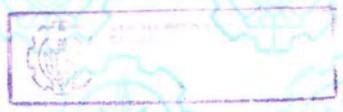


17.169 / H.102



**TUGAS AKHIR**  
**( KL. 1702 )**

**ANALISA PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN SMAW**  
**DAN FCAW TERHADAP KEKERASAN DAN**  
**KETANGGUHAN UNTUK TEBAL PLAT PIPA 10 mm DAN**  
**15 mm**



RSKe  
671.52  
Set  
a-1

2002

Oleh :

**AGUS SETYAWAN**  
**NRP. 4397100030**

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**

**2002**

<b>PERPUSTAKAAN I. T. S</b>	
Tgl. Terima	04/09/02
Terima Oleh	H
No. Agenda Prp.	2. 6158

**ANALISA PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN  
SMAW DAN FCAW TERHADAP KEKERASAN DAN  
KETANGGUHAN UNTUK TEBAL PLAT PIPA**

**10 mm DAN 15 mm**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Menyelesaikan Studi Program Sarjana**

**Pada**

**Jurusan Teknik Kelautan**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**Surabaya, Agustus 2002**

**Mengetahui/Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Soeweify, MEng**

**NIP. 130 368 597**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Wisnu Wardhana, MSc.**

**NIP. 68 001 934**

*Kupersembahkan karya terbaik ini buat orang-orang terkasih:*

*Ibu, Bapak (Alm.), Adik-adikku*

﴿ Bismillahirrahmanirrahim ﴾

*Sesungguhnya orang-orang yang beriman itu adalah mereka  
yang apabila disebut nama Allah gemetarlah hati mereka,  
dan apabila dibacakan kepada mereka ayat-ayatNya,  
bertambahlah iman mereka dan kepada Tuhanlah  
mereka bertawakkal  
(QS. Al Anfaal : 2)*

*Yang demikian itu adalah karena sesungguhnya  
Allah sekali-kali tidak akan merubah suatu nikmat  
yang telah dianugerahkan-Nya kepada sesuatu kaum, hingga kaum itu  
merubah apa yang ada pada diri mereka sendiri.  
Dan sesungguhnya Allah Maha Mengetahui lagi Maha Mendengar  
(QS. Al Anfaal : 53)*

## ABSTRAK

*Sifat mekanik suatu bahan merupakan suatu sifat terpenting, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban atau gaya tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan tersebut. Pada proses pengelasan, sifat-sifat mekanik yang sering diamati adalah kuat tarik, ketangguhan, dan kekerasan. Pada tugas akhir ini akan meninjau sampai sejauh mana nilai kekerasan dan ketangguhan pada pelat pipa ketebalan 10 mm dan 15 mm dengan menggunakan proses pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dan FCAW (Flux Cored Arc Welding). Dan dari percobaan yang telah dilakukan memberikan nilai kekerasan sebesar 269 VHN didaerah weld metal pada material pipa dengan ketebalan 10 mm menggunakan proses FCAW. Sedangkan nilai ketangguhan terbesar terjadi didaerah HAZ sebesar 2,203 Joule mm<sup>2</sup> (suhu -50°C) pada material pipa dengan ketebalan 10 mm menggunakan proses SMAW.*

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum,

Alhamdulillah, segala puja dan puji syukur penulis haturkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan rizki-Nya kepada kita sekalian, terutama kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul

*Analisa Perbandingan Proses Pengelasan SMAW Dan FCAW Terhadap Kekerasan*

*Dan Ketangguhan Untuk Tebal Pelat Pipa 10 mm Dan 15 mm*

Sebagaimana diketahui, tugas akhir merupakan salah satu syarat studi untuk memperoleh gelar sarjana dalam kurikulum pendidikan Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS dengan beban kredit 6 SKS.

Tugas akhir ini hanyalah secuil informasi dan pengetahuan yang penulis dapatkan selama menuntut ilmu di almamater yang tentunya masih jauh dari kesempurnaan, tetapi dari hasil penulisan ini, penulis banyak berharap semoga dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan membawa kita semua ke arah yang lebih baik.

Wassalam,

Surabaya, Agustus 2002

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan tugas akhir ini dan selama menempuh perkuliahan, penulis banyak sekali mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa material maupun dorongan dan motivasi, oleh karena itu tak lupa penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

- ☞ Ibu dan almarhum Bapak tercinta yang telah mencurahkan segala kasih dan sayangnya sejak penulis dalam buaian, tanpa semua itu apa yang ada sekarang ini bukan apa-apa
- ☞ Adik-adikku Diana dan Indah yang setia menemaniku
- ☞ Bapak Ir Soeweify, MEng dan Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardhana, MSc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan, motivasi dan bantuan selama proses pengerjaan tugas akhir
- ☞ Bapak Dr. Ir. Wahyudi, MSc selaku dosen wali dan Sekretaris Jurusan yang banyak memberikan petunjuk selama perkuliahan
- ☞ Bapak Dr. Ir. Paulus Indiyono, MSc selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS
- ☞ Bapak Dr. Ir. M Zaed Yuliadi, MSc selaku Pimpinan Welding Center yang telah memberikan petunjuk dan nasehat selama praktek di PT. PAL Surabaya
- ☞ Bapak Bambang, Pak Imam, Pak Yedi, Pak Zainuddin, Mas Suhaili, Mbak Yuni dan seluruh staf Welding Center yang telah banyak membantu
- ☞ Bapak Djoko Widodo dan Mas Hermawan yang telah banyak membantu praktikum di Lab. Mekanik PT. PAL Surabaya
- ☞ Bapak Hardiman selaku teknisi Lab. Produksi FTK yang telah banyak membantu pengerjaan tugas akhir

- ☞ Bapak Mudjito dan Mas Naryo di Lab. Konstruksi dan Kekuatan FTK yang telah banyak membantu
- ☞ Semua rekan angkatan 97 atas kekompakan dan kebersamaan kita, tanpa kalian kampus kita mungkin sepi
- ☞ Ichwan Yon D. terima kasih atas pinjaman komputernya dan banyak terima kasih atas segala bantuannya beserta keluarga Putat Gede
- ☞ Teman-teman dekatku Ivan, Ilham, Iwan, Meck yang selalu membantu dan mendukungku
- ☞ Keluarga Bapak Bambang, Mbak Mamiiek, Ibu Maryam dan seluruh keluarga di Genteng Dalem
- ☞ Pak Yun Soemarno, Pak Nardo dan seluruh staf PT. Indo Ika Mandiri Surabaya
- ☞ Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, dengan tanpa mengurangi rasa hormat penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya

Hanya doa yang dapat penulis berikan dan semoga segala amal kebaikan dan bantuan yang diberikan mendapat balasan yang berlipat dari-Nya.

Surabaya, Agustus 2002

Penulis

## DAFTAR NOTASI

<b>A</b>	: Panjang reduced section (mm)
<b>A<sub>o</sub></b>	: Luas awal penampang (mm <sup>2</sup> )
<b>C</b>	: Lebar grip section (mm)
<b>d</b>	: Diagonal tapak tekan (mm)
<b>E</b>	: Voltase busur (volt)
<b>f<sub>l</sub></b>	: efisiensi mesin las (0,8 ~ 1)
<b>HI</b>	: Heat Input (Joule/mm)
<b>I</b>	: Arus listrik (ampere)
<b>L</b>	: Panjang benda uji/spesimen (mm)
<b>L<sub>o</sub></b>	: Panjang awal benda uji (mm)
<b>P</b>	: Beban atau gaya luar (kg)
<b>α</b>	: Sudut puncak indentor = 136°
<b>σ</b>	: Tegangan rata-rata, Pa(psi)
<b>ε</b>	: Regangan linier
<b>δ</b>	: Deformasi/perpanjangan (mm)
<b>v</b>	: Kecepatan pengelasan (mm/det)

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Halaman Pengesahan	
Halaman Persembahan	
Abstrak	
Kata Pengantar	
Ucapan Terima Kasih	
Daftar Notasi	
Daftar Isi	
Daftar Gambar	
Daftar Tabel	

### **B A B I    P E N D A H U L U A N**

1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian	I-3
1.4 Manfaat	I-3
1.5 Batasan Masalah	I-4
1.6 Metodologi Penelitian	I-5

### **B A B II    T I N J A U A N    P U S T A K A**

2.1 Sifat-Sifat Mekanik	II-1
2.2 Struktur Mikro Baja Pengelasan	II-2
2.3 Siklus Termal Daerah Lasan	II-3
2.3.1 Pembekuan Struktur Logam Las	II-3
2.3.2 Reaksi Metalurgi Yang Terjadi Dalam Pembekuan	II-5
2.4 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)	II-7
2.5 Ketangguhan Daerah Las	II-9
2.5.1 Ketangguhan Dan Penggetasan Pada Daerah HAZ	II-9
2.5.2 Ketangguhan Logam Las	II-9
2.6 Kekuatan Tarik Bahan	II-13

2.7 Patah Ulet	II-16
2.8 Patah Getas Dan Cara Menghindari Patah Getas	II-17

### **B A B III PROSEDUR DAN TEKNIK PENGELASAN**

3.1 Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)	III-1
3.2 Peralatan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)	III-3
3.3 Kondisi Pengelasan	III-4
3.3.1 Tegangan Busur Las	III-4
3.3.2 Besar Arus Las	III-5
3.3.3 Kecepatan Pengelasan	III-6
3.3.4 Polaritas Listrik	III-7
3.3.5 Besarnya Penembusan	III-7
3.4 Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding)	III-8
3.4.1 Pengertian Pengelasan FCAW	III-8
3.4.2 Gas Shielded FCAW	III-10
3.4.3 Self Shielded FCAW	III-15
3.5 Peralatan Dalam Proses FCAW	III-17
3.5.1 Peralatan Semi Automatic	III-17
3.5.2 Peralatan Automatic	III-21

### **B A B IV PELAKSANAAN PERCOBAAN**

4.1 W.P.S (Welding Procedure Specification)	IV-1
4.2 Pelaksanaan Pengelasan	IV-5
4.2.1 Pengelasan SMAW	IV-5
4.2.2 Pengelasan FCAW	IV-7
4.3 Pelaksanaan Pengujian	IV-11
4.3.1 Pelaksanaan Uji Tarik	IV-11
4.3.2 Pengujian Amatan (Visual Test)	IV-14
4.3.3 Pengujian Pukul-Takik (Impact Test)	IV-17
4.3.4 Pengujian Kekerasan (Hardness Test)	IV-22

## **B A B V ANALISA DAN PEMBAHASAN**

- |     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| 5.1 | Analisa Percobaan  | V-1 |
| 5.2 | Pembahasan Masalah | V-8 |

## **B A B VI PENUTUP**

- |     |            |      |
|-----|------------|------|
| 6.1 | Kesimpulan | VI-1 |
| 6.2 | Saran      | VI-4 |

Daftar Pustaka

Lampiran

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram CCT (baja ASTM 4340)	II-2
Gambar 2.2	Arah pembekuan dari logam las	II-4
Gambar 2.3	Digram CCT dan Hubungan antara Waktu Pendinginan dengan Kekerasan dan Struktur	II-8
Gambar 2.4	Grafik nilai impact dengan variasi masukan panas (heat input) pada pelat baja S 45 C	II-12
Gambar 2.5	Kurva Tegangan-Regangan Rekayasa	II-13
Gambar 3.1	Proses Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)	III-2
Gambar 3.2	Peralatan Pengelasan Manual SMAW (Shielded Metal Arc Welding)	III-4
Gambar 3.3	Proses Gas Shielded Flux Cored Arc Welding	III-11
Gambar 3.4	Proses Self Shielded Flux Cored Arc welding	III-16
Gambar 3.5	Peralatan Proses Pengelasan Flux Cored Arc Welding Semi Otomatis	III-18
Gambar 3.6	Pengumpan (guns) Jenis Gas Shielded Flux Cored Arc Welding	III-20
Gambar 3.7	Pengumpan (guns) Jenis Self Shielded Flux Cored Arc Welding	III-21
Gambar 3.8	Peralatan Proses Pengelasan Flux Cored Arc Welding Otomatis	III-22
Gambar 3.9	Perakitan Nozzle untuk Gas Shelded Flux Cored Arc Welding Otomatis	III-23

Gambar 3.10 Tipe nozzle untuk Self Shielded Electrode	III-23
Gambar 4.1 Proses pemotongan pelat pipa dengan sudut potong $30^{\circ}$	IV-2
Gambar 4.2 Proses pembuatan permukaan akar (root face) dengan menggunakan gerinda	IV-2
Gambar 4.3 Lokasi untuk uji tarik pada pelat pipa	IV-11
Gambar 4.4 Bentuk spesimen uji untuk uji tarik	IV-12
Gambar 4.5 Material lasan setelah dilakukan pengujian makroetsa	IV-16
Gambar 4.6 Cara kerja mesin uji Impact	IV-17
Gambar 4.7 Mesin uji Impact	IV-18
Gambar 4.8 Dimensi spesimen uji Impact (Standar ASTM A370)	IV-19
Gambar 4.9 Spesimen uji untuk Hardness Test	IV-23
Gambar 5.1 Grafik Hasil Uji Impact Pada Berbagai Macam Tebal Tebal Pelat Pipa	V-3
Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pada Base Metal	V-5
Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pada Weld Metal	V-5
Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pada HAZ	V-6

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil uji tarik pelat baja SS41 dengan proses FCAW	II-15
Tabel 2.2 Hasil uji tarik pelat baja SS41 dengan proses FCAW	II-16
Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik Spesimen 1, tebal pelat=10 mm, proses SMAW	IV-13
Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik Spesimen 2, tebal pelat=15 mm, proses SMAW	IV-13
Tabel 4.3 Hasil Uji Tarik Spesimen 1, tebal pelat=10 mm, proses FCAW	IV-14
Tabel 4.4 Hasil Uji Tarik Spesimen 1, tebal pelat=15 mm, proses FCAW	IV-14
Tabel 4.5 Hasil Uji Impact Pada Daerah HAZ	IV-21
Tabel 4.6 Hasil Uji Impact Pada Daerah Weld Metal	IV-21
Tabel 4.7 Hasil Uji Kekerasan Material Tebal 10 mm, Proses SMAW	IV-26
Tabel 4.8 Hasil Uji Kekerasan Material Tebal 15 mm, Proses SMAW	IV-26
Tabel 4.9 Hasil Uji Kekerasan Material Tebal 10 mm, Proses FCAW	IV-27
Tabel 4.10 Hasil Uji Kekerasan Material Tebal 15 mm, Proses FCAW	IV-27
Tabel 5.1 Perbandingan masukan panas dan diffusible hydrogen berbagai proses pengelasan	V-9



**BAB I**  
**PENDAHULUAN**



# BABI

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada saat ini perkembangan industri konstruksi logam baik di bidang konstruksi bangunan baja, perkapalan, bangunan lepas pantai dituntut untuk menghadapi ketatnya persaingan seperti mutu, harga dan waktu pembangunan sehingga mendorong industri konstruksi logam untuk terus melakukan usaha-usaha dalam rangka meningkatkan efisiensi proses produksi. Untuk mendukung hal tersebut, yang harus mendapat perhatian utama yaitu proses pengelasan logam. Karena dengan proses pengelasan ini, pembangunan suatu konstruksi logam menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana sehingga biaya keseluruhannya menjadi lebih murah.

