah terdapat pada material hasil pengelasan 160 *ampere* dengan nilai rata – rata kekuatan tarik sebesar 573,33 MPa. Hasil foto mikro menunjukkan adanya perbedaan antara logam dasar (*raw material*) dengan logam hasil pengelasan, pada logam hasil pengelasan semakin kecil dan halus struktur mikronya menghasilkan nilai kekuatan tarik yang semakin tinggi.

**Kata kunci:** *Tungsten Inert Gas*, Baja Karbon *Medium*, Kuat Arus, Kekuatan Tarik, Struktur Mikro

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF CURRENT VARIATIONS TUNGSTEN INERT GAS (TIG) WELDING TOWARD TENSILE STRENGTH AND MICROSTRUCTURE ON MEDIUM CARBON STEEL**

**By**

**GALIH PAMUNGKAS**

Tungsten Inert Gas welding (TIG) is a welding process of using the noble gases as protector to prevent the occurrence of oxidation on the welding material with outside air. For generating an electric arc, by using the electrode is not consumed tungsten metal made or its alloys which have a very high melting point. Medium carbon steel is carbon steel with carbon content of 0.36% and these is a pretty good material for use in welding processes. This research aims to know the results of the tensile strength of welding Tungsten Inert Gas (TIG) on Medium carbon steel by using different current variations. The results of testing that has been done, it is known that the highest tensile strength of material contained on the welding results of 200 ampere with value average tensile strength of 680 MPa. While the lowest tensile strength of the material contained on the welding results of 160 ampere with value average tensile strength of 573,33 MPa. The results showed the existence of micro-photograph of the differences between the base metals (raw material) with weld metal, the result of welding metal is getting smaller and delicate of microstructure that produce the higher value of the tensile strength.

**Keywords:** Tungsten Inert Gas, Medium Carbon Steel, Current Strength, Tensile Strength, Microstructure

**PENGARUH VARIASI KUAT ARUS PENGELASAN *TUNGSTEN*  
*INERT GAS* (TIG) TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN  
STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON *MEDIUM***

**(Skripsi)**

**Oleh  
GALIH PAMUNGKAS**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2016**

**Judul Skripsi : PENGARUH VARIASI KUAT ARUS  
PENGLASAN TUNGSTEN INERT GAS (TIG)  
TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN  
STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON  
MEDIUM**

**Nama Mahasiswa : Galih Pamungkas**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1015021032**

**Jurusan : Teknik Mesin**

**Fakultas : Teknik**

**MENYETUJUI**

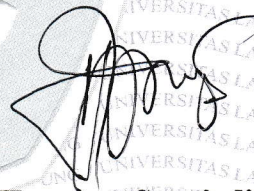
**1. Komisi Pembimbing**

**Pembimbing I**



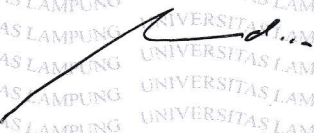
**Tarkono, S.T., M.T.**  
**NIP. 19700415 199802 1 001**

**Pembimbing II**



**Harnowo Supriadi, S.T., M.T.**  
**NIP. 19690909 199703 1 002**

**2. Ketua Jurusan Teknik Mesin**

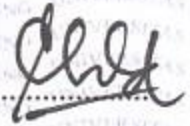


**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**  
**NIP. 19740816 200012 1 001**

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Tarkono, S.T., M.T.**



**: Harnowo Supriadi, S.T., M.T.**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.**



**Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**Prof. Drs. Suharno, M.Sc, Ph.D**  
**NIP. 19620717 198703 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 3 November 2016**

## PERNYATAAN PENULIS

Skripsi ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 27 peraturan akademik Universitas Lampung dengan surat keputusan Rektor No. 3187/H26/DT/2010.

METERAI  
TEMPEL  
#01C0AEF40256051  
6000  
ENAM RIBURUPIAH

nyataan



Galih Pamungkas  
NPM. 1015021032

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 25 Oktober 1992 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Jarot Supratman dan Ibu Yuni Suprapti.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di Taman Kanak – Kanak (TK) Al-Hikmah Way Halim pada tahun 1998, Pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 1 Way Kandis pada tahun 2004, Pendidikan sekolah menengah pertama di MTS Negeri 2 Bandar Lampung pada tahun 2007 dan Pendidikan sekolah menengah atas di SMK Negeri 2 Bandar Lampung pada tahun 2010. Penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2010 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Divisi Pendidikan dan Pelatihan (Diklat) pada periode 2011-2012 dan menjadi Ketua Divisi Penerbitan pada periode 2012-2013. Pada tahun 2011 penulis juga menjadi ketua Divisi Penelitian pada Unit Kegiatan Mahasiswa Fakultas Teknik Bidang Karya Tulis Cremona. Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. Garuda Bumi Perkasa Mesuji



Lampung pada tahun 2013. Penulis mulai melakukan penelitian sejak bulan Mei 2015 dan mengambil judul “Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Baja Karbon *Medium*” dibawah bimbingan Bapak Tarkono, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping.



## **PERSEMBAHAN**

*Dengan segala ketulusan hati, sebuah karya sederhana ini kupersembahkan untuk:*

**Orang tuaku, Bapak Jarot Supratman  
dan Ibu Yuni Suprapti**

**Kakakku Wulan Febriyani  
Adikku Putri Ayu Nurjannah**

**Sahabat serta keluarga Teknik Mesin 2010**

*ALMA MATERKU TERCINTA  
UNIVERSITAS LAMPUNG*





*Tidak penting kita menang atau kalah, Tuhan tidak mewajibkan manusia untuk menang sehingga kalah pun bukan dosa. Yang terpenting adalah apakah seseorang mau berjuang atau tidak berjuang.*

*- Emha Ainun Nadjib -*



## SANWACANA

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat karunia, rahmat dan hidayah yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Skripsi ini berjudul “Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Baja Karbon *Medium*”. Semua sumber yang dirangkum dan dijadikan acuan, berasal dari buku-buku yang berkaitan dengan tema, jurnal dan prosiding nasional maupun internasional dan Tugas Akhir Mahasiswa dari kampus ternama dari seluruh Indonesia. Hasil dari penelitian disajikan secara terstruktur didalam skripsi ini sehingga para pembaca dapat memahaminya secara utuh dan mudah.

Dalam penulisan skripsi ini penulis banyak mendapat bimbingan, masukan, motivasi dan bantuan baik moral maupun materi oleh banyak pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P., selaku Rektor Universitas Lampung
2. Prof. Dr. Suharno MS, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
3. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Harnowo supriadi, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

5. Bapak Tarkono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga, ide pemikiran dan semangat yang telah diberikan untuk membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu saran dan masukan sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
7. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T., selaku dosen pembahas yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta memberikan saran, kritikan dan masukan kepada penulis sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
9. Kedua orang tua tercinta Bapak Jarot Supratman dan Ibu Yuni Suprpti yang telah memberikan dukungan penuh, do'a, materi, dan kesabaran sepanjang penulis menjalani studi sampai dapat menyelesaikan skripsi.
10. Kakak saya Wulan Febriyani dan Adik saya Putri Ayu Nurjannah serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, do'a dan membantu penulis.
11. Teman-teman seperjuangan tugas akhir (Nur Saiin, Rahmat Dani, Agung Aditya Priono dan Fiskan Yulistiawan) yang telah bersama-sama menyelesaikan tugas akhir ini dengan suka dan duka.
12. Belahan jiwa saya Eka Fitria Andriani, yang telah banyak memberikan dukungan dan inspirasi kepada penulis.
13. Semua rekan di Teknik Mesin Khususnya rekan seperjuangan angkatan 2010 untuk kebersamaan yang telah dijalani, “ Salam *Solidarity Forever*”.
14. Staf Akademik serta staf Laboratorium yang telah banyak membantu penulis.
15. Dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun Penulis memiliki harapan agar skripsi yang sederhana ini dapat memberi inspirasi

dan berguna bagi semua kalangan civitas akademik maupun masyarakat Indonesia. Aamiin.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Bandar Lampung, Desember 2016  
Penulis,

Galih Pamungkas  
NPM. 1015021032

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>COVER DALAM</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xx</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	5
C. Batasan Masalah .....	5
D. Sistematika Penulisan .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Baja Karbon .....	8
1. Baja Karbon Rendah .....	9
2. Baja Karbon Sedang .....	9

3. Baja Karbon Tinggi.....	9
B. Pengelasan.....	11
1. Pengelasan Cair ( <i>fusion welding</i> ).....	11
2. Pengelasan Tekan ( <i>pressure welding</i> ).....	12
3. Pematrian .....	13
C. Las <i>Tungsten Inert Gas</i> (TIG) atau Gas Tungsten Arc Welding (GTAW).....	14
1. Prinsip Kerja Las TIG atau GTAW .....	15
2. Kelebihan Las GTAW atau TIG .....	16
3. Kekurangan Las GTAW arau TIG.....	17
4. Elektroda Tungsten .....	17
D. Parameter Pengelasan <i>Tungsten Inert Gas</i> (TIG) .....	21
1. Kecepatan Pengelasan ( <i>travel speed</i> ).....	21
2. Tegangan Busur .....	22
3. Arus Busur .....	23
4. Penentuan Penggunaan Arus AC dan DC.....	24
5. Pengumpanan Kawat Las ( <i>wire feed</i> ) .....	26
6. Gas Argon .....	27
E. Kuat Arus Pengelasan .....	28
F. <i>Heat Input</i> Pengelasan .....	29
G. Jenis Jenis Sambungan Las .....	30
1. Sambungan Tumpul dan Temu bidang ( <i>butt joint</i> ).....	31
2. Sambungan Tumpang ( <i>lap joint</i> ) .....	32
3. Sambungan Bentuk T ( <i>tee joint</i> ).....	33
4. Sambungan Sudut ( <i>corner joint</i> ).....	33
5. Sambungan Sisi ( <i>edge joint</i> ) .....	34
H. Posisi Pengelasan .....	34
1. Posisi Pengelasan Dibawah Tangan ( <i>down hand position</i> ) .....	35
2. Posisi Pengelasan Mendatar ( <i>horizontal position</i> ).....	35
3. Posisi Pengelasan Tegak ( <i>vertical position</i> ) .....	36
4. Posisi Pengelasan Diatas Kepala ( <i>over head position</i> ) .....	36
I. Metalurgi Las .....	37
J. Kekuatan Tarik.....	41
K. Pengujian Struktur Mikro .....	43
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
A. Tempat Penelitian .....	45
B. Alat dan Bahan.....	46
1. Peralatan Untuk Pembuatan Spesimen Uji .....	46
2. Peralatan Untuk Pengujian Spesimen .....	47
3. Bahan .....	47
C. Prosedur Penelitian .....	48
1. Persiapan Spesimen Uji .....	48



2. Proses Pengelasan .....	50
3. Pembuatan Spesimen Uji .....	51
4. Jumlah Spesimen .....	52
5. Pengujian.....	53
6. Analisis .....	54
D. Diagram alir Penelitian .....	55
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Data Penelitian .....	57
1. Karakteristik Baja Karbon <i>Medium</i> .....	57
2. Elektroda dan Logam Pengisi .....	59
3. Data Proses Pengelasan.....	59
4. Hasil Pengelasan .....	60
B. Data Hasil Pengujian.....	61
1. Data Nilai Uji Tarik .....	61
2. Data Nilai Perpanjangan .....	66
C. Hasil Uji Struktur Mikro .....	69
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Simpulan .....	76
B. Saran .....	77

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Proses Pengelasan TIG .....	14
2. Skema Las TIG .....	16
3. Penggerindaan Elektroda Tungsten .....	20
4. Pengaruh Kecepatan Pengelasan Terhadap Penetrasi dan Lebar Lajur Las .....	21
5. Pengaruh Arus Listrik Dan Kecepatan Pengelasan .....	28
6. Jenis – Jenis Sambungan Dasar Pada Pengelasan .....	31
7. Jenis – Jenis Alur Sambungan Las .....	32
8. Kampuh Sambungan Tumpang .....	33
9. Posisi Pengelasan .....	35
10. Daerah Lasan .....	38
11. Struktur Mikro <i>Ferrite</i> .....	38
12. Struktur Mikro <i>Cementite</i> .....	39
13. Struktur Mikro Perlit .....	40
14. Struktur Mikro Martensit .....	40
15. Kurva Tegangan - Regangan Teknik .....	42
16. Batas Elastis Dan Tegangan Luluh .....	42
17. Mesin Uji Tarik .....	43
18. Alat Uji Struktur Mikro .....	44

19. Dimensi Sambungan Tumpul Dengan Alur V Tunggal .....	49
20. Dimensi Spesimen Uji tarik .....	51
21. Diagram Alir Penelitian.....	56
22. Hasil Pengelasan.....	60
23. Diagram Hubungan Antara Kekuatan Tarik Dan Kuat Arus .....	62
24. Kurangnya Penembusan Pada Pengelasan Kuat Arus 160 <i>Ampere</i> .....	64
25. Penembusan Yang Terlalu Dalam Pada Pengelasan 200 <i>Ampere</i> .....	65
26. Diagram Hubungan Antara Perpanjangan Dengan Kuat Arus.....	66
27. Foto Struktur Mikro <i>Raw</i> Material Dan Material Hasil Pengelasan .....	69