Proses pengelasan merupakan salah satu cara penyambungan antara dua logam dan paduan-paduan logam dengan menggunakan energi panas, dengan logam pengisi atau tanpa logam pengisi. Penyambungan logam dengan pengelasan pada saat ini merupakan cara yang paling efektif digunakan karena bisa dilakukan disegala tempat dan posisi, desainnya mudah dengan kekuatan yang relatif sama dengan logam yang disambung. Ada berbagai macam proses pengelasan yang digunakan pada waktu



sekarang ini. Diantaranya SMAW (Shielded Metal Arc Welding), FCAW (Flux Cored Arc Welding), GMAW (Gas Metal Arc Welding), SAW (Submerged Arc Welding).



SMAW merupakan pengelasan manual dengan menggunakan proses panas yang dihasilkan oleh panas busur yang terjadi diantara ujung elektroda dan logam induk. FCAW merupakan proses pengelasan busur antara elektrode filler metal yang diumpankan terus menerus dengan bidang material yang akan dilas. Dan FCAW merupakan gabungan proses SMAW dan GMAW karena pada proses FCAW dapat menggunakan gas pelindung ( $\text{CO}_2$ ) seperti pada proses GMAW dan pada elektrode FCAW terdapat flux seperti pada proses SMAW.

Pada suatu proses pengelasan, tidak dapat dihindari terjadinya perubahan sifat mekanik, perubahan struktur mikro dan perubahan ukuran butir kristal yang dihasilkan dari suatu proses laku panas selama proses pengelasan berlangsung seperti pemanasan dan pendinginan. Adapun sifat mekanik yang sering diamati dari suatu hasil pengelasan adalah kuat tarik, ketangguhan (impact), kekerasan (hardness), kelelahan (fatigue).

Pada proses pengelasan, daerah HAZ (Heat Affected Zone) menjadi perhatian utama, karena daerah ini yang paling berpengaruh terhadap panas.pengelasan dan kecepatan pendinginan. Daerah HAZ adalah



merupakan daerah pada logam induk yang bersebelahan dengan logam las, dimana selama proses pengelasan mengalami proses thermal dan pendinginan secara cepat sehingga strukturnya berubah. Perubahan struktur mikro yang terjadi di daerah HAZ, akan berakibat berubahnya sifat mekanik logam yang telah selesai dilas. Karena salah satu sifat mekanik yang penting dari suatu hasil pengelasan adalah nilai kekerasan, yang dapat memberikan efek penggetasan (Jamili, B., 2000). Efek penggetasan ini mungkin disebabkan oleh butir kristal yang besar, cacat las, titik pusat konsentrasi tegangan dan lain-lain. Sifat mekanik inilah yang nantinya akan sangat berpengaruh terhadap kualitas sambungan las. Maka pada tugas akhir ini akan dilakukan pengamatan mengenai kekerasan dan ketangguhan logam pada daerah HAZ, logam induk dan pada logam lasan dari pelat pipa ASTM 106 Grade B ketebalan 10 mm dan 15 mm dengan menggunakan pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dan FCAW (Flux Cored Arc Welding) dengan mengacu pada standard AWS.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Untuk melakukan pemecahan masalah harus dirumuskan dengan jelas bagaimana suatu permasalahan yang dihadapi. Adapun permasalahannya adalah dari berbagai macam tebal pelat pipa yaitu 10 mm dan 15 mm dengan pengelasan SMAW dan FCAW, bagaimana sifat kekerasan dan ketangguhan logam pada daerah HAZ, logam induk dan pada logam lasan.



### **1.3 Tujuan**

Penulisan tugas akhir dan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kekerasan dan ketangguhan pelat pipa dengan berbagai macam ketebalan yaitu 10 mm dan 15 mm dengan pengelasan SMAW dan FCAW.

### **1.4 Manfaat**

Dari hasil penelitian tugas akhir ini dapat diambil manfaat yaitu:

1. Dapat memberikan informasi mengenai sejauh mana nilai kekerasan dan ketangguhan dengan menggunakan las busur listrik SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dan FCAW (Flux Cored Arc Welding) untuk tebal pelat pipa 10 mm dan 15 mm.
2. Dengan diketahuinya kekerasan dan nilai ketangguhan daerah HAZ dan logam lasan pada pelat, maka kekuatan suatu konstruksi logam pada umumnya dapat lebih dipertanggung jawabkan.
3. Dapat meningkatkan efisiensi suatu proses produksi pembangunan suatu konstruksi logam.

### **1.5 Batasan Masalah**

Agar lebih memudahkan analisa dan dapat dicapai tujuan yang diharapkan, maka perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut:

- Las busur yang digunakan adalah SMAW dan FCAW
- Posisi pengelasan adalah posisi datar (1G)



- Jenis kampuh las V tunggal dengan sudut bevel  $60^{\circ}$
- Desain sambungan butt joint
- Elektroda yang dipakai jenis mild steel (AWS Class)
- Spesifikasi material pelat pipa adalah ASTM 106 Grade B dengan ketebalan pelat pipa 10 mm dan 15 mm
- Pada pelaksanaan pengelasan tidak ada gaya (beban)
- Standart yang digunakan adalah AWS
- Yang diamati dalam penelitian ini hanyalah sampai sejauh mana kekerasan dan ketangguhan logam lasan setelah dilakukannya pengelasan dan pengujian

## 1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada pembahasan masalah ditempuh dalam beberapa tahapan, untuk tahap pertama akan dilakukan studi literatur (metode pustaka). Selanjutnya dilakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam proses pengelasan, yaitu pembuatan WPS (Welding Procedure Specification) yang merupakan pedoman bagi pelaksana untuk melakukan pengelasan.

### A. Metode pustaka

Metode ini didasarkan atas tinjauan dasar teori dan teori-teori penunjang yang berhubungan dengan masalah pengelasan dan pengujiannya serta sifat-sifat mekanis logam.



## B. Penelitian di laboratorium

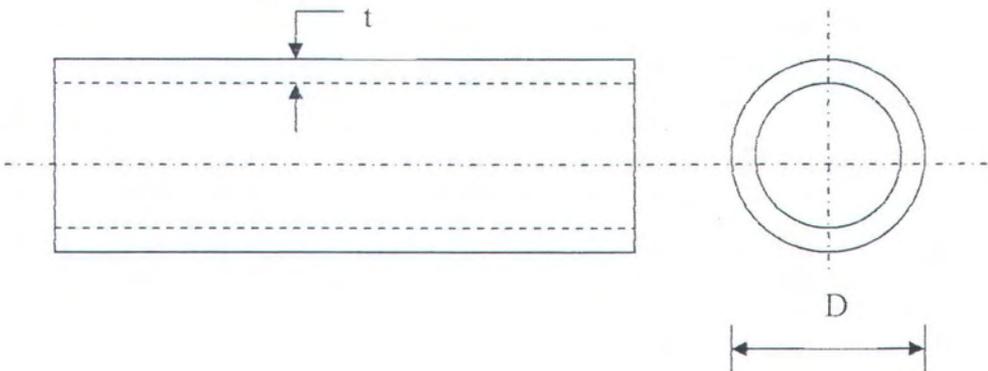
Penelitian di laboratorium ini meliputi proses pengelasan dan pengujian pada material pelat pipa yang dilas.

### 1. Pelat pipa

Penelitian dilaksanakan menggunakan pelat pipa dengan spesifikasi ASTM 106 Grade B dengan ketebalan 10 mm dan 15 mm (Sch. 80).

Adapun dimensi dari pelat pipa adalah:

- a. Pelat pipa dengan ketebalan 10 mm, diameter luar 4"
- b. Pelat pipa dengan ketebalan 15 mm, diameter luar 6"



dimana,

t = tebal pelat pipa

D = diameter luar pipa

### 2. Teknik pengelasan



Material pelat pipa dilas dengan menggunakan las busur SMAW dan FCAW. Pengelasan dilakukan oleh welder yang telah berpengalaman untuk pengelasan SMAW dan FCAW.

3. Elektrode las

Elektroda las yang dipakai ditentukan berdasarkan pada standard AWS dengan spesifikasi dan class tertentu.

4. Pengujian makroetsa

Setelah dilakukan pengelasan, semua material akan diuji non destructive test. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui cacat las yang mungkin terjadi dan untuk mengetahui batas-batas antara daerah HAZ, daerah weld metal dan daerah base metal.

5. Pengujian mekanis

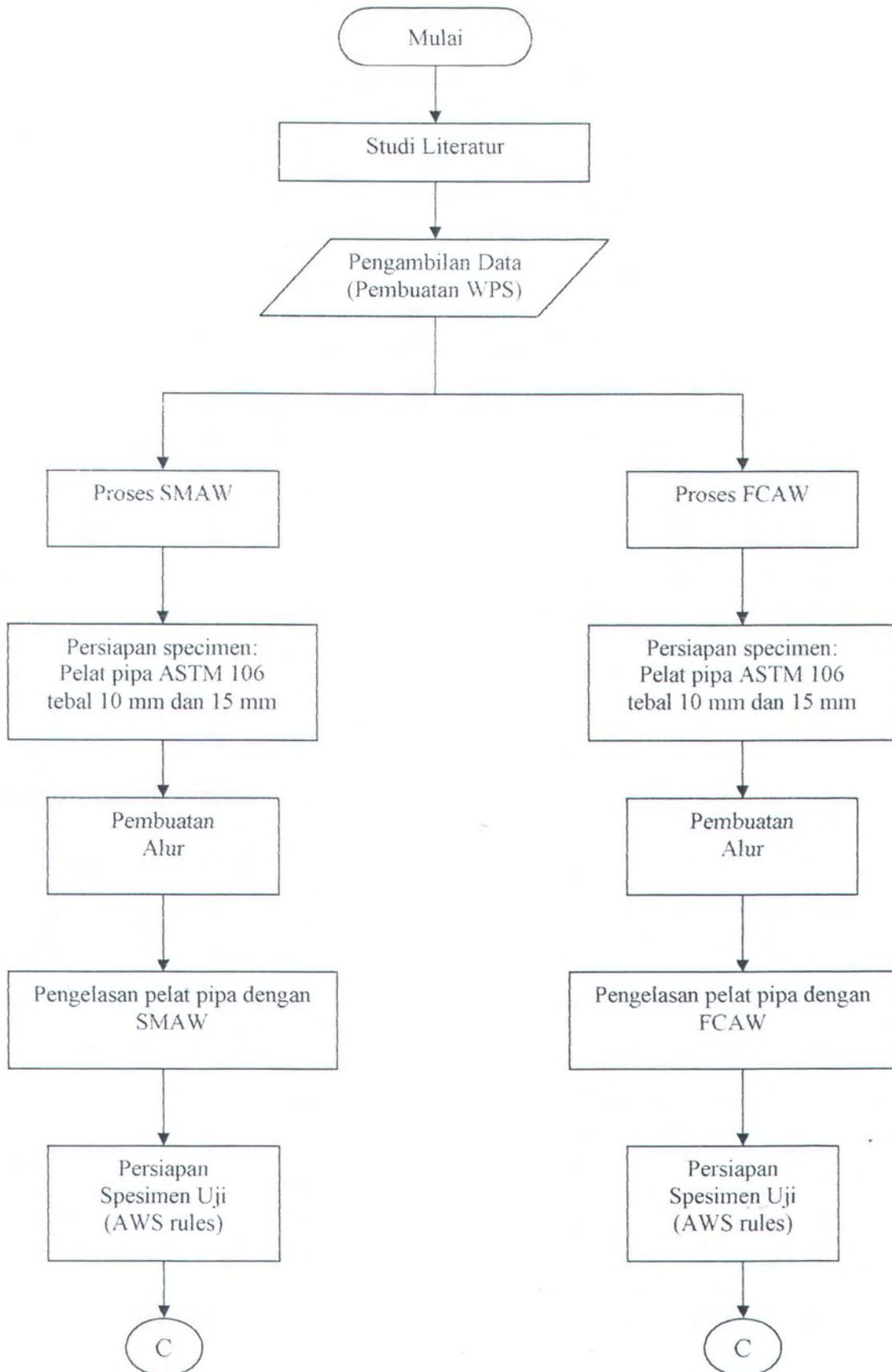
Pengujian mekanis ini dimaksudkan untuk mengetahui ketangguhan dan kekerasan dari material yang dilas. Untuk ketangguhan dilakukan pengujian tarik, bending dan impact. Pengujian tarik dan bending mengacu pada standar AWS (American Welding Society). Untuk pengujian impact digunakan pengujian impact notch Charpy V2mm. Sedangkan untuk kekerasan material dilakukan pengujian kekerasan (hardness test) yaitu micro hardness Vickers karena hasil

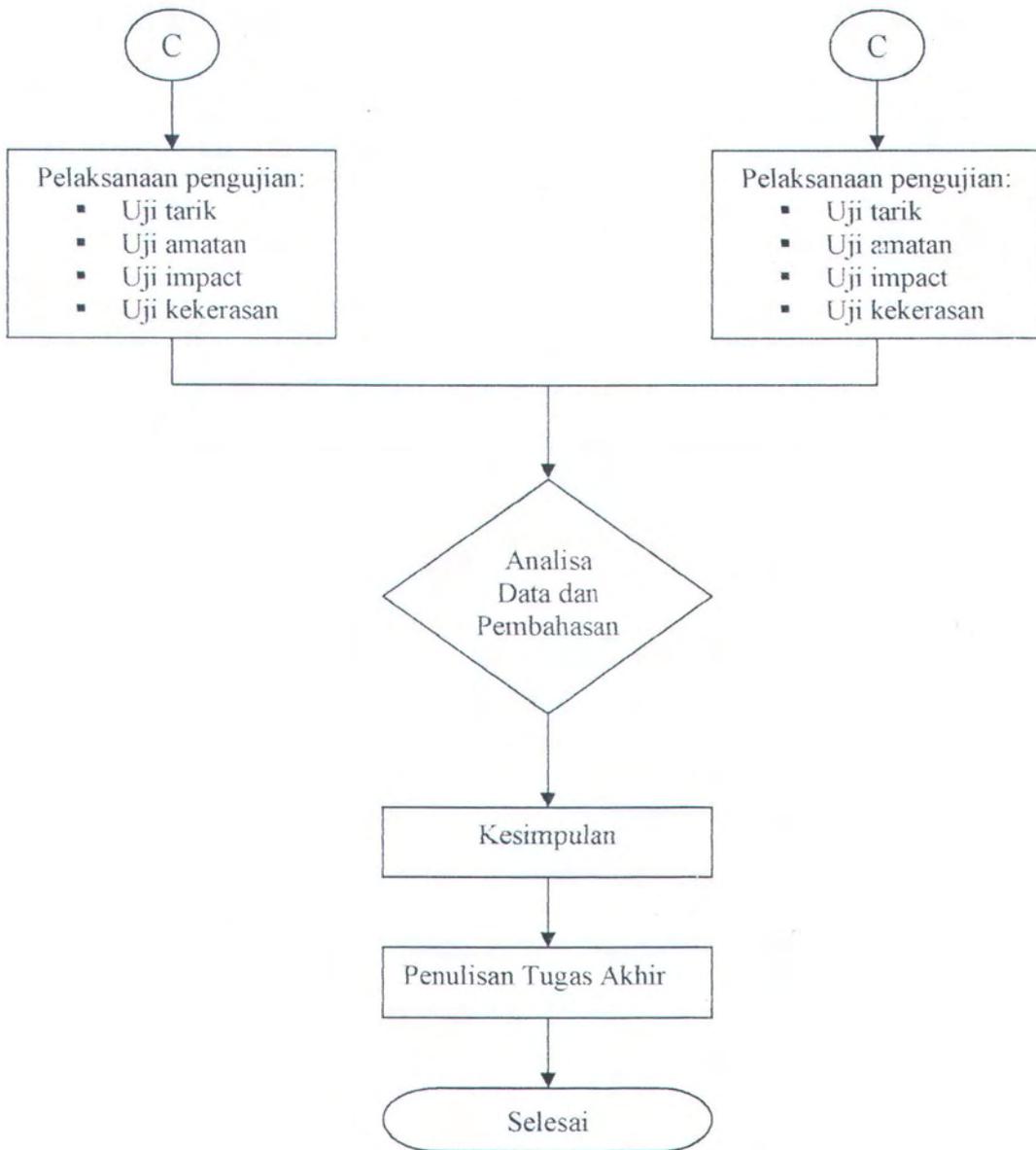


kekerasan selain ditinjau pada daerah weld metal juga pada daerah HAZ (Heat Affected Zone) yang memerlukan ketelitian.

Dari serangkaian urutan pengerjaan proses pengelasan pelat pipa dengan menggunakan proses pengelasan SMAW dan FCAW, yang selanjutnya dilakukan pengujian-pengujian visual dan mekanis untuk mengetahui berapa besar nilai kekerasan dan ketangguhan dari material yang menunjukkan sifat-sifat dari material.

Runtutan proses penelitian pengelasan SMAW dan FCAW pada pelat pipa seperti dalam diagram alur pada halaman berikut:







**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**



## B A B II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sifat-Sifat Mekanik

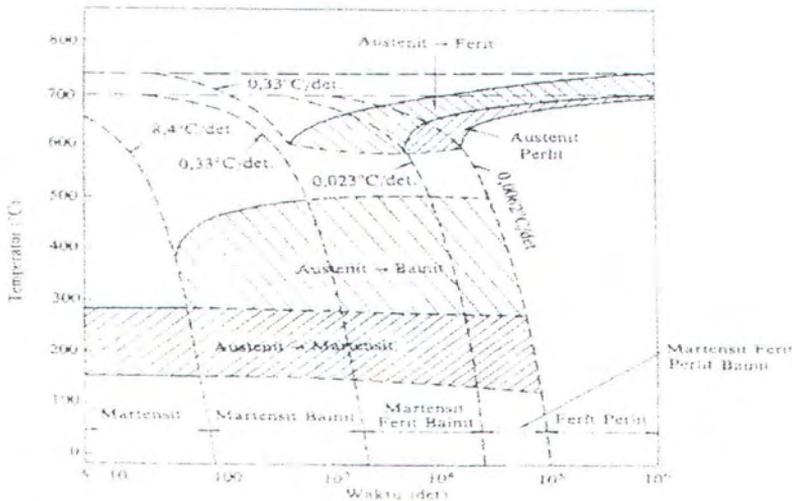
Sifat mekanik adalah suatu sifat terpenting, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban atau gaya tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan tersebut. Beberapa sifat mekanik yang penting adalah (Jamili, B., 2000):

- Kekuatan (strength) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan menjadi patah.
- Kekerasan (hardness) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan, indentasi atau penetrasi.
- Ketangguhan (toughness) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu.
- Kelelahan (fatigue) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang (cyclic stress) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisnya.
- Kekenyalan (elasticity) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanent setelah tegangan dihilangkan.



## 2.2 Struktur Mikro Baja Pengelasan

Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah (Harsono, 1996). Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi yang bahasa Inggrisnya adalah "Continuous Cooling Transformation" dan disingkat menjadi diagram CCT. Contoh dari diagram ini untuk baja ASTM 4340 seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Dari gambar dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik yang berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferit-perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit.



Gambar 2.1 Diagram CCT (baja ASTM 4340) (Harsono, 1996)



## 2.3 Siklus Termal Daerah Lasan

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang disebut HAZ (Heat Affected Zone) dan logam induk yang tak terpengaruh. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruh adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Di samping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las. Dalam membahas siklus termal daerah lasan hal-hal yang perlu dibahas meliputi proses pembekuan, reaksi yang terjadi dan struktur yang terbentuk yang masing-masing akan dibahas tersendiri.

### 2.3.1 Pembekuan Dan Struktur Logam Las

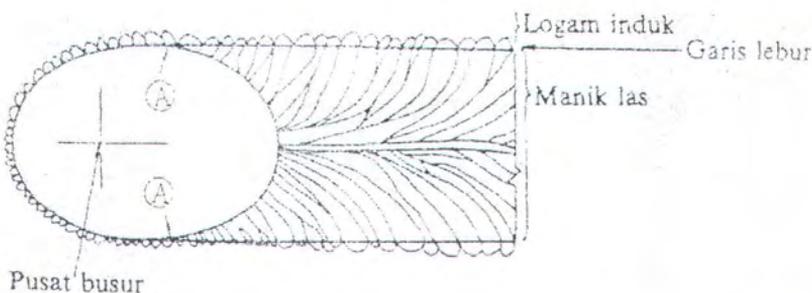
Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segegrasi, lubang halus dan retak. Banyaknya dan macamnya cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan.

Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaannya adalah:



- 1) Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi
- 2) Sumber panas dalam las bergerak terus
- 3) Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus
- 4) Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.

Dalam Gambar 2.2 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dstruktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.



Gambar 2.2 Arah pembekuan dari Logam Las (Harsono, 1996)



### 2.3.2 Reaksi Metalurgi Yang Terjadi Dalam Pembekuan

#### (1) Pemisahan

Di dalam logam las terdapat tiga jenis pemisahan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang dan pemisahan mikro. Pemisahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju ke garis sumbu las, sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

#### (2) Lubang-lubang Halus

Lubang-lubang halus terjadi karena adanya gas yang tidak larut dalam logam padat. Lubang-lubang tersebut disebabkan karena tiga macam cara pembentukan gas sebagai berikut: Yang pertama adalah pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan, yang kedua adalah terbentuknya gas karena adanya reaksi kimia di dalam logam las dan yang ketiga penyusupan gas ke dalam atmosfer busur.

Gas yang terbentuk karena perbedaan batas kelarutan dalam baja adalah gas hydrogen dan gas nitrogen, sedangkan yang terjadi karena reaksi adalah



terbentuknya gas CO dalam logam cair dan yang menyusup adalah gas-gas pelindung atau udara yang terkurung dalam akar kampuh las.

### *(3) Proses Deoksidasi*

Sebenarnya hanya sejumlah kecil oksigen yang larut dalam baja, tetapi karena tekanan disosiasi dari kebanyakan oksida sangat rendah, maka pada umumnya akan terbentuk oksida-oksida yang stabil. Karena pengukuran yang tepat untuk mengetahui jumlah oksigen yang larut dalam baja sangat sukar, maka untuk melepaskan oksigen dari larutan, biasanya dilakukan usaha-usaha seperti menghilangkan oksida. Proses menghilangkan oksida ini disebut proses deoksidasi.

Kadar oksigen dalam baja tergantung pada kadar Si, Mn dan lain-lainnya. Dalam baja kil kira-kira 0,01% dan dalam baja rim kira-kira 0,02%. Sebaliknya kadar oksigen dalam logam las sangat tergantung dari fluks yang digunakan, misalnya pada pengelasan busur dengan fluks oksida besi atau ilmenit kadar oksigen akan mencapai antara 0,08% sampai 0,12%, pada alas busur rendam dengan fluks basa kan mencapai antara 0,02% sampai 0,04% dan antara 0,01% sampai 0,02% dalam las TIG atau las MIG.

Ketangguhan logam las turun dengan naiknya kadar oksigen, karena itu harus selalu diusahakan agar logam las mempunyai kadar oksigen yang serendah-rendahnya. Usaha penurunan oksigen ini dapat dilakukan dengan



menambah unsure-unsur yang bersifat deoksidasi seperti Si, Mn, Al, dan Ti atau menaikkan kebasaaan dari terak lasnya.

## 2.4 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT. Diagram ini dapat digunakann untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya, yang kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan.

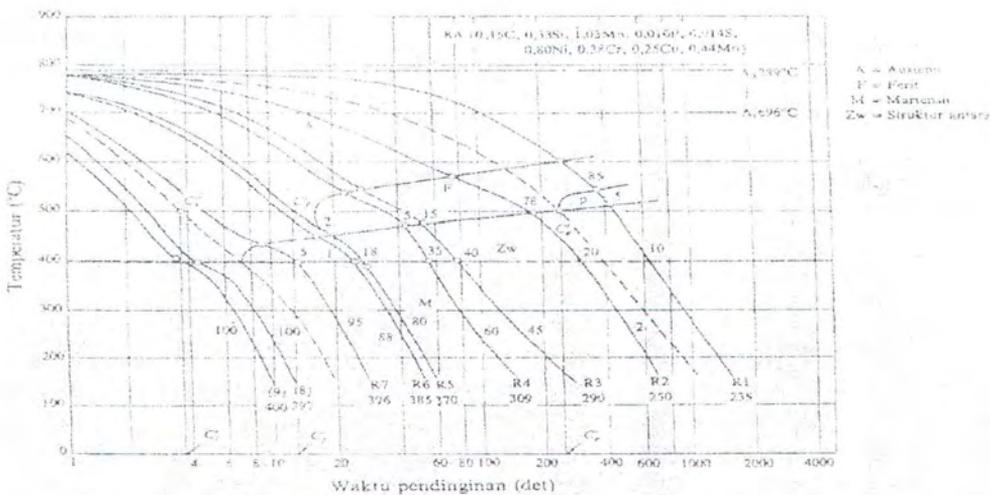
Biasanya diagram transformasi pendinginan berlanjut menunjukkan juga kekerasan yang akan dimiliki oleh baja setelah mendingin mengikuti suatu siklus termal tertentu. Karena itu dengan mengukur waktu pendinginan dari 800°C sampai 500°C dan menggabungkan dengan diagram CCT dari baja yang sama, maka struktur dan kekerasan baja pada daerah HAZ sudah dapat ditentukan.

Diagram transformasi pendinginan berlanjut untuk baja kekuatan 80 kg/mm<sup>2</sup> ditunjukkan dalam Gambar 2.3. Di dalam gambar (b) ditunjukkan hubungan antara prosentase struktur dan kekerasan baja yang didapat dengan melalui beberapa macam waktu pendinginan (dari 787°C sampai 500°C) seperti yang terlihat dalam gambar (a). Diagram semacam ini memungkinkan untuk

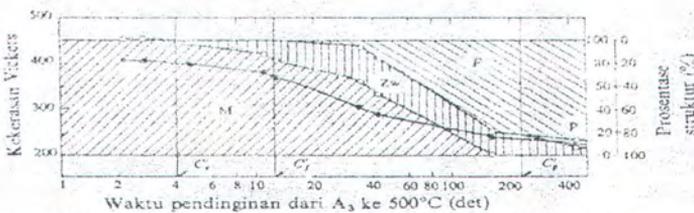


mengetahui kecepatan terbentuknya struktur, kekerasan dan lain sebagainya, yang terjadi karena pengelasan.

Diagram transformasi pendinginan berlanjut dapat berubah karena berubahnya temperature maksimum yang terjadi. Pada umumnya bila temperature maksimum naik, kurva-kurva yang menunjukkan terjadinya struktur-struktur tertentu di dalam diagram bergerak ke kanan yang mengarah pada pemantapan pembentukan martensit. Bila ini terjadi jelas bahwa hasil pengelasan menjadi lebih keras.



(a) Diagram CCT.



(b) Hubungan antara waktu pendinginan dengan kekerasan dan struktur.

Gambar 2.3 Diagram CCT dan Hubungan antara Waktu Pendinginan dengan Kekerasan dan Struktur (Harsono, 1996)



## 2.5 Ketangguhan Daerah Las

### 2.5.1 Ketangguhan Dan Penggetasan Pada Daerah HAZ

Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan yang rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai 2000 m/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat sekali. Dalam hal sambungan las, patah getas ini menjadi lebih penting lagi karena adanya factor-faktor yang membantu seperti: konsentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai dan adanya cacat dalam lasan. Berhubung dengan hal ini, maka dalam usaha mempertinggi keamanan las, perlu adanya penilaian ketahanan daerah las terhadap patah getas.

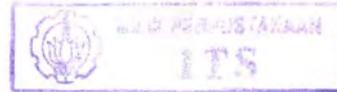
### 2.5.2 Ketangguhan Logam Las

Ketangguhan logam juga tergantung dari strukturnya seperti halnya pada logam induk dan pada batas las. Hanya saja logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain.

Komposisi logam las sudah barang tentu tergantung dari pada proses pengelasan yang digunakan, tetapi dapat diperkirakan bahwa komposisinya



akan terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan. Karena itu dalam menganalisa ketangguhan logam las harus diperhatikan pengaruh unsur lain yang terserap selama proses pengelasan, terutama oksigen, dan pengaruh dari strukturnya sendiri.



### *(1) Pengaruh Oksigen*

Pada waktu logam las masih cair, oksidasi dihalangi oleh terak dan gas pelindung yang terbentuk oleh bahan pembungkus elektroda. Tetapi walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam las cair tidak dapat dihalangi sepenuhnya, sehingga logam las mengandung lebih banyak oksigen bila dibanding dengan logam induk, sehingga terjadi perbedaan keuletan antara keduanya. Sama halnya seperti oksigen, nitrogen diperkirakan juga banyak terserap ke dalam logam las dan inipun menyebabkan berkurangnya ketangguhan.

Pada umumnya, dalam las busur gas, banyaknya oksigen yang diserap tergantung dari macam gas pelindungnya. Dalam las dengan pelindung gas Argon, kadar oksigen yang terserap sangat rendah, sedangkan dalam pelindung  $\text{CO}_2$ , oksigen yang terserap lebih tinggi.