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Kimia Baja Karbon <i>Medium</i> .....	10
2. Elektroda Tungsten.....	18
3. Penggunaan Elektroda Tungsten Untuk Mengelas Baja Karbon .....	19
4. Logam dan Jenis Arus yang sesuai Untuk las TIG .....	25
5. Variabel Proses Pengelasan TIG Untuk Baja Karbon.....	26
6. Komposisi Kimia Baja Karbon <i>Medium</i> .....	48
7. Spesifikasi Elektroda EWTh-2.....	49
8. Jumlah Spesimen Uji.....	52
9. Contoh Tabel Data Kekuatan Tarik.....	54
10. Komposisi Kimia Baja Karbon <i>Medium</i> .....	57
11. Elektroda Tungsten.....	59
12. Komposisi Logam Pengisi.....	59
13. Data Hasil Pengujian Tarik Baja Karbon <i>Medium</i> .....	61
14. Data Hasil Perpanjangan Uji Tarik Baja Karbon <i>Medium</i> .....	66

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan
$A_0$ : Luas mula penampang .....	( $\text{mm}^2$ )
$E$ : Modulus elastisitas bahan .....	( $\text{kg/mm}^2$ , $\text{N/mm}^2$ )
: Regangan .....	(%)
: Tegangan .....	( $\text{kg/mm}^2$ , $\text{N/mm}^2$ )
$u$ : Tegangan <i>ultimate</i> .....	( $\text{kg/mm}^2$ , $\text{N/mm}^2$ )
$F$ : Beban, gaya .....	(kg, N)
$L_0$ : Panjang awal .....	(mm)
$L$ : Panjang Akhir .....	(mm)
$HI$ : <i>Heat Input</i> .....	(Joule)
$I$ : Kuat Arus .....	(Ampere)
$E$ : Tegangan .....	(Volt)
$V$ : Kecepatan Pengelasan .....	(mm/s)

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Pada teknologi produksi dengan menggunakan bahan baku logam, pengelasan merupakan proses pengerjaan yang memegang peranan sangat penting. Saat ini hampir tidak ada logam yang tidak dapat dilas, karena telah banyak teknologi baru yang ditemukan dengan cara-cara pengelasan. Pengelasan didefinisikan sebagai penyambungan dua logam atau paduan logam dengan memanaskan di atas batas cair atau di bawah batas cair logam disertai penetrasi maupun tanpa penetrasi, serta diberi logam pengisi atau tanpa logam pengisi [Howard, 1989].

Dalam merancang suatu konstruksi permesinan atau bangunan yang menggunakan sambungan las banyak faktor yang harus diperhatikan seperti keahlian dalam mengelas, pengetahuan yang memadai tentang prosedur pengelasan, sifat-sifat bahan yang akan dilas dan lain-lain. Prosedur pengelasan antara lain pemilihan parameter las seperti: tegangan busur las, besar arus las, penetrasi, kecepatan pengelasan dan beberapa kondisi standar pengelasan seperti: bentuk alur las, tebal pelat, jenis elektroda dan diameter inti elektroda, dimana parameter-parameter tersebut mempengaruhi sifat mekanik logam las [Wiryosumarto, 2000].

Baja karbon sangat banyak jenisnya, dimana komposisi kimia, sifat mekanis, ukuran, bentuk dan sebagainya dispesifikasikan untuk masing-masing penggunaan. Baja biasanya memiliki unsur didalamnya seperti: *manganese*, *chromium*, *nickel*, dan *molybdenum*, tetapi kadar karbonnya merupakan salah satu yang menentukan besi tersebut menjadi baja. Bahan material baja adalah bahan yang paling banyak digunakan, selain jenisnya bervariasi, dapat diolah atau dibentuk menjadi berbagai macam bentuk yang diinginkan serta kuat. Salah satu jenis baja karbon yang paling banyak digunakan adalah baja karbon sedang.

Baja karbon sedang memiliki kadar karbon antara 0,30 % sampai 0,60 % yang bersifat lebih kuat, keras dan dapat dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah yaitu sebagai baja konstruksi mesin, bahan baut, poros, piston, roda gigi, dan lain-lain. Pada umumnya pengelasan pada badan kapal yang banyak digunakan adalah pengelasan dengan proses las busur listrik (SMAW), las busur rendam (SAW) dan proses las busur listrik dengan pelindung gas (FCAW atau GTAW) dari material baja karbon dan baja kekuatan tarik tinggi [Sunaryo, 2008].

*Tungsten Inert Gas (TIG)* atau disebut juga *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)* adalah proses pengelasan menggunakan panas dari busur listrik yang terbentuk antara elektroda tungsten yang tidak terumpan dengan menggunakan gas mulia sebagai pelindung terhadap pengaruh udara luar, sehingga tidak menghasilkan terak (kotoran las) dan bebas dari terbentuknya percikan las (*spatter*). Elektroda menggunakan batang *wolfram* yang dapat menghasilkan busur listrik tanpa ikut

mencair, kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi (penembusan) pengelasan akan dapat dikendalikan dengan baik. Cara pengaturan ini memungkinkan las TIG cocok digunakan baik untuk pelat baja tipis maupun pelat baja tebal.

Pada pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) tinggi rendahnya temperatur salah satunya ditentukan oleh besaran arus listrik yang dialirkan, perubahan struktur mikro logam salah satu dampaknya berpengaruh pada kekuatan mekanik suatu logam. Kuat arus merupakan parameter las yang sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap besar masuknya panas pada proses pengelasan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Sckolastika ninien dan Ponimin (2011) mengenai pengaruh variasi penggunaan besaran arus las *Tungsten Inert Gas* (TIG) terhadap perubahan struktur mikro, kuat arus pengelasan merupakan satu hal yang sangat penting dalam pengelasan, hal ini dikarenakan besar arus sangat menentukan temperatur pengelasan. Besarnya temperatur pengelasan akan mempengaruhi laju kecepatan pendinginan, laju pendinginan sangat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanis dari hasil pengelasan. Dari hasil uji tarik pada penggunaan arus 90 *ampere* didapat kekuatan tegangan maksimum sebesar 41,99 kg/mm<sup>2</sup>, pada penggunaan arus 100 *ampere* didapat tegangan maksimum 42,25 kg/mm<sup>2</sup> dan pada penggunaan arus 110 *ampere* didapat tegangan maksimum sebesar 46,19 kg/mm<sup>2</sup>. Jadi semakin besar arus yang digunakan semakin tinggi tegangan maksimumnya, hal ini menunjukkan peningkatan sifat mekanis bila pengelasan dilakukan pada arus yang lebih tinggi.



Penelitian tentang pengaruh variasi arus listrik terhadap sifat mekanis sambungan las *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW), diperoleh kedalaman peleburan sambungan las berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las, semakin tinggi arus las semakin dalam peleburan sambungan las dan semakin rendah arus las semakin dangkal peleburan sambungan las. Pada arus 95 *ampere* didapat kekuatan tarik sebesar 591,7 MPa, pada arus 115 *ampere* didapat kekuatan tarik sebesar 618,6 MPa dan arus 130 *ampere* didapat kekuatan tarik sebesar 668,2 MPa. Dalam hal ini arus 130 *ampere* memiliki kedalaman lebur yang tinggi sehingga menghasilkan kekuatan sambungan las yang baik [Samsudin, 2012].

Pada penelitian Eko Suryono (2014) mengenai pengaruh kuat arus pengelasan pada sambungan las TIG terhadap sifat fisis dan mekanis plat baja karbon rendah menyimpulkan bahwa pada kuat arus pengelasan yang lebih tinggi menghasilkan kekuatan mekanis yang lebih baik. Dari grafik hasil uji tarik didapat pada penggunaan arus 90 *ampere* menghasilkan kekuatan tarik sebesar 13,2 kg/mm<sup>2</sup>, arus 120 *ampere* menghasilkan kekuatan tarik 21,5 kg/mm<sup>2</sup> dan arus 150 *ampere* menghasilkan kekuatan tarik sebesar 28,1 kg/mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan uraian di atas, salah satu yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengelasan (khususnya pada pengelasan TIG) adalah kuat arus pengelasan. Untuk mengetahui pengaruh kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada sambungan las maka perlu dilakukan pengujian yang dalam hal ini dilakukan pada logam baja karbon sedang dengan proses pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG). Oleh karena itu, dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis

mengambil judul “**PENGARUH VARIASI KUAT ARUS PENGELASAN TUNGSTEN INERT GAS (TIG) TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON *MEDIUM***”.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kuat arus pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro baja karbon *medium*.

## **C. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan Las *Tungsten Inert Gas* (TIG) atau *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW).
2. Material yang digunakan yaitu baja karbon *medium* dengan tebal 12 mm.
3. Diameter elektroda tungsten yang digunakan yaitu 3,2 mm.
4. Kuat arus yang digunakan adalah 160 *ampere*, 180 *ampere* dan 200 *ampere*.
5. Jenis sambungan yang dipakai adalah sambungan tumpul (*butt joint*) jenis V tunggal.
6. Pengujian dilakukan dengan uji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik hasil sambungan las dengan dimensi spesimen uji sesuai standar ASTM E-8 dan foto mikro untuk mengetahui struktur mikro pada hasil lasan atau daerah logam las.

#### **D. Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan Sistematika penulisan dari penelitian ini.

##### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang pengelasan, klasifikasi pengelasan, jenis sambungan, las TIG, baja dan parameter-parameter lain yang berhubungan dengan penelitian.

##### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang tempat dan waktu pelaksanaan, alat dan bahan, komponen, prosedur pengujian dan diagram alir.

##### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi data-data yang terdapat di lapangan dan pembahasan masalah-masalah dari hasil pengamatan proses penyambungan, variasi tungsten terhadap hasil kekuatan tarik dan lain-lain .

##### **BAB V : SIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini menyimpulkan dari hasil dan pembahasan sekaligus memeberikan saran yang dapat menyempurnakan pelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Berisikan tentang literatur-literatur dan refrensi yang digunakan dalam penulisan dan penyusunan dalam laporan ini.

**LAMPIRAN**

Berisikan data-data yang mendukung dalam penyusunan laporan ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Baja Karbon**

Baja adalah logam paduan antara besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2 % hingga 2,1 % sesuai gradenya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium dan nikel. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja meningkatkan kekerasan (*hardness*), namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) [Anonymous A, 2012].

Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk [Davis, 1982].

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit tambahan Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja sangat tergantung pada kadar karbon, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya [Wiryosumatro, 2000].

### 1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0,3 %. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis *cold roll steel* dengan kandungan karbon 0,08 % - 0,30 % yang biasa digunakan untuk body kendaraan [sack, 1997].

### 2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,30 % - 0,60 %. Baja karbon sedang memiliki kekuatan yang lebih baik dari baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas yang tinggi. Baja karbon sedang biasa dilas dengan las busur listrik elektroda terlindungi dan proses pengelasan yang lain. Untuk hasil yang lebih baik maka dilakukan pemanasan mula sebelum pengelasan dan *normalizing* setelah pengelasan [sack, 1997].

### 3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon paling tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon yang lain, yakni memiliki kandungan karbon 0,60 % - 1,7 %. Kebanyakan baja karbon tinggi sukar untuk dilas jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang [Sack, 1997].

Pada penelitian ini jenis material yang digunakan adalah baja karbon *medium*. Baja karbon *medium* adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sebesar 0,36% dan termasuk golongan baja karbon menengah [Glyn.*et.al*, 2001]. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor dan konstruksi umum. Komposisi kimia dari baja karbon *medium* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon *medium* [Pengujian LIPI]

<b>Nama Unsur</b>	<b>Lambang</b>	<b>Persentasi (%)</b>
Carbon	C	0.361
Silikon	Si	0.304
Mangan	Mn	0.525
Fosfor	P	0.0186
Belerang	S	0.0074
Chromium	Cr	1.16

Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros, bantalan dan konstruksi umum. Pada aplikasinya baja ini harus mempunyai ketahanan aus yang baik karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan [Avner, 1974].

## B. Pengelasan

Berdasarkan pengertian dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan logam yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Penggolongan jenis las ditinjau dari sumber panas di bagi menjadi sumber panas mekanik, sumber panas listrik, dan sumber panas kimia. Sedangkan menurut cara pengelasannya di bagi pengelasan pengelasan cair (*fusion welding*), pengelasan tekan (*pressur welding*) dan pematrian [Wiryosumarto, 2000].

### 1. Pengelasan Cair (*fusion welding*)

Pengelasan cair (*fusion welding*) adalah proses mencairkan logam dengan cara mencairkan logam yang tersambung.

Jenis – jenis pengelasan cair yaitu sebagai berikut :

- a. *Oxyacetyline Welding*
- b. *Electric Arc Welding*
- c. *Shield Gas Arc Welding*
  - 1) *TIG (Tungsten Inert Gas)*
  - 2) *MIG (Metal Inert Gas)*
  - 3) *MAG (Metal Aktive Gas)*
  - 4) *Submerged Welding*
- d. *Resistance Welding*
  - 5) *Spot welding*
  - 6) *Seam Welding*
  - 7) *Upset Welding*
  - 8) *Flash Welding*
  - 9) *Electro Slag Welding*



### *10) Electro Gas Welding*

- e. *Electro beam Welding*
- f. *Laser Beam Welding*
- g. *Plasma Welding*

## 2. Pengelasan Tekan (*Pressure Welding*)

Pengelasan tekan (*pressure Welding*) yaitu pengelasan dimana kedua logam yang disambung, dipanaskan hingga meleleh, lalu keduanya ditekan hingga menyambung. Adapun pengelasan tekan itu dibagi menjadi :

### a. Pengelasan Tempa

Merupakan proses pengelasan yang diawali dengan proses pemanasan pada logam yang diteruskan dengan penempaan sehingga terjadi penyambungan logam.

### b. Pengelasan Tahanan

Proses ini meliputi :

#### 1) Las Proyeksi

Merupakan proses pengelasan yang hasil pengelasannya sangat dipengaruhi oleh distribusi arus dan tekanan yang tepat. Prosesnya yaitu plat yang disambung dijepit dengan elektroda dari paduan tembaga kemudian dialiri arus yang besar.

#### 2) Las Titik

Prosesnya hampir sama dengan las proyeksi yaitu pelat yang akan disambung dijepit dahulu dengan elektroda dari paduan tembaga, kemudian dialiri arus yang besar dan waktunya dapat diatur sesuai dengan ketebalan plat yang akan dilas.

### 3) Las Kampuh

Merupakan proses pengelasan yang menghasilkan sambungan las yang kontinyu pada dua lembar logam yang tertumpuh. Ada tiga jenis las kampuh, yaitu las kampuh sudut, las kampuh tumpang sederhana dan las kampuh penyelesaian.

### 3. Pematrian

Pematrian adalah seperti pengelasan cair, akan tetapi bedanya adalah penggunaan bahan tambalan atau *filler* yang mempunyai titik leleh dibawah titik leleh logam induk. Pengelasan fusion dapat dibedakan menjadi :

#### a. Pengelasan Laser

Pengelasan laser merupakan pengelasan yang lambat dan hanya diterapkan pada lasan yang kecil, khususnya dalam industri elektronika.

#### b. Pengelasan listrik berkas elektron

Pengelasan jenis ini digunakan untuk pengelasan pada logam biasa, logam tahan api, logam yang mudah teroksidasi dan beberapa jenis paduan super yang tak mungkin dilas.

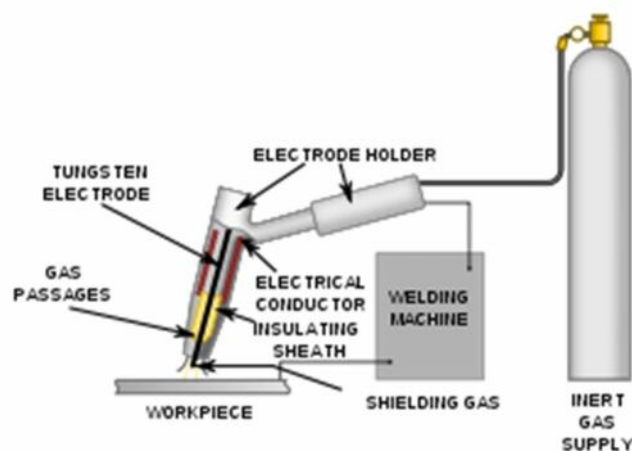
#### c. Pengelasan *thermit*

Merupakan satu-satunya pengelasan yang menggunakan reaksi kimia eksotermis sebagai sumber panas. *Thermit* merupakan campuran serbuk Al dan Oksida besi dengan perbandingan 1 : 3.

Sumber: [www.Scribid/Proses-Pengelasan.com](http://www.Scribid/Proses-Pengelasan.com)

### C. Las Tungsten Inert Gas Welding (TIG) atau Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

Las Tungsten Inert Gas (TIG) atau Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) adalah jenis pengelasan dengan memakai busur nyala api yang menghasilkan elektroda tetap yang terbuat dari tungsten (*wolfram*), sedangkan bahan penambah terbuat dari bahan yang sama atau sejenis dengan bahan yang dilas dan terpisah dari *torch*. Untuk mencegah oksidasi, maka dipakai gas pelindung yang keluar dari *torch* biasanya berupa gas argon dengan kemurnian mencapai 99,99%. Pada proses pengelasan ini peleburan logam terjadi karena panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dan logam induk [Aljufri, 2008]. Proses pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) dapat dilihat seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Proses Pengelasan TIG (Wahida, 2013).

Tungsten Inert Gas (TIG) adalah suatu proses pengelasan busur listrik elektroda tidak terumpan, dengan menggunakan gas mulia sebagai pelindung terhadap pengaruh udara luar. Pada proses pengelasan TIG peleburan logam terjadi karena panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan logam induk. Pada jenis pengelasan ini logam pengisi dimasukkan ke dalam daerah arus busur

sehingga mencair dan terbawa ke logam induk. Las TIG dapat dilaksanakan secara manual atau secara otomatis dengan mengotomatisasikan cara pengumpanan logam pengisi [Aljufri, 2008].

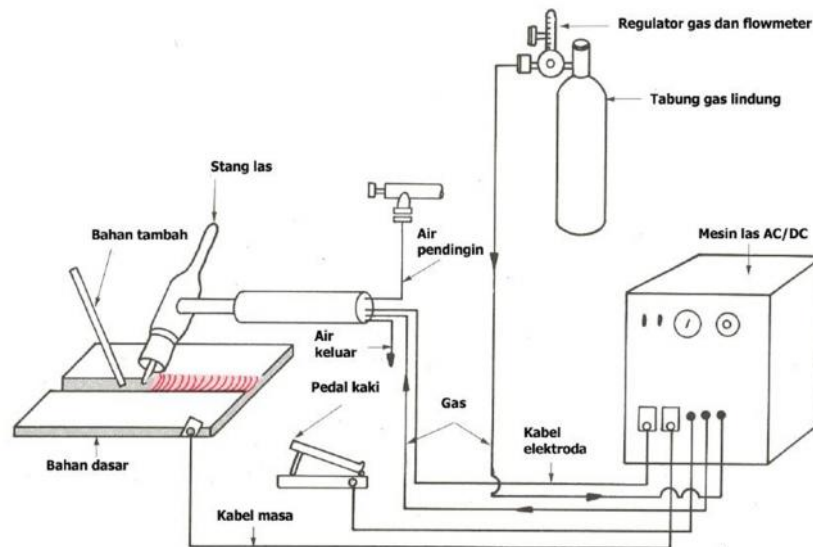
#### 1. Prinsip Kerja Las TIG atau GTAW

Pada gambar 2 menunjukkan skema atau cara pelaksanaan pengelasan GTAW. Prosesnya menggunakan gas pelindung untuk mencegah terjadinya oksidasi pada bahan las yang panas. Untuk menghasilkan busur nyala, digunakan elektroda yang tidak terkonsumsi terbuat dari logam tungsten atau paduannya yang mempunyai titik lebur sangat tinggi [Sriwidharto, 2006].

Busur nyala dihasilkan dari arus listrik melalui konduktor dan mengionisasi gas pelindung. Busur terjadi antara ujung elektroda tungsten dengan logam induk. Panas yang dihasilkan busur langsung mencairkan logam induk dan juga logam las berupa kawat las (*rod*). Penggunaan kawat las tidak selalu dilaksanakan (hanya jika dirasa perlu sebagai logam penambah). Pencairan kawat las dilaksanakan di ujung kolam las yang sambil proses pengelasan berjalan.

Terdapat 4 (empat) komponen dasar atau komponen utama dari las GTAW, yaitu [Sriwidharto, 2006]:

1. Obor (*torch*)
2. Elektroda tidak terkonsumsi (*tungsten*)
3. Sumber arus las
4. Gas pelindung



Gambar 2. Skema Las TIG (Tim Fakultas Teknik UNY, 2004).

## 2. Kelebihan Las GTAW atau TIG

Berikut ini adalah beberapa keuntungan penggunaan GTAW atau TIG [Sriwidharto, 2006]:

- a. Menghasilkan sambungan bermutu tinggi, biasanya bebas cacat.
- b. Bebas dari terbentuknya percikan las (*spatter*).
- c. Dapat digunakan dengan atau tanpa bahan tambahan (*filler metal*)
- d. Penetrasi (tembusan) pengelasan akan dapat dikendalikan dengan baik.
- e. Produksi pengelasan *autogenous* tinggi dan murah.
- f. Dapat menggunakan sumber tenaga yang relatif murah.
- g. Memungkinkan untuk mengendalikan variabel atau parameter las secara akurat.
- h. Dapat digunakan hampir pada semua jenis metal termasuk pengelasan metal berbeda.
- i. Memungkinkan pengendalian mandiri sumber panas maupun penambahan *filler metal*.

### 3. Kekurangan Las GTAW atau TIG

Berikut ini adalah beberapa kekurangan dari proses pengelasan GTAW atau TIG [Sriwidharto, 2006]:

- a. Laju deposisi material lebih rendah dibandingkan pengelasan dengan elektroda terkonsumsi.
- b. Memerlukan ketrampilan tangan dan koordinasi juru las lebih tinggi dibandingkan dengan las GMAW (MIG) atau SMAW.
- c. Untuk penyambungan bahan  $> 3/8$  in (10 mm), GTAW lebih mahal dari pada las dengan elektroda terkonsumsi.
- d. Jika kondisi lingkungan terdapat angin yang cukup kencang, fungsi gas pelindung akan berkurang karena terhembus angin.

### 4. Elektroda Tungsten

Elektroda tungsten adalah elektroda tidak terumpan (*nonconsumable electrode*) yang berfungsi sebagai pencipta busur nyala saja yang digunakan untuk mencairkan kawat las yang ditambahkan dari luar dan benda yang akan disambung menjadi satu kesatuan sambungan. Elektroda ini tidak berfungsi sebagai logam pengisi sambungan sebagaimana yang biasa dipakai pada elektroda batang las busur metal maupun elektroda gulungan pada las MIG [Tim Fakultas Teknik UNY, 2004].

Titik lebur metal tungsten adalah  $6.170^{\circ}\text{F}$  ( $3.410^{\circ}\text{C}$ ). Pada saat tungsten mendekati suhu tersebut, sifatnya menjadi *thermonic* (sumber pemasok elektron). Suhu tersebut dihasilkan melalui tahanan listrik, jika saja bukan karena pengaruh pendinginan dari penguapan elektron yang keluar dari ujung elektroda, elektroda tersebut akan mencair oleh panas yang dihasilkan dari

tahanan listrik tersebut. Pada kenyataannya suhu pada ujung elektroda jauh lebih dingin daripada bagian dari elektroda diantara ujungnya dan bagian *collet* yang paling dingin [Sriwidharto, 2006]. Ada beberapa tipe elektroda tungsten yang biasa dipakai dalam pengelasan TIG yang dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Elektroda tungsten

Klasifikasi AWS	Perkiraan Komposisi	Kode warna
EWP	Tungsten murni	Hijau
EWCe-2	97,3% tungsten, 2% cerium oksida	Oranye
EWLa-1	98,3% tungsten, 1% lanthanum oksida	Hitam
EWTh-1	98,3% tungsten, 1% thorium oksida	Kuning
EWTh-2	97,3% tungsten, 2% thorium oksida	Merah
EWZr-1	99,1% tungsten, 0,25% zirconium oksida	Coklat
EWG	94,5% tungsten, sisa tidak disebut	Abu-abu

Sumber: Cary, 1993

Tabel di atas disusun berdasarkan Klasifikasi AWS dimana kode:

E: elektroda

W: wolfram atau tungsten

P: tungsten murni (*pure tungsten*)

G: umum (*general*) dimana komposisi tambahan biasa tidak disebut.

C e - 2, La-1, Th-1, Th-2, dan Zr-1 masing-masing adalah komposisi tambahan sebagaimana yang dapat dilihat pada tabel 2.

Elektroda tungsten murni biasa digunakan untuk pengelasan AC pada pengelasan aluminium maupun magnesium. Elektroda tungsten thorium digunakan untuk pengelasan DC. Elektroda tungsten *Zirconium* digunakan untuk AC- HF Argon dan AC *Balanced Wave Argon*. Elektroda tungsten disediakan dalam berbagai ukuran diameter dan panjang. Untuk diameter dari mulai ukuran 0,254 mm sampai dengan 6,35 mm. Untuk panjang disediakan mulai dari 76,2 mm sampai dengan 609,6 mm.

Pada penelitian ini, elektroda tungsten yang digunakan adalah elektroda tungsten EWTh-2 karena material yang digunakan adalah baja karbon sedang dengan menggunakan arus DC negatif. Telah dilakukan penelitian mengenai nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh pada spesimen baja paduan rendah menggunakan las TIG dengan menggunakan elektroda tungsten EWTh-2 dan EWP, diperoleh nilai tegangan tarik tertinggi yaitu 382,7 MPA pada kuat arus 130 *Ampere* dengan menggunakan elektroda tungsten EWTh-2 [Inggi, 2014].