Dalam pengelasan manual dan pengelasan busur rendam, kandungan oksigen dalam logam las sangat tergantung dari bahan selubung dan kebiasaan dari fluks.

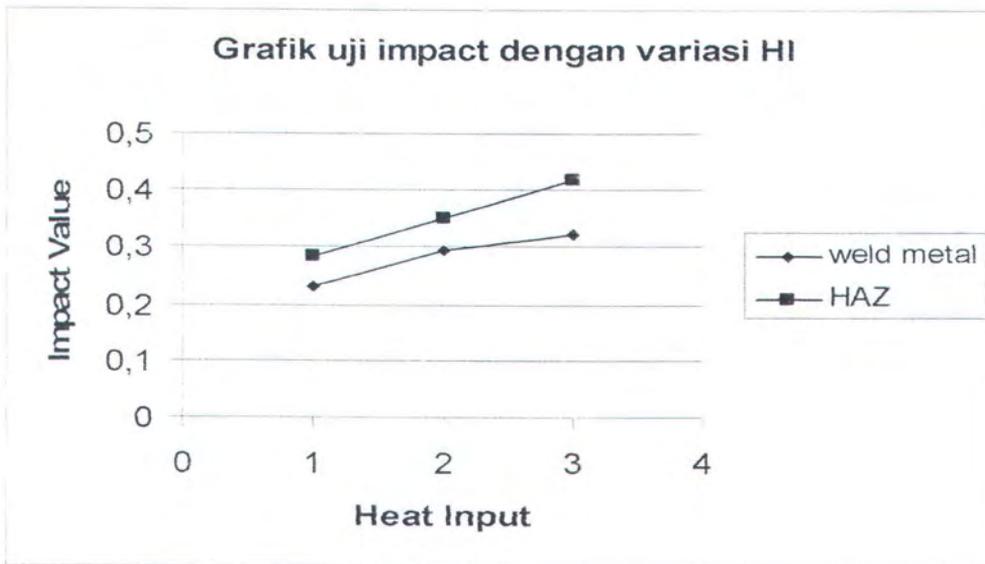
### *(2) Pengaruh Struktur*

Pengaruh struktur logam las terhadap ketangguhan pada dasarnya sama saja seperti pada batas las. Tetapi karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair dan kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen. Jadi jelas bahwa kecuali terjadinya pemisahan, pengaruh struktur terhadap ketangguhan logam las sama saja seperti pengaruh struktur terhadap batas las yaitu struktur bainit atas dan ferit kasar menurunkan ketangguhan dan struktur bainit bawah dan martensit mempertinggi ketangguhan.

Dalam uraian diatas jelas bahwa untuk mendapatkan ketangguhan logam las yang tinggi, kandungan unsure-unsur lain seperti oksigen dan nitrogen harus diusahakan serendah-rendahnya dan harus diusahakan terbentuknya struktur yang menguntungkan.



Penelitian yang sudah dilakukan mengenai peninjauan seberapa jauh nilai ketangguhan logam las dengan menggunakan pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) pada pelat baja S 45 C dengan variasi masukan panas (heat input) dan hasilnya seperti pada grafik sebagai berikut:



Keterangan: Heat input 1 = Heat input rendah (3650,365 Joule/mm)

Heat input 2 = Heat input sedang (3860, 709 Joule/mm)

Heat input 3 = Heat input tinggi (4184,864 Joule/mm)

Gambar 2.4 Grafik nilai impact dengan varisai masukan panas (heat input) pada pelat baja S 45 C (Jamili, B.,2000)

Dari grafik diatas terlihat perbedaan nilai impact antara heat input rendah, heat input sedang dan heat input tinggi pada daerah weld metal dan HAZ. Pada daerah HAZ ternyata memiliki nilai impact yang lebih tinggi dibanding pada daerah weld metal pada semua kondisi pengelasan. Selain itu prosentase bentuk patahan menunjukkan pada daerah HAZ lebih ductile dibanding pada



daerah weld metal. Ini dikarenakan pada waktu pencairan elektroda, oksidasi dihalangi oleh terak dan gas pelindung yang terbentuk oleh bahan terbungkus elektroda. Tetapi walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam cair tidak dapat dihalangi sepenuhnya, sehingga logam las banyak oksigen dibanding logam induk, sehingga terjadi perbedaan keuletan antara keduanya.

## 2.6 Kekuatan Tarik Bahan

Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. Kurva tegangan-regangan rekayasa dibuat dari pengukuran perpanjangan benda uji (Gambar 2.4). Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang melintang dari benda uji.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana,  $\sigma$  = tegangan rata-rata ( $\text{kg/mm}^2$ )

P = beban atau gaya luar (kg)



$A_0$  = luas awal penampang ( $\text{mm}^2$ )

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan rekayasa adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur (gage length) benda uji,  $\delta$ , dengan panjang awal,  $L_0$ .

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - L_0}{L_0} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana,  $\varepsilon$  = regangan linier

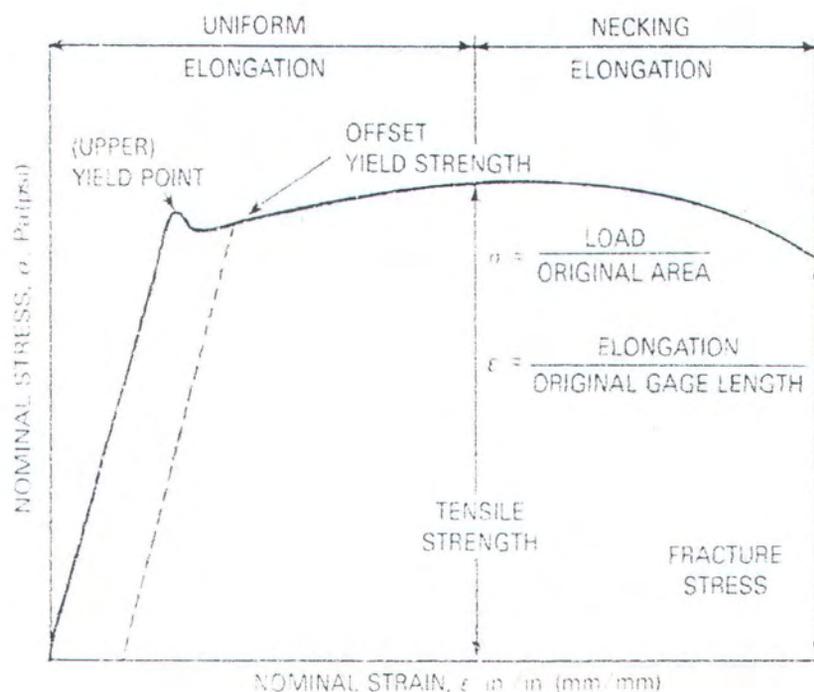
$L_0$  = panjang awal benda uji (mm)

$L$  = panjang benda uji (mm)

$\delta$  = deformasi atau perpanjangan (mm)

(Dieter, George E. 1992)

Karena tegangan dan regangan diperoleh dengan cara membagi beban dan perpanjangan dengan factor yang konstan, kurva beban-perpanjangan akan mempunyai bentuk yang sam seperti kurava tegangan-regangan teknik. Kedua kurva ini sering saling dipergunakan.



Gambar 2.5 Kurva Tegangan-Regangan Rekayasa  
(Welding Handbook, AWS, 2000)

Penelitian proses pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding) pada pelat baja yang telah dilakukan dan melakukan pengujian tarik memberikan hasil sebagai berikut:

Tabel 2.1 Hasil uji tarik pelat baja SS41 dengan proses FCAW (Buana, 1995)

Spesimen		Luas (mm <sup>2</sup> )	Teg. luluh (N/mm <sup>2</sup> )	Teg. max (N/mm <sup>2</sup> )	Failure Location
1	1	214,8	332,2	454,76	B metal
	2	215,4	326,4	453,6	B metal
2	1	211,1	353,4	467,8	B metal
	2	210,9	394,3	470,3	B metal



Tabel 2.2 Hasil uji tarik pelat baja SS41 dengan proses FCAW (Ruddianto, 1994)

Spesimen		Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Teg. luluh (N/mm <sup>2</sup> )	Teg. max (N/mm <sup>2</sup> )	Failure Location
1	1	19,25	11,25	216,56	314,0	450,21	B metal
	2	19,10	11,25	214,87	321,12	450,14	B metal
2	1	19,10	11,25	214,87	330,42	453,75	B metal
	2	19,15	11,25	215,43	324,92	452,56	B metal
3	1	19,25	10,95	210,78	341,58	462,55	B metal
	2	19,25	10,95	210,78	332,09	467,29	B metal
4	1	19,10	11,05	211,05	352,99	466,70	B metal
	2	19,10	11,10	210,95	353,25	469,41	B metal

Dari tabel diatas dapat diketahui kekuatan tarik logam lasan lebih tinggi dibanding dengan logam dasar (base metal). Hal ini dapat dilihat dari patahnya material berada pada logam dasar, bukan pada logam lasan. Sesuai dengan kondisi tersebut dapat dikatakan kekuatan tarik logam lasan lebih baik disbanding kekuatan tarik dari logam dasar.

## 2.7 Patah Ulet

Patah ulet dapat terjadi bila bahan mendapat beban melebihi kekuatan seperti yang terjadi pada pengujian tarik atau penampangnya tidak cukup luas karena adanya cacat dalam sambungan yang disebabkan oleh lasan yang kurang baik.



Adapun ciri-ciri dari patahan dari patahan ulet adalah sebagai berikut:

1. Terlihat adanya deformasi plastic yang cukup banyak seperti terjadinya deformasi selip dan deformasi kembar.
2. Butir-butir kristal berubah bentuk memanjang karena adanya regangan geser.
3. Penampang lintang dari benda mengecil dan untuk baja, muka patahnya berwarna keabu-abuan.

## **2.8 Patah Getas Dan Cara Menghindari Patah Getas**

Patah getas terjadi pada saat yang tidak dapat diduga, baik pada waktu pembuatan maupun sesudah selesai pembuatan, dengan beban yang lebih rendah dari batas lulub bahan. Karena tidak dapat diduga sebelumnya, maka banyak kecelakaan kerusakan dan kerugian yang diakibatkan oleh terjadinya patah getas. Hal-hal umum yang terdapat dalam patah getas adalah sebagai berikut (Harsono, 1996):

1. Kemungkinan terjadi lebih besar pada suhu yang lebih rendah dari suhu ruang.
2. Patahannya tegak lurus terhadap arah tegangan tarik dengan permukaan patahan yang mengkilat. Hal ini disebabkan karena patah terjadi pada permukaan kristal.
3. Patah biasanya mulai dari bagian logam yang terputus, baik dalam bahan maupun dalam bentuk, yang dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi

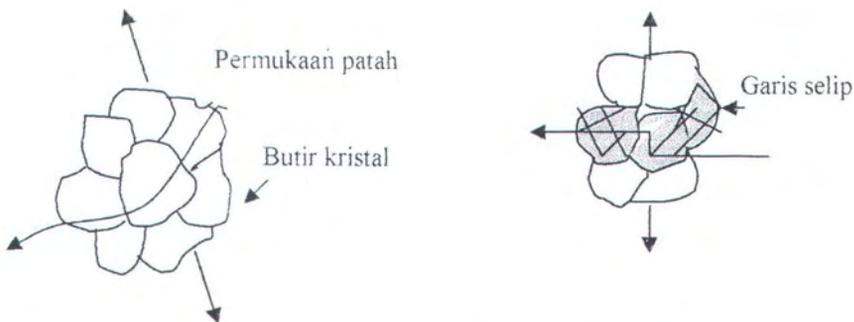


tegangan. Keadaan terputus ini biasanya terjadi karena pengelasan yang kurang baik.

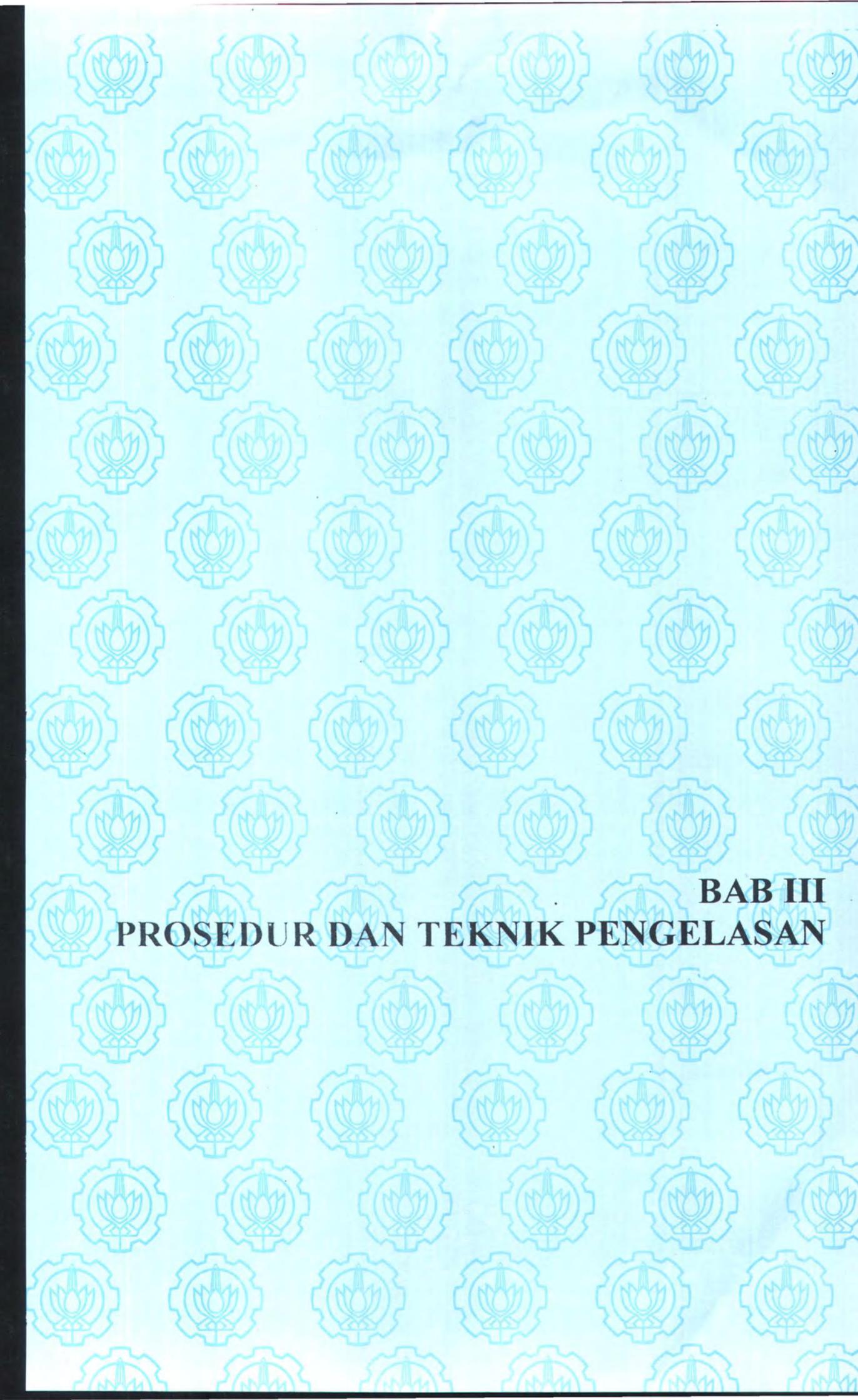
4. Tegangan yang menyebabkan patah getas selalu lebih rendah dari kekuatan luluh. Rambatan patahan dapat mencapai kecepatan 2000 m/detik.