Penggunaan elektroda tungsten untuk pengelasan baja karbon dapat dilihat pada table 3 dibawah ini.

Tabel 3. Penggunaan elektroda tungsten untuk mengelas baja karbon

Diameter elektrode mm	Arus las			
	AC		Elektrode negatif	Elektrode positif
	YWP	YWth	Ywp, YWth	Ywp, YWth
0.5	5 ~ 15	5 ~ 20	5 ~ 20	--
1.0	10 ~ 60	15 ~ 80	15 ~ 80	--
1.6	50 ~ 100	70 ~ 150	70 ~ 150	10 ~ 20

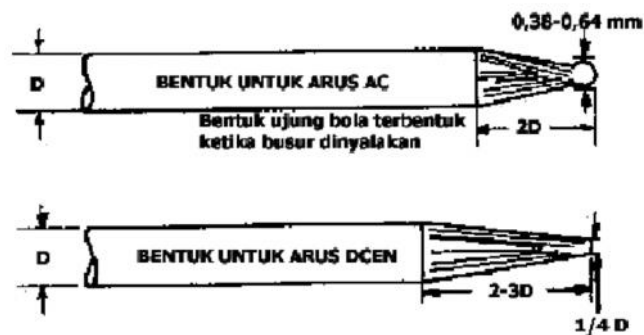


Tabel 3. Penggunaan elektroda tungsten untuk mengelas baja karbon (Lanjutan).

2.4	100 ~ 160	140 ~ 235	150 ~ 250	15 ~ 30
3.2	150 ~ 210	225 ~ 325	250 ~ 400	25 ~ 40
4.0	200 ~ 275	300 ~ 425	400 ~ 500	40 ~ 55
4.8	250 ~ 350	400 ~ 525	500 ~ 800	55 ~ 80
6.4	325 ~ 475	500 ~ 700	800 ~ 1100	80 ~ 125

Sumber: Heri Sunaryo, 2008

Pengasahan elektroda tungsten dilakukan membujur dengan arah putaran gerinda. Pengasahan dengan arah ini akan mempermudah aliran arus yang akan digunakan di dalam pengelasan, sebaliknya jika penggerindaan dilakukan melintang dengan arah putaran batu gerinda akan mengakibatkan terhambatnya jalannya arus yang digunakan untuk mengelas. Adapun ukuran penggerindaan elektroda tungsten dapat dilihat pada Gambar 3.



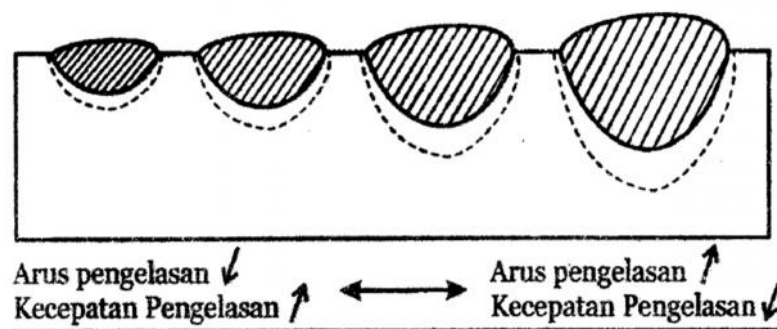
Gambar 3. Penggerindaan elektroda tungsten (Tim Fakultas Teknik UNY, 2004).

#### D. Parameter Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG)

Parameter utama pada pengelasan TIG adalah tegangan busur (*arc length*), arus pengelasan, kecepatan gerak pengelasan (*travel speed*), dan gas pelindung. Jumlah energi yang dihasilkan oleh busur sebanding dengan arus dan tegangan yang dialirkan, sedangkan jumlah bahan las yang dideposisikan persatuan panjang berbanding terbalik dengan kecepatan gerak pengelasan. Busur yang dihasilkan dengan gas pelindung helium lebih dalam dari pada dengan gas argon [Sriwidharto, 2006].

##### 1. Kecepatan Pengelasan (*Travel speed*)

Kecepatan pengelasan mempengaruhi lebar lajur las dan kedalaman penetrasi TIG dan juga berpengaruh terhadap biaya. Pada beberapa aplikasi, kecepatan pengelasan dipandang sebagai obyektif bersama dengan variabel lainnya dipilih untuk mendapatkan konfigurasi las yang dikehendaki pada kecepatan tertentu [Sriwidharto, 2006].



Gambar 4. Pengaruh Kecepatan Pengelasan Terhadap Penetrasi dan Lebar Lajur Las (Sonawan, 2003).

Pada kasus lain, kecepatan pengelasan mungkin merupakan variabel yang tidak bebas yang dipilih dengan variabel lain untuk mendapatkan mutu dan keseragaman las yang diperlukan. Pada jenis mekanisasi las, kecepatan

pengelasan biasanya tetap untuk segala jenis obyek pengelasan, sedang variabel lainnya seperti arus dan tegangan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan [Sriwidharto, 2006].

## 2. Tegangan Busur

Tegangan yang diukur antara elektroda tungsten dengan bahan induk biasanya disebut tegangan busur. Tegangan busur ini sangat tergantung pada hal-hal sebagai berikut [Sriwidharto, 2006]:

- a. Arus busur
- b. Bentuk ujung elektroda tungsten
- c. Jarak antara elektroda tungsten dengan bahan induk
- d. Jenis gas lindung

Tegangan arus dipengaruhi oleh variabel lainnya, dan digunakan untuk menjelaskan prosedur las karena mudah diukur. Karena variabel lainnya seperti gas lindung, elektroda dan jenis arus telah ditentukan sebelumnya, maka tinggal tegangan busur saja yang digunakan untuk mengendalikan panjang busur meskipun tegangan busur merupakan variabel yang sulit dipantau.

Panjang busur pada proses pengelasan sangat menentukan lebar dari kolam las. Untuk semua pengelasan GTAW kecuali pengelasan pada pelat tipis (*sheet*), busur listrik harus dipertahankan sependek mungkin, oleh karenanya juru las harus selalu waspada agar ujung elektroda pengumpanan tercelup kedalam kolam las. Namun dengan sistem mekanisasi las yang menggunakan helium sebagai gas lindung dan arus listrik DCEN (*direct current electrode negative*) serta kuat arus yang relatif cukup penetrasi yang cukup dalam, lajur las yang

sempit dan kecepatan las yang tinggi. Teknik ini disebut dengan las busur terendam (*burrried arc*) [Sriwidharto, 2006].

### 3. Arus Busur

Secara umum dapat dikatakan bahwa arus pengelasan menentukan penetrasi las karena berbanding langsung, atau paling tidak secara eksponensial. Arus busur juga mempengaruhi tegangan. Jika voltasenya tetap maka arus bertambah. Karenanya untuk mempertahankan panjang busur pada kepanjangan tertentu, perlu untuk mengubah penyetelan tegangan manakala arus disetel.

GTAW atau TIG dapat menggunakan arus searah maupun arus bolak-balik. Pemilihan arus tergantung pada jenis bahan yang akan dilas. Arus searah dengan elektroda pada bagian negatif dapat menghasilkan penetrasi yang cukup dalam dan kecepatan las yang lebih tinggi, terutama apabila gas lindungnya adalah helium. Namun dalam aplikasinya, pada pengelasan TIG gas pelindung yang banyak digunakan adalah gas argon. Gas argon merupakan pilihan yang terbaik untuk pengelasan TIG secara manual baik dengan menggunakan arus searah maupun arus bolak-balik. Ada kemungkinan pemilihan arus yang lain, yakni arus searah dengan elektroda pada bagian positifnya. Proses ini hanya digunakan dalam kondisi khusus saja, karena polaritas seperti ini akan menyebabkan *over heating* pada elektroda.

Jika tegangan busur digunakan untuk mengendalikan panjang busur, harus diperhatikan variabel lainnya, karena seperti elektroda dan gas lindung dapat terkontaminasi kawat las yang terganggu pasokannya (*feeding*), perubahan

suhu pada elektroda, dan elektroda yang tererosi. Jika variabel ini mampu mempengaruhi tegangan arus, maka tegangan tersebut perlu disetel ulang.

#### 4. Penentuan Penggunaan Arus AC dan DC

Arus AC maupun DC yang digunakan di dalam pengelasan didasarkan atas beberapa pertimbangan antara lain jenis logam yang akan dilas maupun kedalaman penetrasi yang akan dicapai dalam pengelasan. Untuk jenis logam yang permukaannya terbentuk oksid seperti aluminium dan magnesium serta logam-logam *non ferro* yang lain, arus AC (*alternating current*) dan DCEP (*direct current electrode positive*) digunakan. Arus AC dan DCEP ini digunakan untuk mengelupas lapisan oksid yang akan terjadi akibat adanya aliran elektron dari benda kerja menuju elektroda pada arus DCEP maupun pada setengah siklus AC.

Penggunaan jenis arus juga mempengaruhi kedalaman penetrasi yang akan dibentuk. Pada arus AC distribusi panasnya terjadi  $1/2$  untuk benda kerja dan  $1/2$  untuk elektroda. Pada arus DCEP  $2/3$  panas terjadi pada elektroda dan  $1/3$  sisanya terjadi pada benda kerja, sedangkan pada arus DCEN terjadi sebaliknya yaitu  $1/3$  panas untuk elektroda dan  $2/3$  panas sisanya terjadi pada benda kerja. Konsekuensi distribusi panas yang berbeda ini akan berpengaruh pada kedalaman penetrasi yang berbeda. Pada AC kedalaman penetrasi sedang dengan lebar kawah sedang. Pada DCEP, lebar kawah lebih besar dengan kedalaman penetrasi lebih dangkal bila dibanding AC. Pada DCEN, Lebar kawah lebih sempit dan kedalaman penetrasi lebih dalam bila dibandingkan AC.

Pada tabel 4 menyarankan jenis logam dan jenis arus yang mungkin digunakan di dalam pengelasan *tungsten inert gas*.

Tabel 4. Logam dan jenis arus yang sesuai untuk las TIG

Logam Dasar	Arus		
	DCEP	DCEN	AC
Aluminium sampai dengan tebal 3/32"	J	B	S
Aluminium tebal di atas 3/32"	J	J	S
Aluminium perunggu	J	B	S
Aluminium tuang	J	J	S
Tembaga beryllium	J	B	S
Paduan tembaga	S	J	B
Paduan berbasis tembaga	S	J	B
Besi tuang	S	J	B
Tembaga deoksidasi	S	J	J
Logam-logam tak sejenis ( <i>dissimilar metals</i> )	S	J	B
Permukaan keras ( <i>hard facing</i> )	B	J	S
Baja paduan tinggi	S	J	B
Baja karbon tinggi	S	J	B
Baja karbon sedang	S	J	B
Baja paduan rendah	S	J	B
Baja karbon rendah	S	J	B
Magnesium ketebalan sampai dengan 1/8"	J	B	S
Magnesium ketebalan di atas 1/8"	J	J	S

Magnesium tuang	J	B	S
Baja tahan karat	S	J	B
Titanium	S	J	B
Keterangan: S: sempurna, B:bagus, J: jelek			

Sumber: Althouse, Turnquist, Bowditch, Bowditch, 1984:328

#### 5. Pengumpan Kawat Las (*wire feed*)

Cara pengumpanan kawat las ke dalam kolam las menentukan jumlah lajur yang terproduksi dan tampak luarnya. Pada mesin las GTAW atau TIG yang otomatis, kecepatan pengumpanan kawat las menentukan bahan tambahan las yang terdeposisi persatuan panjang sambungan las. Mengurangi kecepatan pengumpanan akan memperdalam penetrasi dan meratakan bentuk permukaan (*contour*) lajur las. Pengumpanan kawat las yang terlalu lambat cenderung akan menghasilkan *undercut* (luruhnya sisi kampuh), retak sumbu lajur dan kekurangan pengisian (*lack of joint fill*). Pengumpanan yang cepat akan mendangkalan penetrasi dan menyebabkan bentuk lajur cembung (*convex*) [Sriwidharto, 2006].

Tabel 5. Variabel proses pengelasan TIG untuk baja karbon

DCSP (amp)	Diameter bahan tambah (mm)	Kecepatan pengelasan (ipm)	Aliran gas argon (Cfh)
15	0,5	12 - 18	8 - 10
5 - 20	0,5	12 - 18	8 - 10
15 - 80	1	12 - 18	8 - 10
100 - 140	1,6	12 - 18	8 - 10
140 - 170	2,4	12 - 18	8 - 10
150 - 200	3,2	10 - 12	8 - 10

Sumber: AusAID (Batam Institutional Development Project), 2001

## 6. Gas Argon

Gas lindung (*inert gas*) adalah gas yang tidak bereaksi dengan logam maupun gas yang lain. Gas ini dipakai sebagai pelindung busur dan logam panas ketika dilakukan proses pengelasan. Gas lindung yang biasa dipakai didalam las gas tungsten dapat berupa gas argon, helium, dan campuran argon-hidrogen.