Ada beberapa cara untuk menghindari terjadinya patah getas dalam suatu konstruksi las sebagai berikut:

1. Memilih bahan dengan sifat ketangguhan yang tinggi.
2. Menghindari adanya sambungan yang terlalu dekat satu sama lain atau beberapa sambungan yang mengumpul pada satu tempat.
3. Menghindari perencanaan sambungan las dengan penahan yang banyak.
4. Menentukan urutan pengelasan yang tepat.



Gambar 2.5 Patah getas dan patah ulet (Harsono, 1996)



**BAB III**  
**PROSEDUR DAN TEKNIK PENGELASAN**



## B A B III

### PROSEDUR DAN TEKNIK PENGELASAN

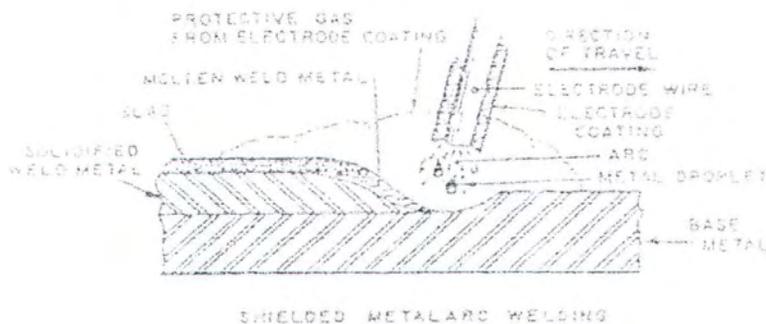
#### 3.1 Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah suatu proses pengelasan secara manual dimana panas untuk mencairkan logam didapat dari busur listrik antara elektroda dan material yang dilas (Cary, H.B, 1994). Elektroda tip, daerah las busur nyala dan sekitar molten metal dilindungi dari pengotoran udara sekeliling dengan adanya gas yang terjadi karena pembakaran dan penguraian dari flux. Sedangkan molten metal mendapat tambahan perlindungan dari adanya molten slag.

Busur nyala listrik (electrode arc) adalah elektron yang kontinyu mengalir melalui media yang pendek antara 2 elektroda (positif dan negatif) yang diketahui dengan terjadinya energi panas dan radiasi udara atau gas dimana elektroda akan diionisir oleh electron yang dipancarkan oleh katoda. Untuk menimbulkan busur nyala listrik, elektroda dihubungkan singkat dengan cara disentuhkan lebih dahulu dan pada bagian yang bersentuhan ini akan terjadi pemanasan. Hal ini mendorong terjadinya busur. Elektroda dibungkus dengan fluks yang mengandung elemen-elemen kimia tertentu. Fluks ini berguna untuk menghindari logam lasan dan cairan logma dari kontaminasi dengan udara,



karena fluks ini akan membentuk gas-gas sebagai pencegah oksidasi kemudian membentuk terak-terak sebagai penutup. Fluks juga memberikan suatu perisai yang melindungi logam cair terhadap ujung elektroda dan genangan las cair. Lagipula fluks memberikan garam yang menyediakan partikel-partikel ionisasi untuk membantu penyalaan kembali busur api.



Gambar 3.1 Proses pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

(Cary, H.B, 1994)

Fungsi lapisan elektroda dapat diringkaskan sebagai berikut (Kenyon, W, 1978):

- Menyediakan suatu perisai yang melindungi gas sekeliling busur api dan logam cair dan dengan demikian mencegah oksigen dan nitrogen dari udara memasuki logam las
- Membuat busur api stabil dan mudah dikontrol

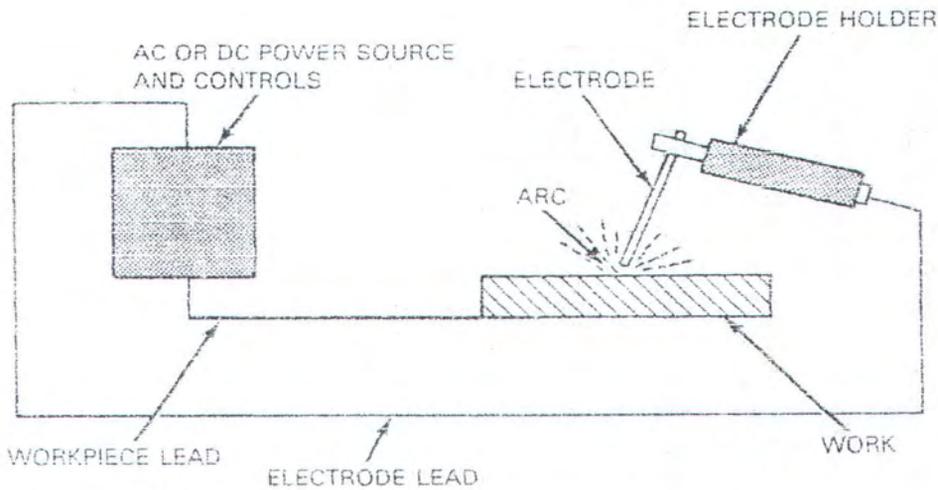


- Mengisi kembali setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen-elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan dan menjamin las mempunyai sifat-sifat mekanis yang memuaskan
- Menyediakan terak pelindung yang juga menurunkan kecepatan pendinginan logam las dengan demikian menurunkan kerapuhan akibat pendinginan
- Membantu mengontrol ukuran dan frekuensi tetesan logam cair

### 3.2 Peralatan SMAW

Peralatan yang digunakan pada pengelasan manual SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah:

1. Sumber tenaga yang biasanya disebut mesin las
2. Elektrode holder serta kabel yang menghubungkan antara elektrode holder dengan mesin las dan antara base metal dengan mesin las
3. Untuk welder diperlukan alat-alat pengaman seperti sarung tangan, kacamata las, sarung tangan
4. Untuk membersihkan kotoran las dipergunakan sikat baja



Gambar 3.2 Peralatan pengelasan manual SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

(Welding Handbook, AWS, 2000)

### 3.3 Kondisi pengelasan

#### 3.3.1 Tegangan busur las

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dan jenis dari elektroda yang digunakan. Pada elektroda yang sejenis tingginya tegangan busur yang diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur. Pada dasarnya busur listrik yang terlalu panjang tidak dikehendaki karena stabilitasnya mudah terganggu sehingga hasil pengelasannya tidak rata. Di samping itu tingginya tegangan tidak banyak mempengaruhi kecepatan pencairan, sehingga tegangan yang terlalu tinggi hanya akan membuang-buang energi saja.



Panjang busur yang dianggap baik kira-kira sama dengan garis tengah elektroda. Tegangan yang diperlukan untuk mengelas dengan elektroda bergaris tengah 3 sampai 6 mm, kira-kira antara 20 sampai 30 volt untuk posisi datar. Sedangkan untuk posisi tegak atau atas kepala biasanya dikurangi lagi dengan 2 sampai 5 volt. Kestabilan busur dapat juga didengar dari kestabilan suaranya selama pengelasan. Untuk mereka yang telah berpengalaman ketepatan panjang busurpun dapat diduga atau diperkirakan dari suara pengelasan. Sehubungan dengan panjang busur, hal yang paling sukar dalam las busur listrik dengan tangan adalah memepertahankan panjang busur yang tetap.

### 3.3.2 Besar arus las

Besarnya arus las yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan macam elektroda dan diameter inti elektroda. Dalam hal daerah las mempunyai kapasitas panas yang tinggi maka dengan sendirinya diperlukan arus las yang besar dan mungkin juga diperlukan pemanasan tambahan. Dalam pengelasan logam paduan, untuk menghindari terbakarnya unsur-unsur paduan sebaiknya menggunakan arus las yang kecil. Bila ada kemungkinan terjadi retak panas seperti pada pengelasan baja tahan karat austenit maka dengan sendirinya harus diusahakan menggunakan arus yang kecil saja. Dalam hal mengelas baja paduan, dimana daerah HAZ dapat mengeras dengan mudah, maka harus diusahakan pendinginan yang pelan dan



untuk ini diperlukan arus yang besar dan mungkin masih memerlukan pemansan kemudian.

### 3.3.3 Kecepatan pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan dan lain-lainnya. Dalam hal hubungannya dengan tegangan dan arus las, dapat dikatakan bahwa kecepatan las hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan arus las. Karena itu pengelasan yang cepat memerlukan arus las yang tinggi.

Bila tegangan dan arus dibuat tetap, sedang kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit per satuan panjang las jadi menurun. Tetapi di samping itu sampai pada suatu kecepatan tertentu, kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukan panas per satuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang mungkin dapat memperkeras daerah HAZ. Pada umumnya dalam pelaksanaan kecepatan selalu diusahakan setinggi-tingginya tetapi masih belum merusak kualitas manik las.



### 3.3.4 Polaritas listrik

Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektroda, konduksi termal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan dan sebagainya. Bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas panasnya besar sebaiknya digunakan polaritas lurus di mana elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif. Sebaliknya bila kapasitas panasnya kecil seperti pada pelat tipis maka dianjurkan untuk menggunakan polaritas balik di mana elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Untuk menurunkan penembusan, misalnya dalam pengelasan baja tahan karat austenit atau pada pengelasan pelapisan keras, sebaiknya elektroda dihubungkan dengan kutub positif.

Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah dari pada arus bolak balik, terutama pada pengelasan dengan arus rendah. Tetapi untuk pengelasan sambungan pendek lebih baik menggunakan arus bolak balik karena pada arus searah sering terjadi ledakan pada akhir pengelasan.

### 3.3.5 Besarnya penembusan atau penetrasi

Untuk mendapatkan kekuatan sambungan las yang tinggi diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup. Sedangkan besarnya penembusan tergantung pada sifat-sifat fluks, polaritas, besarnya arus, kecepatan las dan tegangan yang digunakan. Pada dasarnya makin besar arus makin besar pula



daya tembusnya. Sedangkan tegangan memberikan pengaruh yang sebaliknya yaitu makin besra tegangan makin panjang busur yang terjadi dan maikn tidak terpusat, sehinnmga panasnya melebar dan menghasilkan penetrasi yang lebar dan dangkal. Dalam hal tegangan ada pengecualian terhadap beberapa elektroda khusus untuk penembusan dalam yang memeng memerlukan tegangan tinggi. Pengaruh kecepatan seperti diterangkan sebelumnya bahwa sampai pada suatu kecepatan tertentu naiknya kecepatan kan memeperdalam penembusan, tetapi melampaui kecepatan tersebut penembusan akan turun dengan naiknya kecepatan.

### **3.4 Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding)**

#### **3.4.1 Pengertian Pengelasan FCAW**

FCAW (Flux Cored Arc Welding) adalah proses pengelasan busur antara elktrode filler metal yang diumpankan terus menerus dengan bidang material yang akan dilas. Dalam proses FCAW ini ada yang menggunakan tambahan bahan pelindung yang dikenal dengan istilah *gas shielded FCAW*, ada pula tanpa tambahan gas pelindung yang dikenal dengan istilah *self shielded FCAW*. Bahan-bahan ini akan berbentuk sebagai slag yang lebih ringan daripada deposit logam lasnya, dan biasanya ada diatas permukaan bidang las. Bahan-bahan ini selain sebagai pelindung, juga berfungsi untuk membantu



berlangsungnya proses deoxidizers, ionizers, purifying agent dan proses perpaduan elemen-elemen yang lain (Cary, H.B, 1994).

Penggunaan proses FCAW (Flux Cored Arc Welding) dimaksudkan untuk mendapatkan keuntungan yang lebih dibandingkan dengan proses pengelasan busur yang lain, beberapa diantaranya (Cary, H.B, 1994):

- Kualitas deposit logam yang tinggi
- Bentuk hasil lasan yang baik, smooth, dan uniform
- Bentuk garis mendatar las fillet sangat baik
- Pengelasan baja dengan macam-macam ketebalan yang lebih
- Faktor operasi tinggi, mudah dilakukan otomatisasi
- Deposit rate tinggi
- Penggunaan elektroda relative tinggi
- Kecepatan gerakan relatif tinggi
- Perencanaan sambungan ekonomis
- Sedikit sekali diperlukan pembersihan hasil las dibandingkan proses GMAW
- Mengurangi deformasi puntiran dibandingkan proses SMAW



- Visible arc, mudah dalam penggunaan

Pemakaian yang sudah sering dikenal dan dipakai pada proses FCAW adalah:

- **Metode automatic**

Proses pengumpanan elektroda ke bidang kerja dan pergerakan arah pengelasannya dilakukan secara otomatis.

- **Metode semi-automatic**

Proses pengumpanan elektroda ke bidang kerja dilakukan secara otomatis, sedangkan pergerakan arah pengelasannya dilakukan secara manual.