Argon lebih sering dipakai di dalam las gas tungsten berdasar atas beberapa pertimbangan yang antara lain:

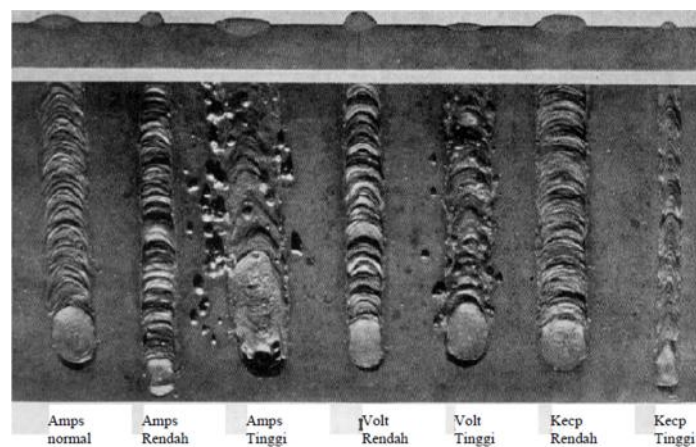
- a. Busur lebih stabil dan halus.
- b. Membutuhkan tegangan busur yang lebih rendah bila dibandingkan dengan gas lindung yang lain untuk panjang busur dan arus yang digunakan.
- c. Busur mudah sekali dinyalakan.
- d. Harga lebih murah
- e. Dengan arus AC, pengelasan aluminium dan magnesium mudah sekali dilakukan karena aksi pembersihan permukaan logam yang lebih besar.
- f. Karena berat atom yang besar, konsumsi gas lindung dibutuhkan lebih sedikit bila dibandingkan dengan gas lindung yang lain.

Argon yang dipakai sebagai gas lindung di dalam pengelasan gas tungsten harus mempunyai kemurnian 99,99%. Gas ini biasa disimpan di dalam silinder baja berukuran 330 cu. ft. ( $9,34 \text{ m}^3$ ) yang biasanya mirip dengan silinder baja untuk gas oksigen.



### E. Kuat Arus Pengelasan

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk, makin tinggi arus las maka makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil pengelasan, bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan akan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan pada logam induk kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik yang melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta matrik las tinggi.



Gambar 5. Pengaruh arus listrik dan kecepatan pengelasan terhadap hasil sambungan las (Wirjosumarto, 2000).

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las, bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk

melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus listrik terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebar dan penembusan yang terlalu dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan [Arifin, 1997].

#### **F. *Heat Input* Pengelasan**

Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energi yang cukup, energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber tergantung proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi antara kuat arus pengelasan, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu. Kualitas pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter ini menghasilkan energi pengelasan yang disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$HI (\textit{Heat Input}) = \frac{\text{Volt (V)} \times \text{Ampere (A)}}{\text{Kecepatan Pengelasan } \left(\frac{\text{mm}}{\text{S}}\right)} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan: HI = *Heat Input* (Joule)

E = Tegangan (Volt)

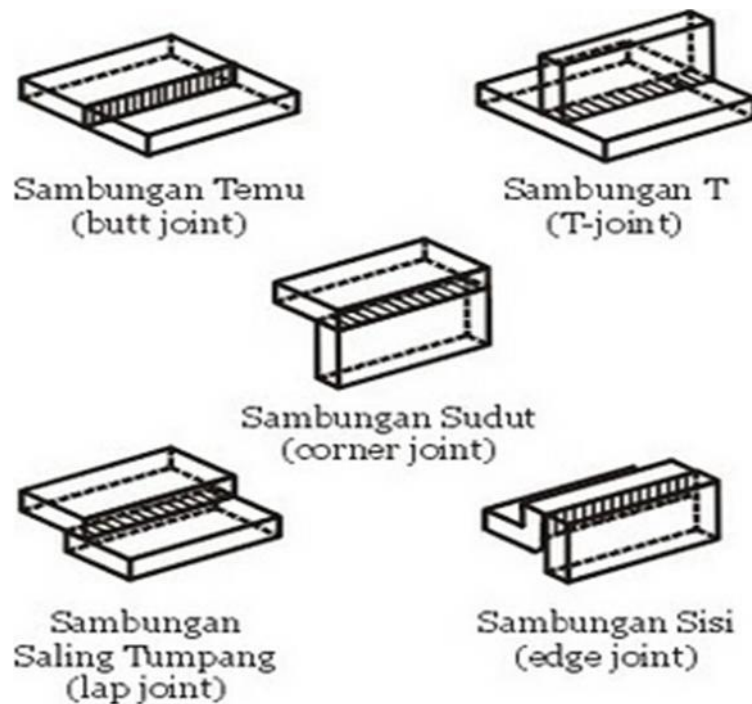
V = Kecepatan Pengelasan (mm/s)

I = Arus Pengelasan (*Ampere*)

### **G. Jenis - Jenis Sambungan Las**

Penyambungan dalam pengelasan diperlukan untuk meneruskan beban atau tegangan diantara bagian-bagian yang disambung. Karena meneruskan beban, maka bagian sambungan juga akan menerima beban. Oleh karena itu sambungan pengelasan paling tidak juga memiliki kekuatan yang sama dengan bagian yang disambung. Untuk dapat menyambung dua komponen logam diperlukan berbagai jenis kampuh sambungan. Pada kampuh ini selanjutnya logam tambahan diberikan sehingga terdapat kesatuan antara komponen-komponen yang disambung [Sonawan,2003]

Sambungan las pada konstruksi baja pada dasarnya dibagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi. Jenis sambungan tergantung dari berbagai faktor seperti ukuran, dan bentuk batang yang akan membentuk sambungan, tipe pembebanan, besarnya luas sambungan yang akan di las dan biaya relatif untuk berbagai macam sambungan las.



Gambar 6. Jenis-jenis sambungan dasar pada pengelasan (Sonawan, 2003).

Ada lima jenis sambungan dasar dalam pengelasan (seperti pada gambar 6) meskipun dalam praktiknya dapat ditemukan banyak variasi dan kombinasi diantaranya adalah:

1. Sambungan Tumpul Atau Temu Bidang (*butt joint*)

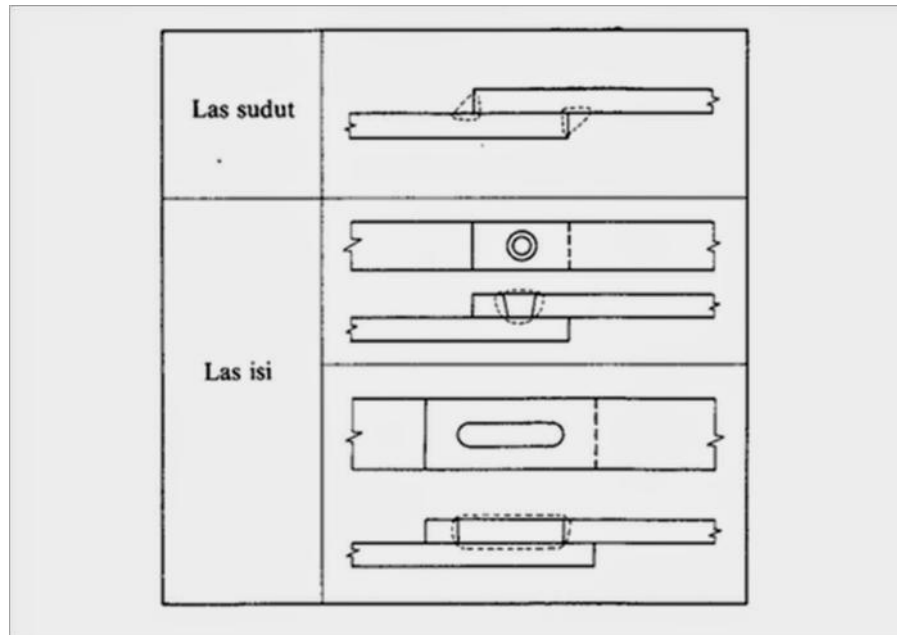
Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Bentuk alur sambungan ini sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan pengerjaan. Kerena pemilihan alur sangat peting dimana bentuk alur dan sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, BS, DIN, GOST, JSSC dan lain-lain. Sambungan tumpul digunakan untuk menyambung ujung-ujung plat yang datar dengan ketebalan yang sama atau hampir sama biasanya divariasikan pada alur atau kampuh. Jenis kampuh sambungan tumpul (*butt Joint*) dapat dilihat pada gambar 7.

Jenis lasan Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

Gambar 7. Jenis-jenis alur sambungan las (Wiryosumatro, 2000).

## 2. Sambungan Tumpang (*lap Joint*)

Jenis ditunjukkan seperti pada gambar karena sambungan ini effisiensinya rendah maka jarang sekali digunakan untuk pelaksanaan sambungan konstruksi utama. Sambungan tumpang biasanya dilaksanakan dengan las sudut dan las sisi. Sambungan tumpang (*lap joint*) digunakan untuk menyambung plat yang memiliki ketebalan yang berbeda, kelebihan sambungan ini adalah sambungan ini tidak membutuhkan kampuh atau alur.



Gambar 8. kampu sambungan tumpang (Wiryosumatro, 2000).

### 3. Sambungan Bentuk T (*tee joint*)

Pada sambungan bentuk ini secara garis besar dibagi dalam dua jenis yaitu jenis las dengan alur dan jenis las sudut. Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin sekali ada bagian batang yang menghalangi yang dalam hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur. Sambungan bentuk T (*tee joint*) digunakan untuk menyambung plat pada bagian-bagian *built up*, seperti profil T, profil I, atau bagian-bagian yang berbentuk rangka.

### 4. Sambungan Sudut (*corner joint*)

Pada sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang menyebabkan terjadinya retak ramel. Bila pengelasan dalam tidak karena sempitnya ruang maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan pelat pembantu. Sambungan sudut (*corner joint*) digunakan untuk membentuk penampang *boks* segi empat terangkai

(*built-up*) seperti untuk balok baja yang membutuhkan ketahanan terhadap torsi yang tinggi

#### 5. Sambungan Sisi (*edge joint*)

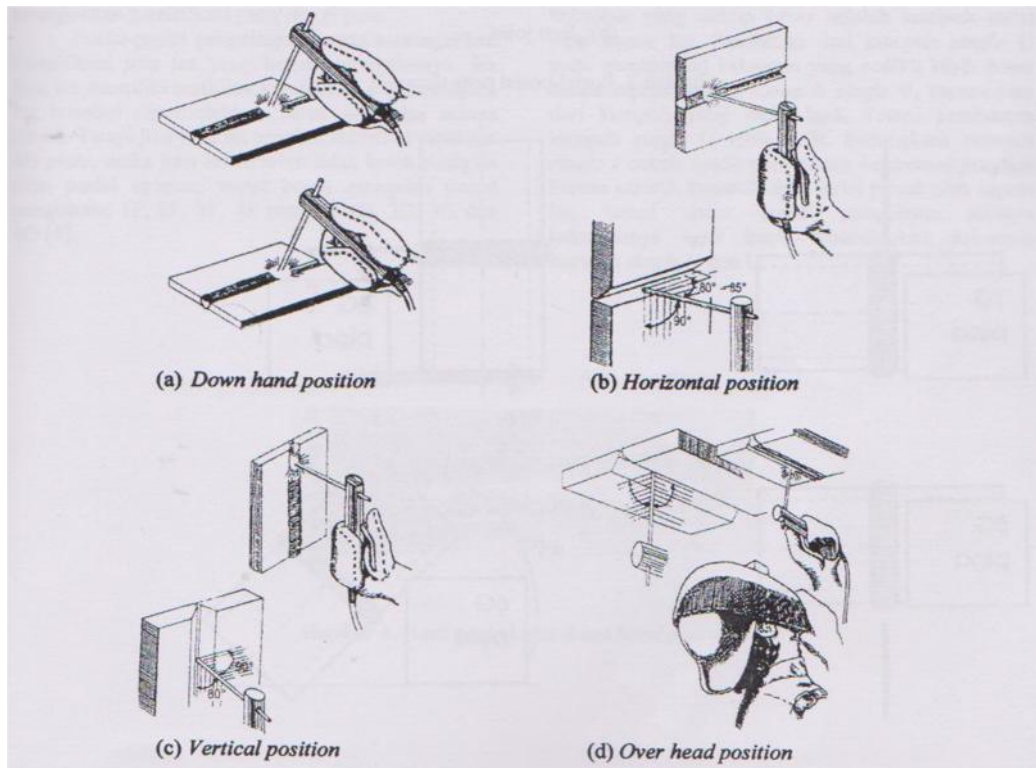
Sambungan sisi dibagi dalam sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung. Untuk jenis yang pertama pada platnya harus dibuat alur sedangkan pada dua jenis pengelasan dilakukan pada ujung plat tanpa ada alur. Sambungan ini digunakan untuk menjaga dua atau lebih plat agar tetap pada satu bidang tertentu ataupun untuk mempertahankan kedudukan seperti semula.