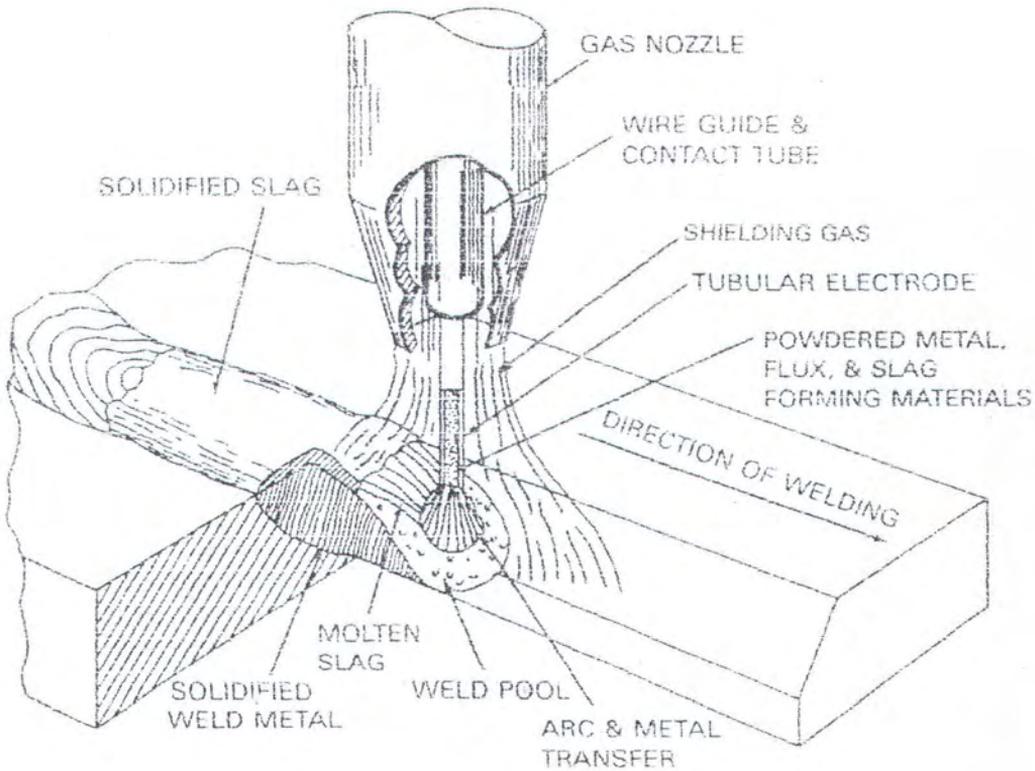
Pada umumnya metode ini lebih banyak dipakai dibandingkan metode otomatis, disebabkan lebih fleksibel dalam pemakaiannya. Peralatannya pun lebih mudah didapatkan.

### 3.4.2 Gas Shielded FCAW

Seperti telah ditulis pada bab ini, bahwa gas shielded FCAW adalah proses pengelasan FCAW yang menggunakan tambahan bahan pelindung yang digunakan untuk melindungi molten metal dan oksigen dari nitrogen diudara, dengan membentuk selubung di sekitar busur dan weld pool, seperti dalam Gbr. . Komposisi electrode direncanakan untuk tahan terhadap sejumlah kecil oksigen dalam gas pelindung (AWS, Welding Handbook). Jadi electrode flux



cored direncanakan khususnya untuk self-shielded, alat bantu gas pelindung atau untuk digunakan dengan atau tanpa pelindung gas.



Gambar 3.3 Proses Gas Shielded Flux Cored Arc Welding

(Welding Handbook, AWS, 2000)

Dibanding dengan self-shielded, electrode extension yang digunakan pada gas shielded ini lebih pendek dengan arus las listrik yang lebih tinggi. Metode ini lebih cocok bila digunakan untuk menghasilkan penetrasi las yang sempit dan dalam. Sehingga untuk pengelasan fillet, akan dimungkinkan hasil las yang sempit dengan panjang leher las (throat length) yang lebih besar jika dibandingkan dengan proses SMAW. Pada prinsipnya electrode extension



tidak dapat dipakai bersama-sama untuk metode gas shielded, sebab pengaruhnya akan merugikan fungsi dari pelindungnya. Jadi perlu diperhatikan juga adalah penggunaan daripada elektrode-elektrode yang akan dipakai dalam pengelasan sistem ini.

## **Material Yang Dipakai**

### **A. Flux Cored Electrode**

Proses FCAW memperlihatkan banyak keistimewaan dalam banyak hal untuk berbagai jenis bahan-bahan yang dapat dimasukkan ke dalam elektrode. Pembuatan daripada flux cored electrode biasanya mempertimbangkan komposisi yang tepat dari elektrode yang akan dipakai berdasarkan petunjuk-petunjuk yang sudah ada. Sehingga memungkinkan untuk:

- Menghasilkan karakteristik las dari deposit rate yang tinggi dalam posisi datar untuk fusion yang tepat dan bentuk manik-manik dalam posisi overhead
- Menghasilkan elektrode untuk bermacam-macam campuran gas pelindung dan untuk self shielded

Fungsi utama dari unsur-unsur dalam flux cored diantaranya adalah:

- Memberikan sifat-sifat mekanis, metallurgical dan tahan korosi pada logam las dengan mengatur komposisi kimianya



- Meningkatkan kekuatan logam las dengan melindungi peleburan logam,  $O_2$  dan  $H_2$  diudara
- Mengambil kotoran dari peleburan logam dengan menggunakan reaksi dari flux
- Menghasilkan slag cover untuk menutupi proses solidifying logam las dari udara, dan mengontrol bentuk dan penampilan manik dalam posisi yang berbeda untuk elektrode yang sesuai
- Menstabilkan busur dengan memberikan aliran arus listrik yang smooth untuk mengurangi terjadinya spatter, dan memudahkan deposit secara keseluruhan dengan smooth untuk ukuran manik-manik yang sesuai

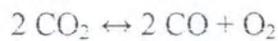
## B. Gas Pelindung

Gas karbon dioksida adalah sebagian besar digunakan sebagai gas pelindung dalam proses FCAW. Keuntungan dari penggunaan gas pelindung ini diantaranya adalah harganya yang relative murah serta hasil dari penetrasi lasnya adalah dalam. Gas pelindung ini memberikan transfer logam jenis globular.

Pengaruh perlindungan  $CO_2$  pada kandungan karbon dalam logam las adalah unik. Tergantung pada kandungan karbon semula pada base metal dan



elektroda, gas CO<sub>2</sub> dapat bersifat sebagai carburizing atau decarburizing. Kandungan karbon pada logam las mungkin meningkat atau menurun tergantung pada penambahan karbon oleh elektrode base metal. Gas CO<sub>2</sub> relatif stabil pada temperatur ruang. Jika dipanaskan dengan busur las hingga temperatur tinggi, CO<sub>2</sub> akan terurai menjadi karbon monoksida (CO) serta oksigen (O<sub>2</sub>) yang dapat dilihat dari persamaan berikut:



Busur diudara terdiri dari sejumlah oksigen yang bereaksi dengan elemen-elemen dalam peleburan logam. Pada oksidasi ini gas pelindung kabondioksida telah cukup diakui dan pengembangannya untuk elektrode flux cored. Deoksidasi material ditambahkan pada inti elektroda untuk mengganti kerugian akibat pengaruh oksidasi CO<sub>2</sub>. Dalam penambahan ini cairan besi akan bereaksi dengan elemen-elemen dalam molten metal. Pada reaksi oksidasi ini gas pelindung CO<sub>2</sub> akan menghasilkan iron oxide dan carbon monoxide dalam persamaan reaksi kesetimbangan berikut:



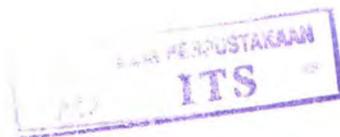
Selanjutnya pada temperature yang red heat, beberapa gas CO akan terurai menjadi karbon dan oksigen dalam persamaan berikut:





### 3.4.3 Self Shielded FCAW

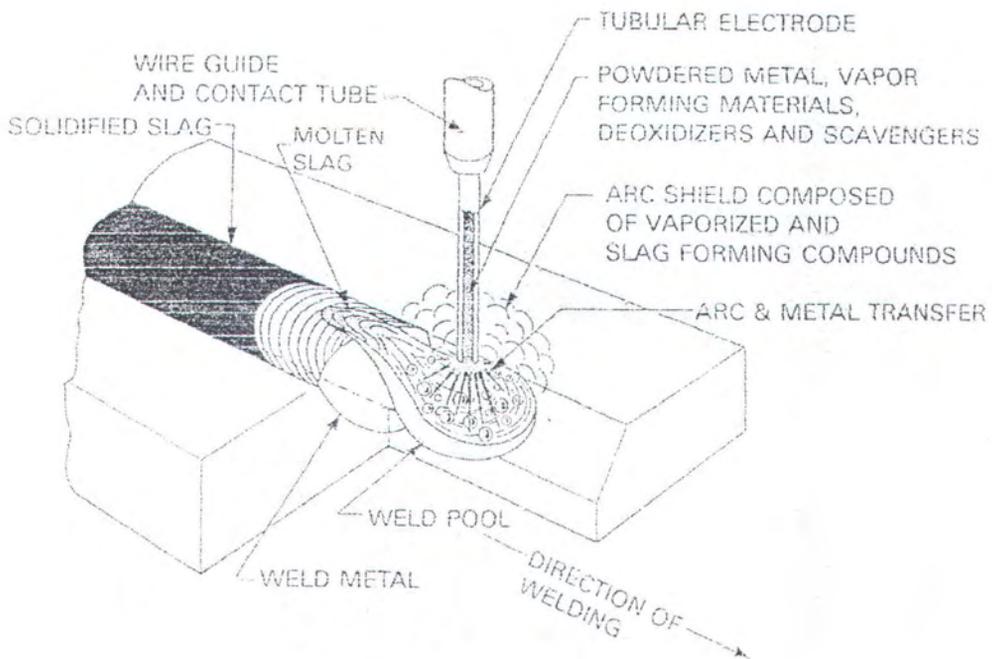
Dalam self shielded FCAW seperti ditunjukkan dalam gambar, pelindung diperoleh dari penguapan unsur-unsur flux yang akan memindahkan udara dan memberikan perlindungan kepada molten weld pool selama pengelasan (AWS, Welding Handbook). Dalam gambar itu digambarkan filler metal dan flux yang mencair dan mengendap bersama-sama dengan terbentuknya slag penutup logam las. Selama dalam transfer melalui busur, molten filler metal disebelah luar flux. Metode ini tidak mengandalkan banyak pada pelindung untuk membantu mencapai hasil las yang baik. Malahan yang perlu diperhatikan adalah penambahan unsur-unsur pokok pada filler metal dan untuk membantu proses deoxidizing dan denitrifying. Hal ini menerangkan mengapa elektrode self shielded dapat bekerja dalam arus udara yang kuat yang kadang-kadang ditemukan bila pengelasan dilakukan ditempat terbuka.



Salah satu hal yang khusus dari self shielded adalah digunakannya panjang "elektrode extension". Elektrode extension adalah panjang elektrode yang melebihi ujung kontak tube yang tidak mencair selama pengelasan. Panjang elektrode extension self shielded yang biasa digunakan adalah sekitar 19 - 95 mm ( $3/4 - 3\ 3/4$  inch) tergantung pemakaiannya. Peningkatan elektrode extension akan meningkatkan tahanan panas dari elektrode. Pemanasan awal elektrode dan voltage yang rendah menurunkan jarak busur. Pada saat yang sama, arus las turun yang lebih rendah dari panas yang dibutuhkan untuk pencairan base



metal. Manik-manik las yang dihasilkan sempit dan dangkal. Hal ini membuat proses ini sesuai untuk pengelasan material hightgage dan untuk menutup gaps dikarenakan fit up yang jelek. Jika panjang (voltage) dan arus las dipertahankan (keadaan voltage dan elektrode feed rate lebih tinggi), deposit rate ditingkatkan dengan elektrode extension yang panjang (Welding Handbook, AWS, 2000).



Gambar 3.4 Proses Self Shielded Flux Cored Arc Welding

(Welding Handbook, AWS, 2000)



### 3.5 Peralatan Dalam Proses FCAW

Peralatan yang diperlukan dalam proses FCAW bila menggunakan gas pelindung luar adalah relative sama dengan proses Gas Metal Arc Welding (GMAW). Adapun perbedaannya adalah pada sumber arus tegangannya yang tinggi dan welding gun (torches) lebih besar.

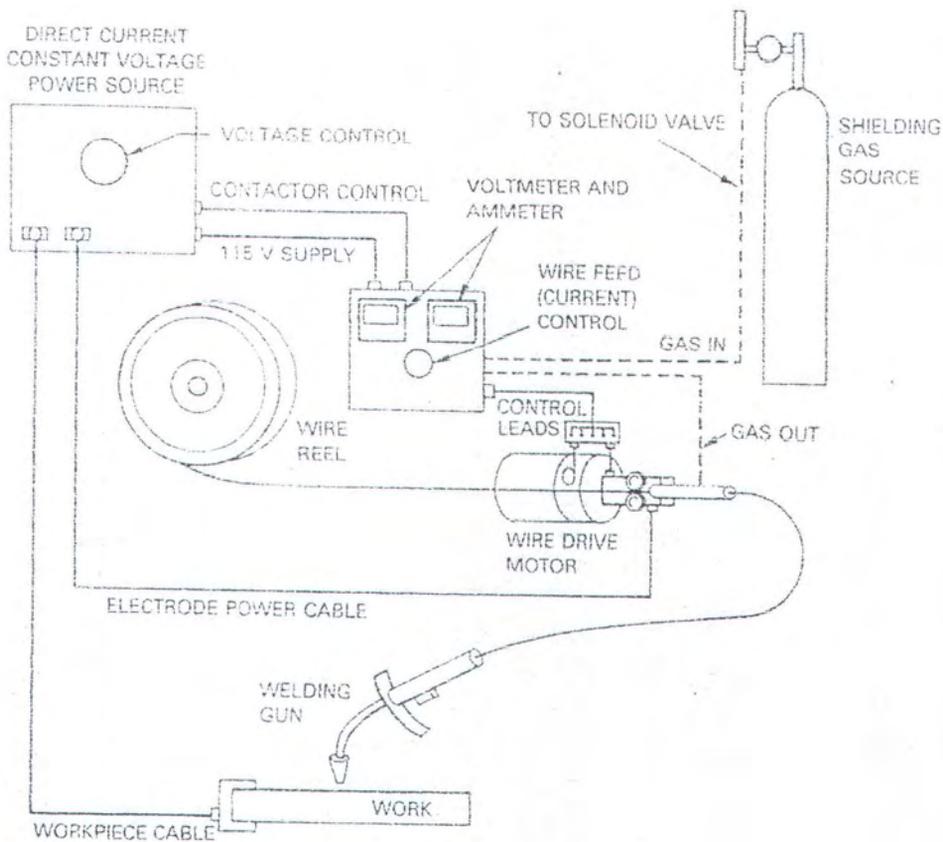
Jika digunakan jenis gasless, maka seluruh gas yang disuplai oleh sistem dihilangkan. Penghilangan ini meliputi silinder gas pengatur dan pengukur aliran, selang, katup solenoid dan nozzle pada welding guns. Dengan dapat dipindahkannya nozzle dari welding guns, guns dapat direncanakan dengan susunan pada ujung yang berbeda. Ujung dari welding guns ini lebih kecil dan mudah untuk diperbaiki. Akan tetapi mengingat jumlah asap yang ditimbulkan oleh proses FCAW ini meningkat, maka dimasukkan nozzle penghilang asap disekitar gun nozzle untuk mengurangi jumlah asap yang timbul.

#### 3.5.1 Peralatan Semi Automatic

Pada prinsipnya peralatan untuk Self Shielded Flux Cored Arc Welding dan Gas Shielded Flux Cored Arc Welding adalah sama. Perbedaan utamanya adalah syarat pada sistem untuk suplai dan pengukuran gas untuk busur pada elektroda gas shielded, seperti pada Gambar 3.5. Sumber tenaga yang dipergunakan adalah arus Direct Current (DC). Sehingga tenaga yang disuplai



ini mampu beroperasi pada arus maksimum yang diperlukan untuk pemakaian. Saat ini sebagian besar pemakaian semi otomatis menggunakan arus kurang dari 650 Ampere. Sumber tenaga arus konstan (DC) dengan kapasitas yang memadai, dengan control dan wire feeders yang tepat mungkin akan digunakan.



Gambar 3.5 Peralatan Proses Pengelasan Flux Cored Arc Welding Semi Otomatis

(Welding Handbook, AWS, 2000)



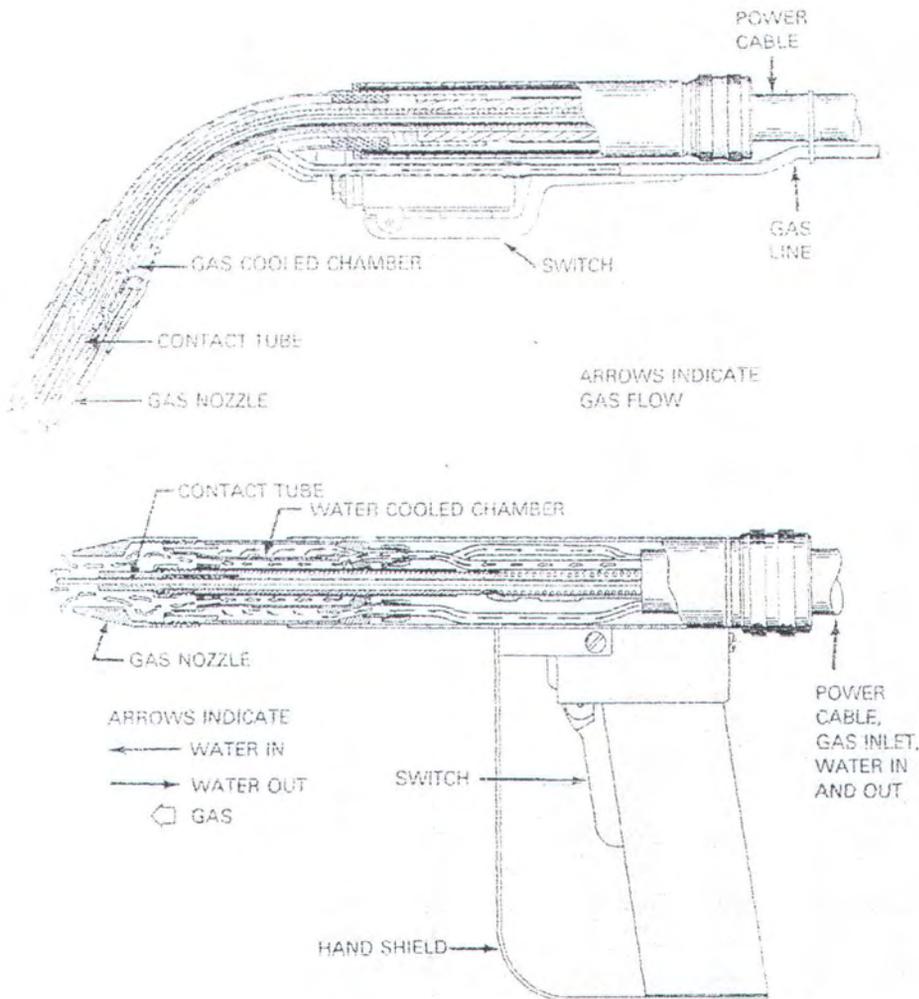
Tujuan control wire feeders adalah untuk supply elektroda secara kontinyu untuk pengelasan busur pada preset rate konstan. Kecepatan elektroda yang diumpankan kedalam busur ditentukan oleh besarnya ampere las yang harus disuplai sumber tenaga constant voltage. Kecepatan elektroda yang diumpankan dapat berubah, maka mesin las akan secara otomatis merubah arus las untuk memelihara preset arc voltage.

Sebagian wire feeders mempunyai sepasang drive rolls dan sebagian lainnya mempunyai dua pasang dengan paling sedikit memiliki satu roll pada setiap pasang drive. Penggunaan drive rolls ini sangat diperlukan dalam pemakaian electrode flux cored. Dalam gambar 3.6 tampak jenis pengumpan (guns) jenis Gas Shielded Flux Cored arc Welding, yang konstruksinya direncanakan untuk mempermudah perawatan.

Pengumpan ini melengkapi hubungan dalam dengan elektroda untuk mengalirkan arus pengelasan. Dimana arus dari pengelasan dan pengumpanan dari elektrodanya dijalankan oleh switch mounted pada gun. Ada dua jenis welding guns yaitu gas cooled dan water cooled seperti tampak pada gambar 3.6. Pemakaian welding gun jenis gas cooled lebih disukai karena lebih rapi, lebih ringan serta pemeliharaannya relative lebih mudah dibandingkan dengan welding gun jenis water cooled.

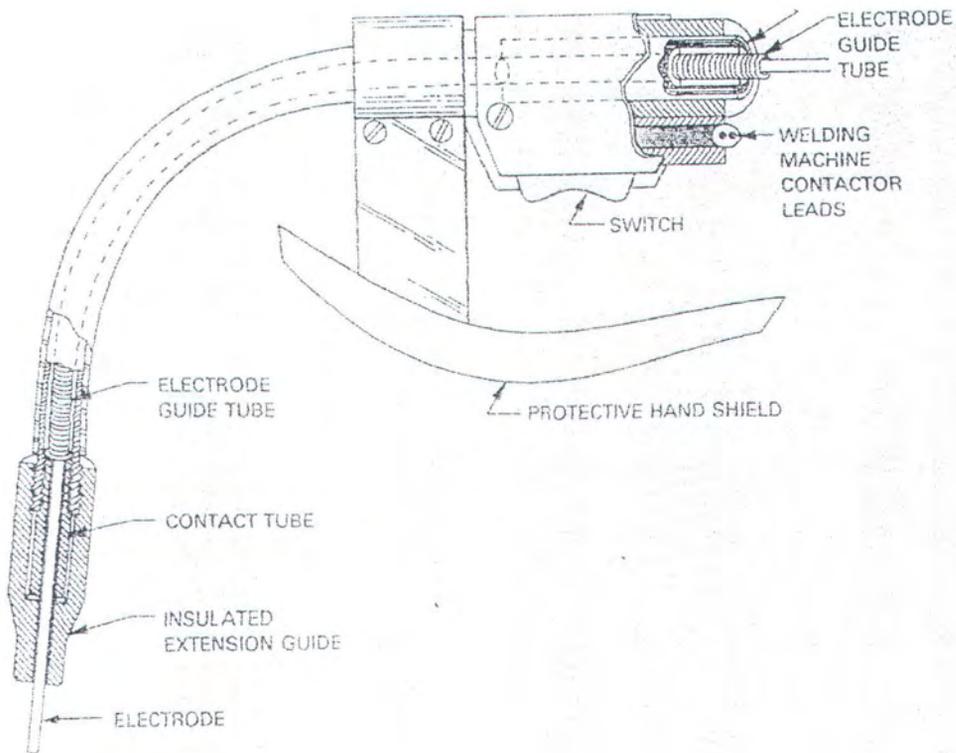


Kapasitas ratingnya sampai 650 Ampere, selama dalam pemakaian secara kontinyu. Pengumpanan pada jenis ini mempunyai bentuk nozzle tirus dan bentuk kurva. Nozzle bentuk kurva dalam beberapa pemakaian mempunyai fleksibilitas lebih tinggi.



Gambar 3.6 Pengumpan (guns) Jenis Gas Shielded Flux Cored Arc Welding

(Welding Handbook, AWS, 2000)

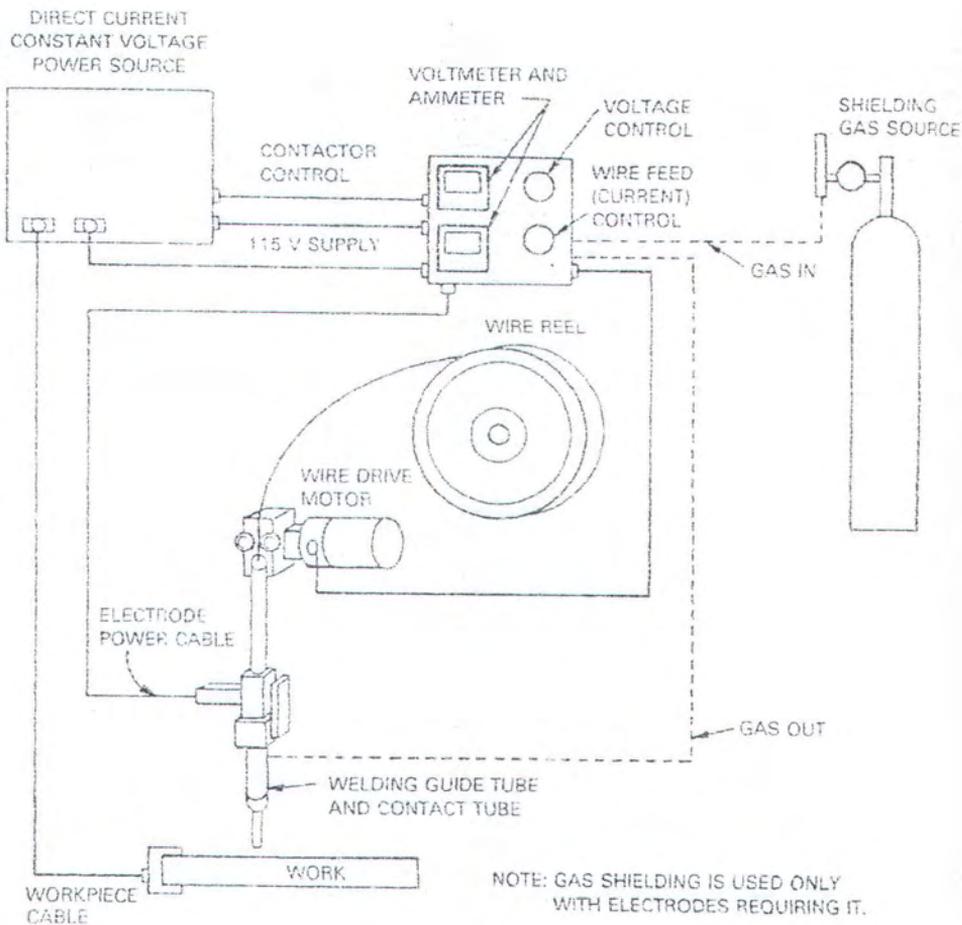


Gambar 3.7 Pengumpan (guns) Jenis Self Shielded Flux Cored Arc Welding Semi Otomatis

(Welding Handbook, AWS, 2000)

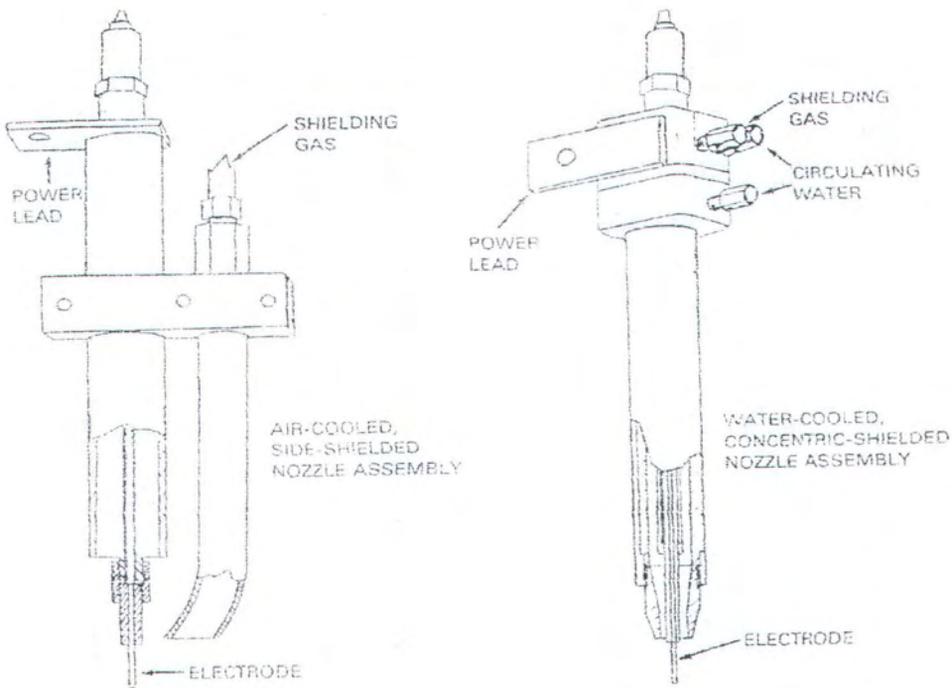
### 3.5.2 Peralatan Automatic

Peralatan otomatis dari proses pengelasan Flux Cored Arc welding tampak pada gambar 3.8. Sumber tenaga yang dibutuhkan besarnya ditentukan oleh arus yang dibutuhkan selama atau untuk pengerjaan yang dilakukan. Selama pelaksanaan otomatis, dalam perencanaan untuk duty cycle 100 % dianjurkan untuk menggunakan sumber tenaga DC Constant Voltage.