Pemilihan jenis sambungan las terutama didasarkan pada ketebalan plat yang akan dilas. Dalam pengelasan, ada yang disebut plat tipis dan plet tebal. Menurut AWS (*American Welding Society*) disebut plat tipis apabila ketebalannya kurang dari 1 inci atau 25,4 mm dan disebut plat tebal apabila ketebalannya lebih dari satu inci. Mungkin saja dalam pemilihan sambungan terdapat lebih dari dua sambungan yang memenuhi persyaratan ketebalan plat. Jika hal itu terjadi maka harus dipilih kembali salah satu dari jenis sambungan yang ada [Sonawan,2003]

### **H. Posisi Pengelasan**

Posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengelasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas. Posisi-posisi pengelasan terdiri dari posisi pengelasan dibawah tangan (*down hand position*), posisi pengelasan mendatar (*horizontal position*) posisi pengelasan tegak (*vertical*

*position*) dan posisi pengelasan diatas kepala (*over head position*) [Bintoro, 2000].



Gambar 9. Posisi pengelasan (Bintaro, 2000).

1. Posisi Pengelasan Dibawah Tangan (*down hand position*)

Posisi pengelasan ini adalah posisi yang paling mudah dilakukan. Posisi ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau miring yaitu letak elektroda berada diatas benda kerja

2. Posisi Pengelasan Mendatar (*horizontal position*)

Mengelas dengan posisi horizontal merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis mendatar atau *horizontal*. Pada posisi pengelasan ini kemiringan dan arah ayunan elektroda harus diperhatikan karena akan sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau agak miring sedikit dari elektroda las. pengelasan posisi mendatar sering



digunakan untuk pengelasan benda-benda yang berdiri tegak. Misalnya pengelasan badan kapal laut arah *horizontal*.

3. Posisi Pengelasan Tegak (*vertical position*)

Mengelas dengan posisi tegak merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis tegak/*vertikal*. Seperti pada *horizontal position* pada *vertikal position*, posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau agak miring sedikit searah dengan gerak elektroda las yaitu naik atau turun. Misalnya pada pengelasan badan kapal laut arah *vertikal*.

4. Posisi Pengelasan Diatas Kepala (*over head position*)

Benda kerja terletak diatas kepala *welder*, sehingga pengelasan dilakukan diatas kepala operator atau *welder*. Posisi ini lebih sulit dibandingkan dengan pengelasan-pengelasan yang lain. Posisi pengelasan ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan pada permukaan datar atau agak miring tetapi posisinya diatas kepala, yaitu letak elektrodanya berada dibawah benda kerja. Misalnya pengelasan atap bagian gudang dalam.

Posisi pengelasan dibawah tangan (*down hand position*) memungkinkan penetrasi dan cairan logam tidak keluar dari kampuh las serta kecepatan pengelasan yang lebih besar dibanding yang lainnya. Pada *horizontal position*, cairan logam cenderung jatuh kebawah, oleh karena itu busur (*arc*) dibuat sependek mungkin. Demikian pula untuk *vertical* dan *over head position*. Penimbunan logam las pada pengelasan busur nyala terjadi akibat medan *elektromagnetic* bukan akibat grafitasi, pengelasan tidak harus dilakukan pada *down hand position* ataupun *horizontal position* [Bintoro, 2000].

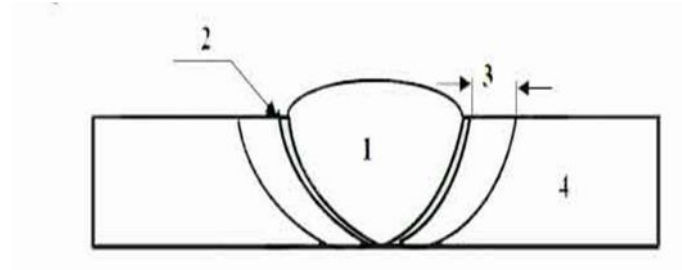
## I. Metalurgi LAS

Pengelasan adalah proses penyambungan dengan menggunakan energi panas, karena proses ini maka logam disekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan thermal. Hal ini sangat berhubungan erat dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang umumnya memiliki pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi las.

Logam akan mengalami pengaruh pemanasan hasil pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro didaerah lasan. Bentuk struktur mikro tergantung pada temperatur tinggi yang di capai pada pengelasan, kecepatan pengelasan, dan laju pendinginan pengelasan. Daerah logam yang mengalami perubahan struktur mikro akibat mengalami pemanasan karena pengelasan disebut daerah pengaruh panas (DPP) atau (HAZ) *Heat Effekted Zone* [Sibrani. 2004]

Harsono W (2000), menjelaskan Daerah lasan terdiri dari tiga bagian, yaitu:

1. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku.
2. *Fusion line* yaitu garis penggabungan atau garis batas cair antara logam las dan logam induk.
3. Daerah pengaruh panas disebut HAZ (*Heat Effekted Zone*) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las selama pengelasan mengalami pemanasan dan pendinginan yang cepat. Pembagian daerah lasan dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Daerah Lasan (Harsono, 2000).

Keterangan : 1. *Weld Metal* (Logam Las)

2. *Fusion Line* (Garis Penggabungan)

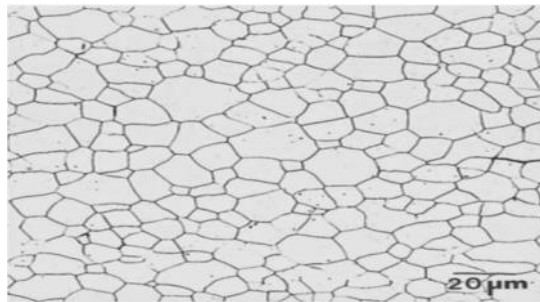
3. HAZ (Daerah pengaruh panas)

4. Logam Induk

Menurut Abson dan Pargeter (1986), struktur mikro pada logam las biasanya terdiri dari dua atau lebih fasa berikut ini:

a) *Ferrite* (disimbolkan dengan )

*Ferrite* adalah fasa larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). *Ferrite* ini akan terbentuk pada proses pendinginan lambat dari *austenite* baja *hipoeutectoid* (baja dengan kandungan karbon < 0,8%) yang bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100) BHN dan konduktifitas *thermalnya* tinggi.



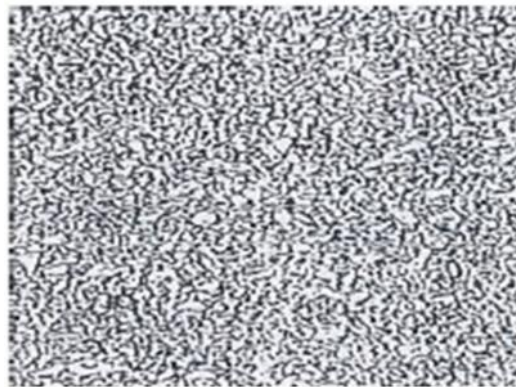
Gambar 11. Struktur mikro *ferrite* (Sonawan, 2003)

b) *Austenite* (disimbolkan dengan  $\gamma$ )

Fase *Austenite* memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang fasa *austenite* ditemukan pada temperatur tinggi. Fasa ini bersifat non magnetik dan ulet (*ductile*) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat *austenite* lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fasa *ferrite*. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fasa *austenite* (kristal FCC) dan fasa *Ferrite* (kristal BCC).

c) *Cementite* (disimbolkan dengan  $\text{Fe}_3\text{C}$ )

Adalah senyawa besi dengan karbon yang pada umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia  $\text{Fe}_3\text{C}$  dengan bentuk sel satuan *ortorombik* dan bersifat keras (65-68) HRC.

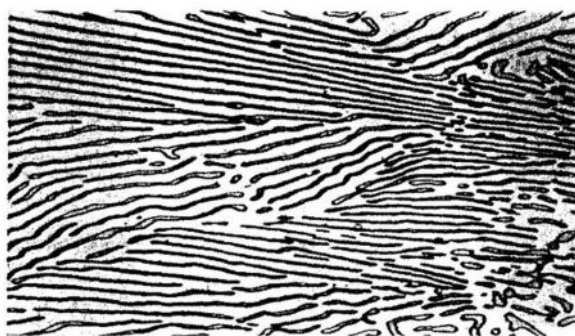


Gambar 12. Struktur mikro *cementite* (Sonawan, 2003)

d) *Perlit* (disimbolkan dengan  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ )

*Perlit* adalah campuran ferite dan cementit berlapis dalam suatu struktur butir, dengan nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur perlit yang kasar, sedangkan struktur mikro

perlit halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro perlit kasar kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro perlit halus.



Gambar 13. Struktur Mikro *Perlit* (Sonawan, 2003)

e) *Martensit*

Terbentuk dari pendinginan cepat fasa austenit sehingga mengaibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT. Struktur mikro martensit berbentuk seperti jarum-jarum halus, namun bersifat kasar (20-67) HRC dan getas.



Gambar 14. Struktur Mikro *Martensit* (Sonawan, 2003)

## J. Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam yang telah dilas, karena mudah dilakukan, dan menghasilkan tegangan seragam (*uniform*) pada penampang serta kebanyakan sambungan logam yang telah dilas mempunyai kelemahan untuk menerima tegangan tarik. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan [Wiryosumarto, 2000]. Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan [Wiryosumarto, 2000]:

$$\text{Tegangan: } = \frac{F}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{) .....(2)}$$

Dimana: F= Beban (kg)

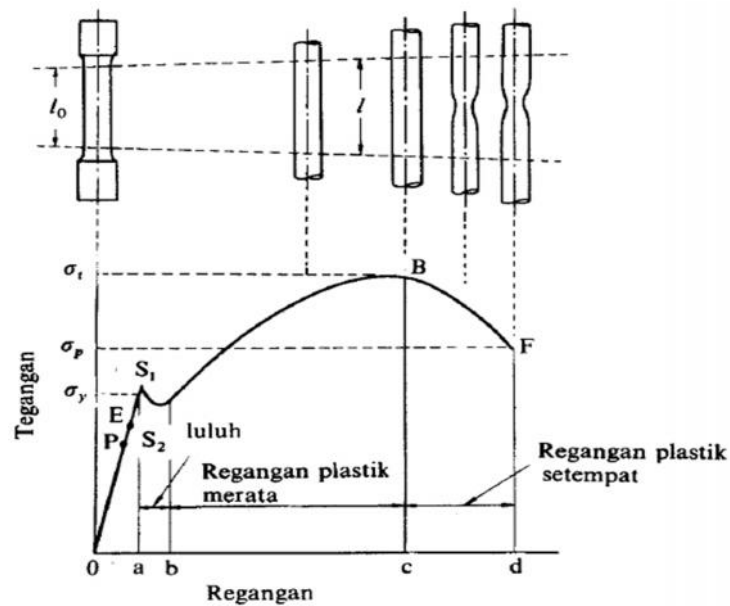
$A_0$  = luas mula dari penampang batang uji (mm<sup>2</sup>)

$$\text{Regangan: } = \frac{L-L_0}{L} \times 100\% \text{ .....(3)}$$

Dimana:  $L_0$  = panjang mula dari batang uji (mm)

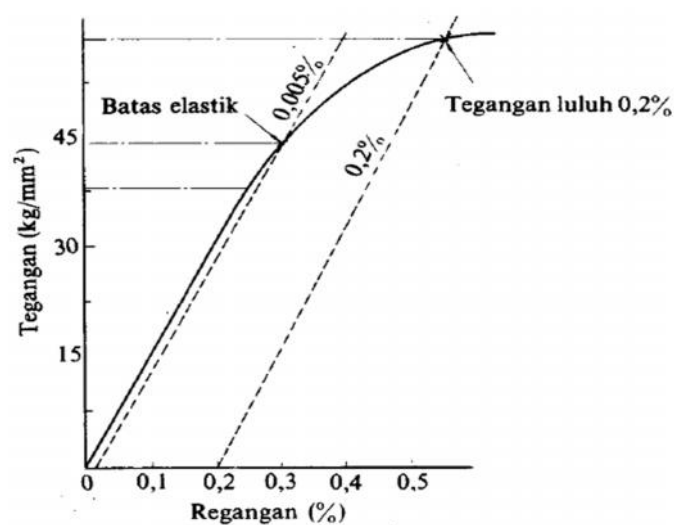
L = panjang batang uji yang dibebani (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 12. Titik P menunjukkan batas dimana hukum *hooke* masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji, pada kondisi ini disebut batas elastis.



Gambar 15. Kurva Tegangan – Regangan Teknik (Wirjosumarto, 2000).

Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastis dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik  $S_1$  disebut titik luluh atas dan titik  $S_2$  titik luluh bawah. Pada beberapa logam, batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan – regangan. Dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dan regangan sebesar 0,2%. Seperti ditunjukkan pada gambar 16 [Wirjosumarto, 2000].



Gambar 16. Batas Elastis Dan Tegangan Luluh (Wirjosumarto, 2000).

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* seperti yang ditunjukkan pada gambar 17 dibawah ini.



Gambar 17. Mesin uji tarik (<http://www.alatuji.com/kategori/153/tarik>).

Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban statik dinaikkan secara bertahap sampai spesimen mengalami putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan data berupa tegangan luluh ( $\sigma_{ys}$ ), tegangan *ultimate* ( $\sigma_{ult}$ ), modulus elastisitas beban (E), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji tarik [Dowling, 1999].

### **K. Pengujian Struktur Mikro**

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro, struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang tetapi harus dilihat menggunakan alat pengamat struktur mikro. Pada penelitian ini alat pengamat struktur mikro yang digunakan adalah mikroskop cahaya. Alat uji struktur mikro dapat dilihat pada gambar 18.





Gambar 18. Alat uji struktur mikro (<http://mesin.ub.ac.id/sarjana/?p=182>).

Persiapan yang dilakukan sebelum pengamatan adalah pemontingan spesimen, pengamplasan, pemolesan dan pengetsaan. Setelah dipilih, bahan uji diratakan kedua permukaanya dengan menggunakan mesin kikir dan amplas, proses perataan harus selalu terjaga agar tidak timbul panas yang mempengaruhi struktur mikro. Arah pengampelasan tiap tahap harus diubah, pengamplasan yang lama dan penuh kecermatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. Bahan yang telah halus dan rata itu selanjutnya diberi autosol untuk membersihkan noda yang menempel pada bahan. Langkah terakhir sebelum dilakukan struktur mikro adalah dengan mencelupkanspesimen kedalam larutan etsa dengan penjepit tahan karat dan permukaan menghadap keatas. Kemudian spesimen dicuci dan dilihat struktur mikronya.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen dan pembuatan kampuh las (*butt weld joint*) alur V tunggal dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Proses pengelasan dilakukan di PDD (Program Studi Di luar Domisili) Diploma 2 Universitas Lampung yang berlokasi di SMK N 1 Simpang Pematang, Kecamatan Simpang Pematang, Kabupaten Mesuji.
3. Proses pembuatan spesimen uji tarik dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur PUSPITEK, Tangerang Selatan.
5. Foto mikro dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian Teknologi Mineral LIPI, Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

## **B. Alat dan Bahan**

Adapun peralatan dan bahan material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **1. Peralatan Untuk Pembuatan Spesimen Uji**

a. Mesin gergaji

Mesin gergaji digunakan untuk pemotongan spesimen uji sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

b. Mesin las

Mesin las yang digunakan adalah mesin las GTAW (*gas tungsten arc welding*) atau biasa disebut dengan TIG (*tungsten inert gas*) yang digunakan untuk menyambung atau mengelas spesimen uji.

c. Elektroda las

Dalam pengelasan TIG elektroda yang digunakan adalah elektroda *tungsten* yang berfungsi sebagai pencipta busur nyala yang digunakan untuk mencairkan kawat las yang ditambahkan dari luar dan benda yang akan disambung menjadi satu kesatuan sambungan. Dalam penelitian ini, diameter elektroda tungsten yang digunakan yaitu 3,2 mm.

d. Mesin gerinda

Digunakan untuk membuat geometri mata pahat sesuai dengan geometri yang diinginkan (mengasah mata pahat).

e. Mesin skrap

Digunakan untuk membuat spesimen uji pada proses pembuatan kampuh las alur V tunggal.

- f. Mistar dan jangka sorong  
Digunakan untuk membantu dalam membuat ukuran spesimen uji.
- g. Mesin amplas  
Digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen uji foto mikro.
- h. Mesin uji foto mikro (*Mikroskop Optik*)  
Digunakan sebagai alat untuk melihat struktur mikro pada permukaan spesimen uji.
- i. Kamera  
Digunakan untuk mengambil gambar dari hasil uji foto mikro.
- j. Alat bantu dan alat keamanan pengelasan  
Digunakan untuk membantu dan menjaga keamanan dalam proses pengelasan dan pembuatan spesimen uji, seperti palu, kikir, sikat baja, kikir, helm las, sarung tangan dan lain-lain.

## **2. Peralatan Untuk Pengujian Spesimen**

Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian spesimen adalah *Universal Testing Machine* yaitu alat uji tarik yang digunakan untuk menentukan tegangan tarik dari hasil kekuatan sambungan las. Mikroskop optik digunakan untuk melihat struktur mikro pada daerah pengelasan.

## **3. Bahan**

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon *medium*, komposisi kimia baja karbon *medium* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Komposisi kimia baja karbon *medium*

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr
Presentase (%)	0,361	0.304	0.525	0.0186	0.0074	1.16

### C. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Persiapan Spesimen Uji

Persiapan spesimen uji merupakan langkah awal dari penelitian ini. Ada dua tahap dalam melakukan persiapan spesimen uji yakni pemilihan material yang akan digunakan dan pembuatan kampuh las.

##### a. Pemilihan Material Spesimen Uji

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon *medium* dengan ketebalan 12 mm.

##### b. Pemilihan Elektroda

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda tungsten EWTh-2 dengan diameter 3,2 mm. Elektroda jenis EWTh-2 ini lebih unggul bila dibandingkan dengan elektroda tungsten murni dalam beberapa hal, kandungan thorium pada elektroda ini menghasilkan ketahanan yang lebih baik dari kontaminasi las dan usia pakainya lebih lama dari elektroda tungsten murni serta pembentukan arus awal yang lebih mudah dengan arus busur yang lebih stabil. Thorium adalah bahan

radio aktif dengan tingkat radiasi yang tidak berbahaya bagi lingkungan, elektroda jenis ini sangat cocok untuk pengelasan baja dengan penggunaan arus DCEN (*Direct Current Elektrode Negative*). Spesifikasi elektroda EWTh-2 dapat dilihat pada table 7 dibawah ini.

Tabel 7. Spesifikasi elektroda EWTh-2.

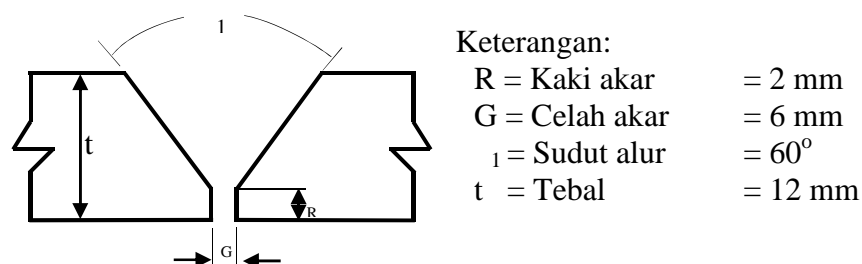
Spesifikasi	Diameter	Panjang	Warna	Thorium	Pabrikan
AWS A5.12	3,2 mm	175 mm	Merah	2 %	WQTB

c. Pemilihan arus dan kecepatan pengelasan

Jenis polaritas listrik yang digunakan pada penelitian ini yaitu polaritas lurus atau DCEN (*Direct Current Elektrode Negative*). Pada pengelasan dengan menggunakan polaritas lurus menghasilkan 1/2 panas pada elektroda dan 2/3 panas sisanya pada benda kerja. Polaritas lurus ini menghasilkan penetrasi yang dalam, sehingga baik digunakan untuk pengelasan material tebal. Variasi arus yang digunakan yaitu 160, 180 dan 200 *ampere* dengan kecepatan pengelasan 1 mm/s.

d. Pembuatan Kampuh Las

Jenis kampuh las yang digunakan dalam penelitian ini adalah sambungan las tumpul alur V tunggal, seperti pada gambar 19 dibawah ini:



Gambar 19. Dimensi sambungan las tumpul dengan alur V tunggal

Ukuran alur pada gambar 19 (alur V tunggal) diambil berdasarkan rekomendasi JSSC-1997 (*Japan Society of Steel Construction*) tentang persiapan sisi untuk pengelasan baja. Pembuatan kampuh dilakukan dengan cara baja karbon *medium* dipotong dengan mesin gergaji dan kemudian dibentuk kampuh las dengan mesin sekrap sesuai dengan dimensi yang diperlukan.

## 2. Proses Pengelasan

Dalam penelitian ini jenis las yang digunakan adalah *gas tungsten arc welding* (GTAW) atau *Tungsten inert gas* (TIG). Sebelum proses pengelasan dimulai, logam induk yang sudah dibuat kampuh las tersebut harus dibersihkan dari kotoran seperti debu, minyak, oli atau gemuk, karat, air dan lain sebagainya untuk menghindari terjadinya cacat las. Selanjutnya baja dilas dengan las *tungsten inert gas* (TIG) dengan prosedur dan cara pengelasan yang sesuai serta berdasarkan parameter-parameter yang sudah ditentukan yaitu:

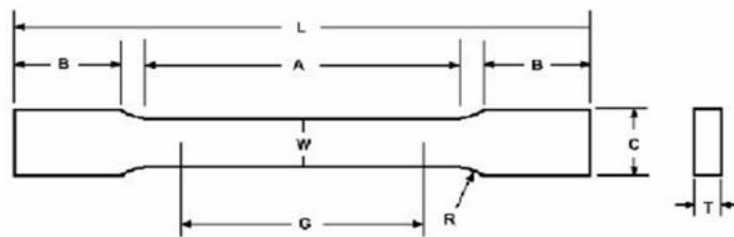
1. Pengelasan dengan arus 160 *ampere* dan diameter tungsten 3,2 mm.
2. Pengelasan dengan arus 180 *ampere* dan diameter tungsten 3,2 mm.
3. Pengelasan dengan arus 200 *ampere* dan diameter tungsten 3,2 mm.

Untuk tipe serta diameter logam pengisi (*filler metal*) pada pengelasan ini digunakan logam pengisi tipe ER 48S-7 dengan diameter 3,2 mm, logam pengisi ini dipilih karena kandungan unsur kimia berdasarkan standar AWS A5.18M mendekati logam induk baja karbon *medium*.

### 3. Pembuatan Spesimen Uji

#### a. Spesimen uji tarik

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan tahap selanjutnya adalah pembuatan spesimen uji tarik yang sesuai dengan standar. Standar yang digunakan untuk pengujian tarik ini adalah ASTM E-8. Pada gambar 20 ditunjukkan dimensi dari spesimen uji tarik.



Gambar 20. Dimensi Spesimen Uji Tarik [Standar ASTM E-8]

Keterangan:

L : 200 mm	R : 12,5 mm	W : 12,5 mm
T : 12 mm	C : 20 mm	B : 50 mm

#### b. Spesimen foto mikro

Untuk pembuatan spesimen uji foto mikro, spesimen diambil dari hasil pengelasan pada daerah logam las. Dalam pengujian ini, tidak ada dimensi yang ditentukan. Namun dalam penelitian yang dilakukan oleh Nur Ismail Hamid dijumpai bahwa spesimen dibentuk dengan ukuran panjang 5 mm dan lebar 5 mm. Selanjutnya permukaan spesimen yang akan dilakukan uji foto mikro diampelas dengan menggunakan *Grinder-polisher* sampai permukaan spesimen halus dan rata. Setelah benda uji cukup halus, maka langkah selanjutnya adalah memoles dengan autosol.



Pemolesan ini bertujuan untuk menghilangkan goresan-goresan yang diakibatkan oleh amplas agar didapatkan permukaan yang halus dan mengkilap, sehingga struktur benda uji menjadi jelas.

#### 4. Jumlah Spesimen

Jumlah spesimen yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada table 6. Jumlah spesimen uji tarik keseluruhan ada 10, dimana setiap variasi arus terdiri dari 3 spesimen uji tarik dan 1 spesimen uji tarik *raw material*. Sedangkan pada uji struktur mikro total spesimen yang digunakan adalah 4 pesimen, dimana setiap variasi arus diambil 1 spesimen uji foto mikro dan 1 spesimen *raw material*.

Tabel 8. Jumlah spesimen uji

Spesimen	Kecepatan Pengelasan	Jumlah Spesimen	
		Uji Tarik	Uji Struktur Mikro
Pengelasan dengan arus 160 <i>Ampere</i>	1 mm/s	3	1
Pengelasan dengan arus 180 <i>Ampere</i>	1 mm/s	3	1
Pengelasan dengan arus 200 <i>Ampere</i>	1 mm/s	3	1
<i>Raw material</i>		1	1
Total Spesimen		10	4

## 5. Pengujian

Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik dan uji foto mikro. Uji tarik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan spesimen uji. Dan uji foto mikro dilakukan bertujuan untuk melihat struktur mikro atau perubahan struktur mikro yang terjadi pada daerah las.

### a. Uji tarik

Pengujian tarik yang dilakukan kepada spesimen uji harus sesuai standar yang digunakan yaitu ASTM E-8. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* yang dihubungkan langsung dengan plotter, sehingga dapat diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan *ultimate* ( $\sigma_{ult}$ ) dan modulus elastisitas bahan (E). Jumlah spesimen yang akan diuji tarik sebanyak 10 spesimen.

Uji tarik dilakukan dengan menyiapkan spesimen uji yang sudah dilas dan dibentuk sesuai dengan standar ASTM E-8, kemudian spesimen uji dipasang pada alat pencekam grip pada *upper cross* heat dan mencekam pencekam agar spesimen tersebut tidak lepas. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian. Pada saat pengujian berlangsung perhatikan perubahan besar beban hingga terdengar bunyi suara atau melihat spesimen putus. Setelah didapat hasil pengujian, spesimen tersebut dilepas dan dilakukan pengujian untuk spesimen berikutnya hingga selesai.

b. Uji Foto Mikro

Setelah pembuatan spesimen uji foto mikro selesai dilakukan seperti yang telah dijelaskan pada pembuatan spesimen uji foto mikro, selanjutnya dilakukan pengambilan foto spesimen menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran sesuai yang diinginkan. Hal tersebut dilakukan pada semua spesimen yang akan diuji hingga selesai.

## 6. Analisis

Dari pengujian tarik diperoleh data-data yang berupa nilai tegangan tarik (*ultimate tensile strength*), tegangan luluh (*yield strength*) dan perpanjangan serta grafik tegangan regangan. Data-data tersebut dapat dianalisis dengan cara melihat hubungan tegangan tarik , tegangan luluh, dan regangan yang terjadi pada spesimen uji berdasarkan variasi yang atau parameter yang digunakan pada saat pengelasan. Data dari tiap-tiap spesimen dirata-ratakan dan dimasukkan kedalam tabel data hasil uji tarik untuk keperluan analisis.

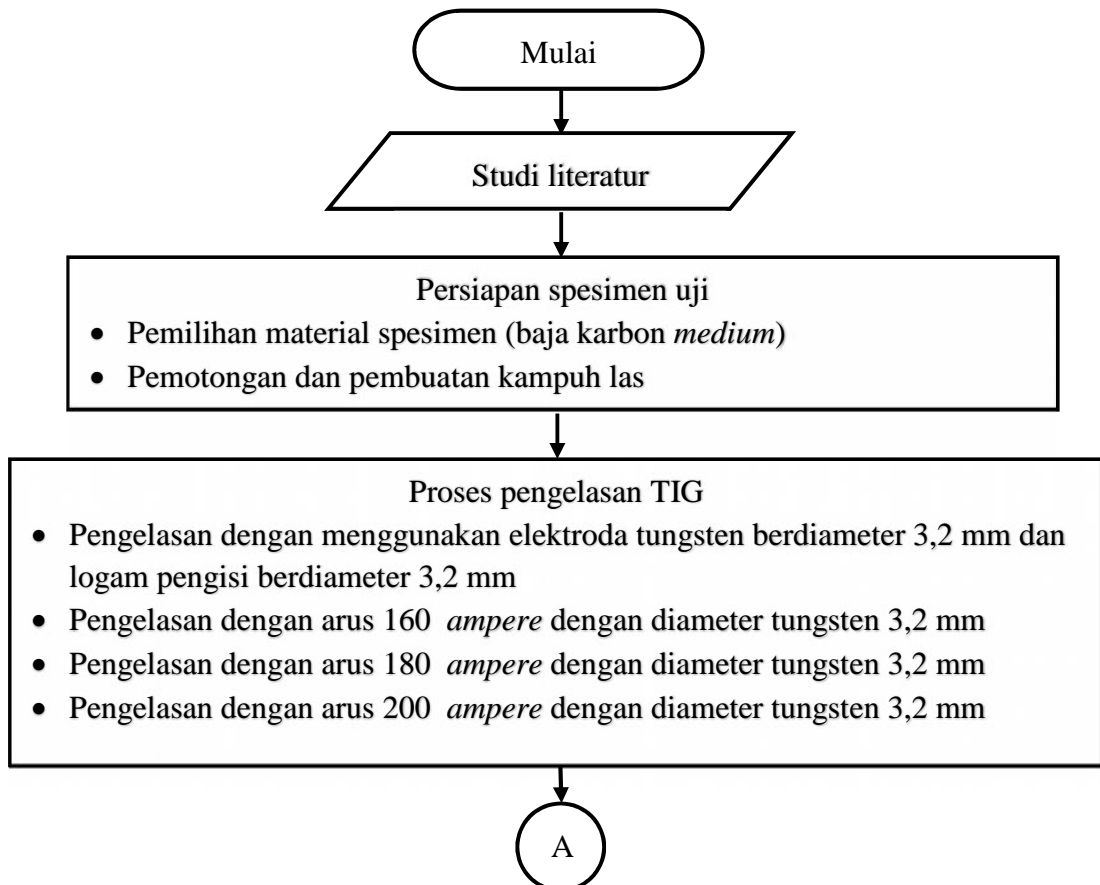
Sedangkan pada pengujian struktur mikro pada daerah logam las, didapat data-data berupa foto struktur mikro yang kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui struktur mikro dan juga sifat mekanik hasil sambungan las.

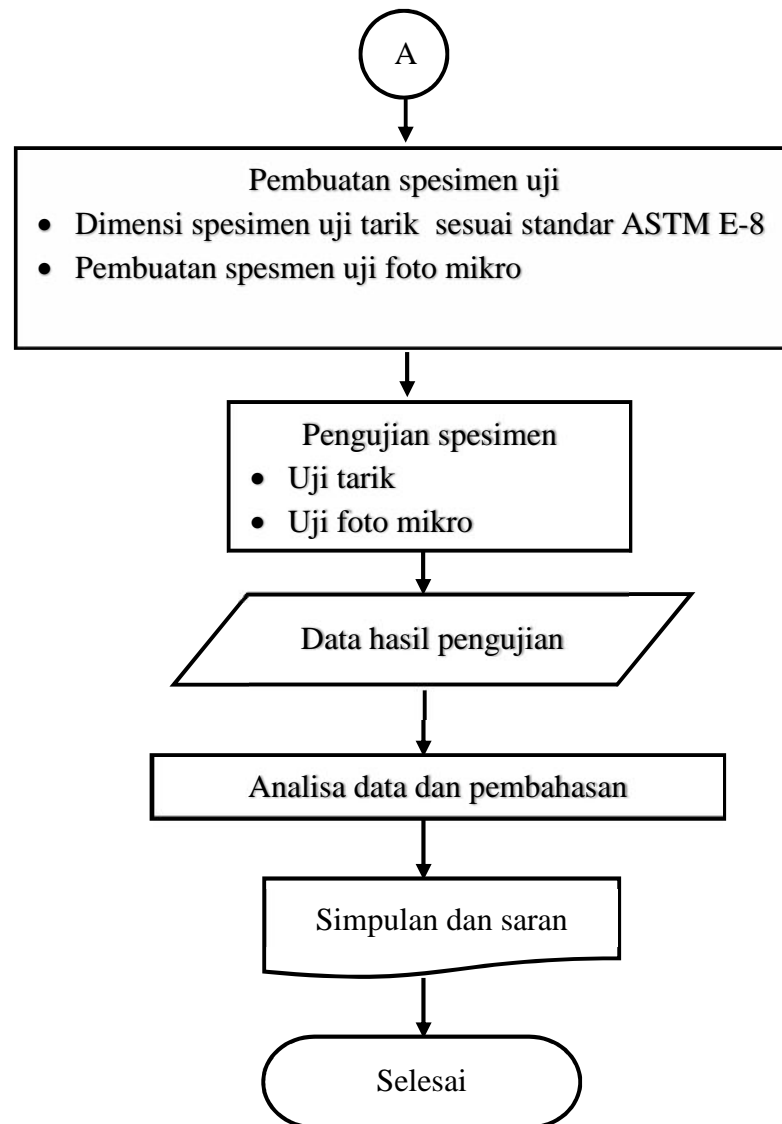
Tabel 9. Contoh tabel data kekuatan tarik

Baja Karbon <i>Medium</i>	Nomor Spesimen	Kekuatan Tarik (MPa)	Rata – Rata Kekuatan Tarik (MPa)
Arus 160 <i>ampere</i>	A1		
	A2		
	A3		

Arus 180 <i>ampere</i>	B1		
	B2		
	B3		
Arus 200 <i>ampere</i>	C1		
	C2		
	C3		
Raw Material	D		

#### D. Diagram Alir Penelitian





Gambar 21. Diagram alir (*flow chart*) penelitian.

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Simpulan**

Berdasarkan hasil dari penelitian tentang pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) pada baja karbon *medium* dapat diambil kesimpulan :

1. Penggunaan kuat arus sangat mempengaruhi kekuatan sambungan hasil pengelasan, dimana semakin besar kuat arus yang digunakan maka hasil pengelasannya akan semakin baik. Dari hasil pengelasan TIG dengan variasi kuat arus 160 *ampere*, 180 *ampere* dan 200 *ampere* menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda. Kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada pengelasan dengan menggunakan kuat arus 200 *ampere* dengan nilai rata – rata kekuatan tarik sebesar 680 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah terdapat pada pengelasan dengan menggunakan kuat arus 160 *ampere* dengan nilai rata – rata kekuatan tarik sebesar 573,33 MPa.
2. Hasil foto mikro menunjukkan adanya perbedaan struktur mikro antara logam dasar (*raw material*) dengan logam hasil pengelasan. Pada logam hasil pengelasan semakin kecil dan halus struktur mikronya menghasilkan nilai kekuatan tarik yang semakin tinggi.

## **B. Saran**

Belajar dari pengalaman yang telah didapat dari penelitian ini, penulis mencoba memberikan beberapa saran agar penelitian selanjutnya menjadi lebih baik yaitu:

1. Menganalisa daerah perpatahan spesimen uji tarik untuk mengetahui cacat las yang terjadi di daerah sambungan las.
2. Pada saat proses pemotongan spesimen uji struktur mikro sebaiknya digunakan air yang mengalir agar hasil lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abson,D.J. dan Pargeter,R.J., 1986. *Factors Influencing Strength, Microstructure and Toughness of as Deposited Manual Metal Arc Welds Suitable for C-Mn Steel Fabrications*. International Metal Reviews, vol.31, No.4, 141-193.
- Aljufri. 2008. *Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Tunggal Dan Kuat Arus Pada Sambungan Logam Aluminium – Mg 5083 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Tig*.
- Althouse, dkk. 1984. *Modern Welding*. The Goodheart-Willcox Company. Inc. Illinois.
- ASTM. 2004. *Metals\_Mechanical Testing\_ Elevated and Low-Temperature Tests\_ Metallograph*, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 03.01, E-8M.
- Avner, H, S. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. 2nd edition, New York; McGraw- Hill international Editions.
- Cary, B. Howard. 1989. *Modern Welding Technology*, second edition, Prentice Hall International, Inc. Engewood. New Jersey.
- Davis, Troxell, dan Hauck. 1992. *The Testing of Engineering Materials*. Edisi 4. Penerbit Mc Graw Hill. New York.



Dowling E, Norman. 1999. *Mechanical Behavior of Materials*. 2<sup>nd</sup> edition.

Printed in the United States of America.

Glyn, et.al. 2001. *Physical Metallurgy of Steel*. Class Notes and lecture material.

For MSE 651.01.

Katulistiwa, Inggil. 2014. *Pengaruh besar arus pengelasan dan jenis elektroda*

*las Tungsten Inert Gas (TIG) pada baja karbon rendah terhadap kekuatan tarik dan bending*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

Ninien, Sckolastika dan Ponimin. 2011. *Analisa Pengaruh Penggunaan Variasi*

*Besaran Arus Pada Las TIG Terhadap Perubahan Struktur*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

Sack, Raymond J. 1997. *Welding: Principles and Practices*. Ms GrawHill.

USA.

Samsudin, H. dan JP, Rubijanto. 2012. *Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat*

*Mekanis Sambungan Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW)*. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.

Setiawan, Rahmat. 2009. *Studi Sifat Mekanis Perbandingan Dari Hasil*

*Pengelasan Oksiasitilin dan Arc Listrik Pada Plat ST37 dengan Ketebalan 3,5 mm*. Medan. Universitas Sumatra Utara.

Sonawan H. 2003. *Pengelasan Logam*. Alfabeta. Bandung.

Sibrani, H. 2004. *Pengelasan TIG Pada Pelat Alluminium Paduan Seri E1145*.

ITB Library.

Sriwidharto. 2006. *Petunjuk Kerja Las*. Cetakan Ke 6. Pradnya Paramita. Jakarta.

Sunaryo, H. 2008. *Teknik Pengelasan Kapal Jilid I Untuk SMK*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

Suryono, Eko. 2014. *Pengaruh Juat Arus Pengelasan sambungan las Tungsten Inert gas (TIG) Terhadap sifat fisis dan mekanis Plat Baja Karbon Rendah*. Yogyakarta: Institut Sains dan Teknologi AKPRIND.

Tim Penyusun, Fakultas Teknik UNY. 2004. *Mengelas Dengan proses Las Gas Tungsten*. Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.

Wirjosumarto, Harsono Dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan Ke VIII. Pradnya Paramita. Jakarta.

<http://www.alatuji.com/kategori/153/tarik>. Diunduh pada 15 Maret 2015.

<http://mesin.ub.ac.id/sarjana/?p=182>. Diunduh pada 20 Maret 2015.

<http://www.scribd.com/doc/20714142/PROSES-PENGELASAN#scribd>. Diunduh pada 20 Maret 2015.

<http://ww.wahidacommon.blogspot.com/2013/06/gtaw.html>. Diunduh pada 20 Maret 2015.