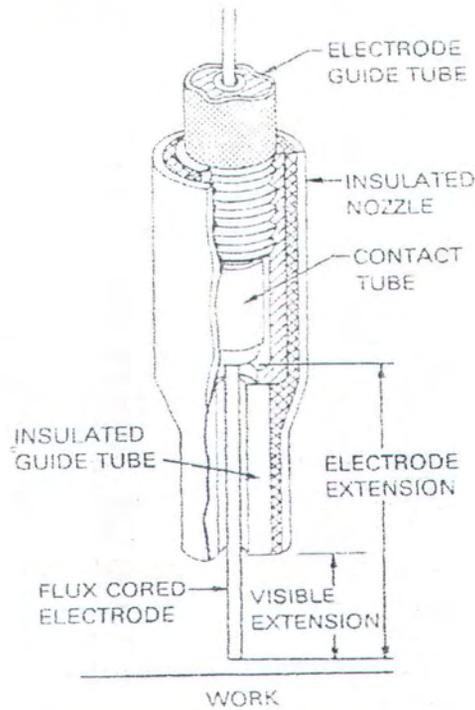


Gambar 3.8 Peralatan Proses Pengelasan Flux Cored Arc Welding Otomatis  
(Welding Handbook, AWS, 2000)

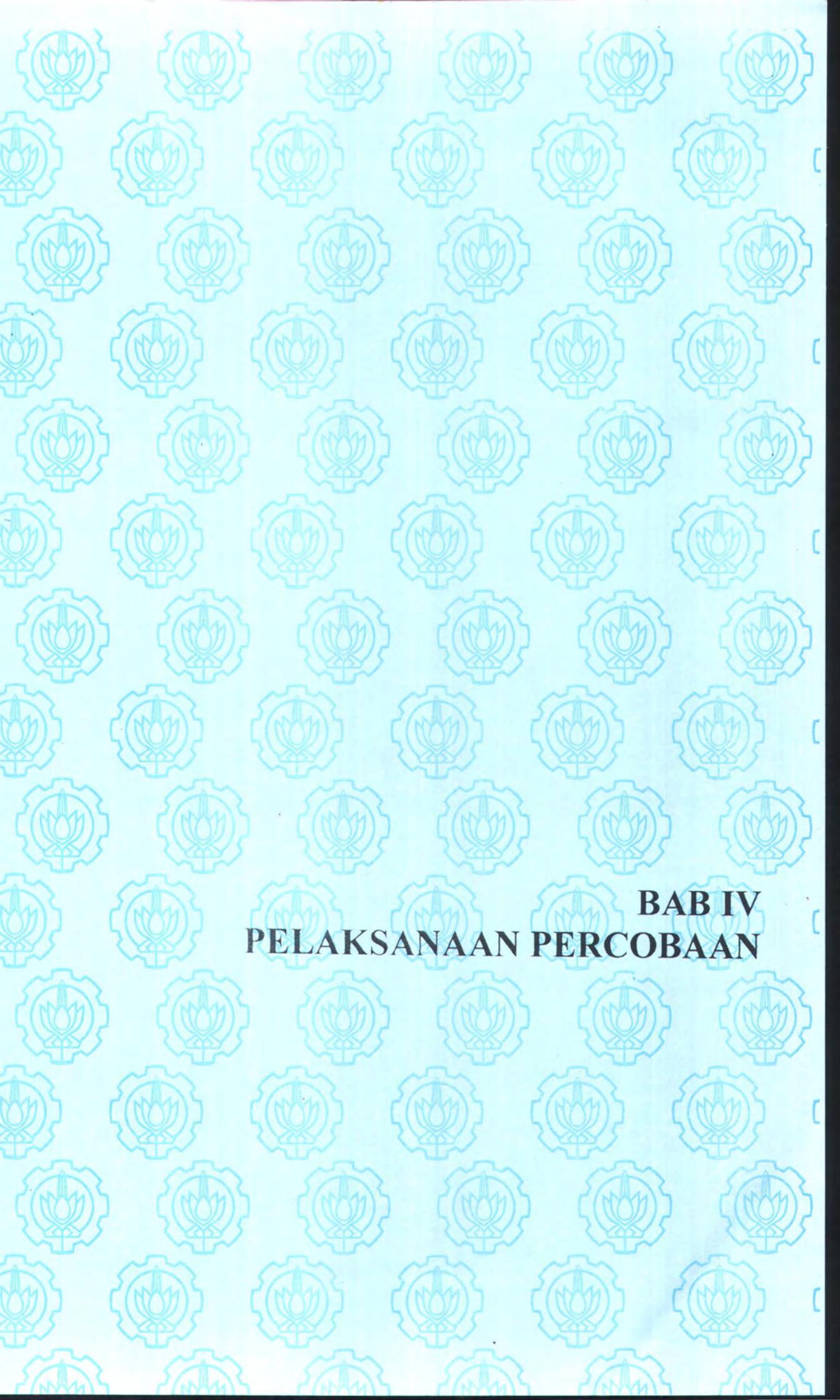
Pada gambar 3.9 tampak jenis perakitan nozzle untuk Automatic Gas Shielded Flux Cored Arc Welding. Dimana perakitan nozzle pada saat ini direncanakan untuk elektroda Side-Shielding atau Concentric-Shielding, seperti tampak pada gambar 3.9. Penggunaan Side-shielding diijinkan untuk pengelasan yang sempit dengan alur yang dalam dimaksudkan untuk mengurangi spatter yang akan terjadi dalam nozzle.



Gambar 3.9 Perakitan Nozzle Untuk Gas Shielded Flux Cored Arc Welding Otomatis  
(Welding Handbook, AWS, 2000)



Gambar 3.10 Tipe Nozzle Untuk Self Shielded Electrode  
(Welding Handbook, AWS, 2000)



**BAB IV**  
**PELAKSANAAN PERCOBAAN**



## B A B IV

### PELAKSANAAN PERCOBAAN

#### 4.1 Welding Procedure Specification (WPS)

Spesifikasi dari proses pengelasan adalah merupakan pedoman bagi pelaksana untuk memulai proses pengelasan. Dalam penelitian ini Welding Procedure Specification (WPS) dilakukan dengan menggunakan standar dari AWS adalah akan diuraikan yang tampak sebagai berikut:

##### **Persiapan sisi**

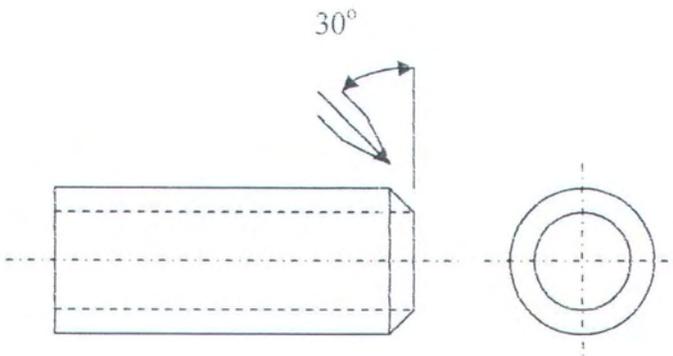
- Sebelum proses pengelasan dilakukan, maka terlebih dahulu material las kita buat sisi alur pengelasan sesuai dengan kebutuhan.
- Pada pelaksanaan penelitian ini digunakan bentuk alur las, yaitu bentuk V-tunggal dengan sudut bevel  $60^\circ$ .

Adapun langkah-langkah persiapan sisi adalah sebagai berikut:

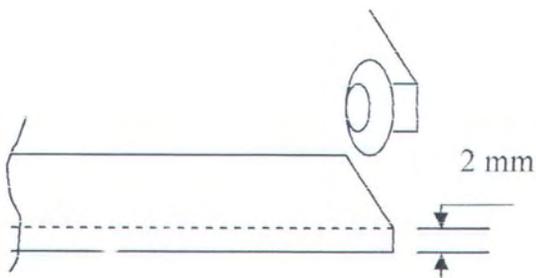
1. Mempersiapkan material dan peralatan potong.
2. Mengatur besar api pemotong.
3. Meletakkan material pada bidang datar dan sejajar dengan rel mesin potong.



4. Melakukan pemotongan dengan membuat sudut potong sebesar  $30^\circ$ .
5. Membuat permukaan akar (root face) sebesar 2 mm dengan menggunakan gerinda.



Gambar 4.1 Proses Pemotongan Pelat Pipa Dengan Sudut Potong  $30^\circ$



Gambar 4.2 Proses Pembuatan Permukaan Akar (Root Face) Dengan Menggunakan Gerinda



## Welding Procedure Specification (WPS)

Company Name : Teknik Kelautan FTK-ITS  
WPS No. : 03-FC  
Welding Process : FCAW  
Type(s) : Manual

### Joints

Joints design : V-groove  
Groove : Single bevel

### Base metal

Specification type and Grade : ASTM 106 Grade B  
Thickness : 10 mm  
Pipe diameter : 4"

<u>Filler Metals</u>	SMAW	FCAW
Specification No. (SFA)	: SFA-5.1	SFA-5.20
AWS No. (Class)	: E 7016	E 71T-1
Size of Filler Metals	: Ø 3,2 mm	Ø 1,2 mm

### Positions

Position(s) of Groove : 1G  
Welding Progression : Up

### Gas Shielding

Gas shielding : CO<sub>2</sub>, Flow rate : 10-20 L/mnt

<u>Technique</u>	SMAW	FCAW
Travel Speed	: 30-50 (mm/mnt)	80-150 (mm/mnt)
String or Weave Bead	: Weaving	
Multipass or Single Pass	: Multipass	



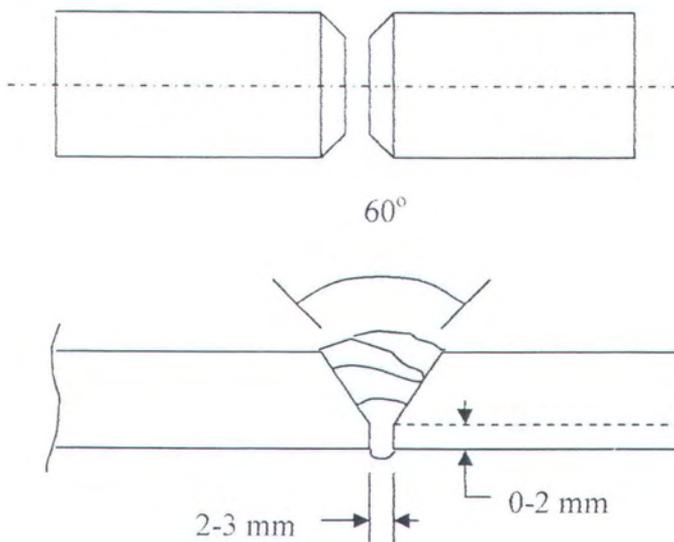
Multiple or Single Electrode : Single

Initial and Interpass Cleaning : Grinding & Brushing

**Welding Parameter**

Weld Layer	Process	Filler Metal		Welding Current		Volts Range	Travel Speed (mm/mnt)
		Class	Diameter (mm)	Type polarity	Amp. Range		
1	SMAW	E7016	3,2	AC	80-140	20-35	30-50
2	FCAW	E71T-1	1,2	DC	120-250	20-35	80-150
3	FCAW	E71T-1	1,2	DC	120-250	20-35	80-150
4	FCAW	E71T-1	1,2	DC	120-250	20-35	80-150

**Joints Detail**





## 4.2 Pelaksanaan Pengelasan

### 4.2.1 Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

#### A. Material Uji

Material yang dipakai adalah material pipa spesifikasi ASTM Grade B dengan ketebalan 10 mm dan 15 mm.

#### B. Persiapan Peralatan

Sebelum pelaksanaan proses pengelasan dilakukan, yang perlu diperhatikan adalah melakukan persiapan peralatan yang baik serta lengkap. Hal ini dimaksudkan agar selama pelaksanaan pengelasan, pelaksanaan tidak mengalami hal-hal yang mengakibatkan terhentinya proses pengelasan ini. Adapun peralatan utamanya, meliputi:

Welding machine

Merk : Lincoln 400 AS

Produksi : Australia

Series : Pulse arc

Pemakaian : Material baja dan aluminium



### **C. Peralatan bantu**

Untuk memperlancar pelaksanaan daripada proses pengelasan, maka diperlukan beberapa peralatan bantu, sehingga didapatkan hasil yang diinginkan diantaranya:

Stop watch: Mengukur waktu pelaksanaan selama proses pengelasan.

Mistar ukur: Untuk mengukur ukuran spesimen dan panjang dari pengelasan.

Gerinda: Untuk membersihkan slag dan pembuatan root face.

Sikat baja: Untuk membersihkan kotoran pada tiap layer.

### **D. Peralatan Keselamatan**

Peralatan keselamatan walaupun sifatnya adalah sebagai peralatan pendukung, tetapi hal ini mutlak dipakai selama proses pengelasan. Karena tentunya kita tidak menginginkan hal-hal yang tidak kita inginkan terjadi pada kita. Peralatan keselamatan ini meliputi:

- Helmet las dengan kaca hitam
- Sarung tangan las
- Sepatu las
- Jaket las



- Tabung pemadam kebakaran
- Peralatan P.3.K

### **E. Pelaksanaan Pengelasan**

- Mengatur posisi material yang akan dilas pada posisi flat (1G) dengan root opening tertentu.
- Menentukan besarnya semua parameter seperti yang telah ditentukan dalam WPS (Welding Prcedure Specification).
- Melakukan las titik yang dimaksudkan untuk mengikat sementara material pada kedudukan yang diinginkan.
- Mencatat waktu selama proses pengelasan dari awal hingga berhentinya pada setiap lapisan las.
- o - Melakukan pembersihan pada permukaan lapisan las sebelum dilakukan pengelasan pada lapisan berikutnya.

### **4.2.2 Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding)**

#### **A. Material Uji**

Material yang dipakai adalah material pipa spesifikasi ASTM Grade B dengan ketebalan 10 mm dan 15 mm.



## B. Persiapan Peralatan

Sebelum pelaksanaan proses pengelasan dilakukan, yang perlu diperhatikan adalah melakukan persiapan peralatan yang baik serta lengkap. Hal ini dimaksudkan agar selama pelaksanaan pengelasan, pelaksanaan tidak mengalami hal-hal yang mengakibatkan terhentinya proses pengelasan ini.

Adapun peralatan utamanya, meliputi:

### 1. Welding machine

Merk	: ESAB LAH 500
Produksi	: Sweden
Series	: Pulse arc
Pemakaian	: Material baja dan aluminium

### 2. Power source

Berat	: 210 kg
Model	: NF A85-013
No. Series	: 737-913-802

### 3. Wire feeder

Model	: SEN 8301 SPEC
Panjang kabel	: 3 meter



#### 4. Welding torch

Model : PSF 250

Diameter kawat las : diameter 1,2 mm

#### 5. Water cooling unit

Tegangan : 220 V

Frekuensi : 50-60 Hz

Daya : 200 kPa

### C. Peralatan bantu

Untuk memperlancar pelaksanaan daripada proses pengelasan, maka diperlukan beberapa peralatan bantu, sehingga didapatkan hasil yang diinginkan diantaranya:

- Stop watch: Mengukur waktu pelaksanaan selama proses pengelasan.
- Mistar ukur: Untuk mengukur ukuran spesimen dan panjang dari pengelasan.
- Gerinda: Untuk membersihkan slag dan pembuatan root face.
- Sikat baja: Untuk membersihkan kotoran pada tiap layer.



#### **D. Peralatan Keselamatan**

Peralatan keselamatan walaupun sifatnya adalah sebagai peralatan pendukung, tetapi hal ini mutlak dipakai selama proses pengelasan. Karena tentunya kita tidak menginginkan hal-hal yang tidak kita inginkan terjadi pada kita. Peralatan keselamatan ini meliputi:

- Helmet las dengan kaca hitam
- Sarung tangan las
- Sepatu las
- Jaket las
- Tabung pemadam kebakaran
- Peralatan P.3.K

#### **E. Pelaksanaan Pengelasan**

- Mengatur posisi material yang akan dilas pada posisi flat (1G) dengan root opening tertentu.
- Menentukan besarnya semua parameter seperti yang telah ditentukan dalam WPS (Welding Prcedure Specification).
- Melakukan las titik yang dimaksudkan untuk mengikat sementara material pada kedudukan yang diinginkan.



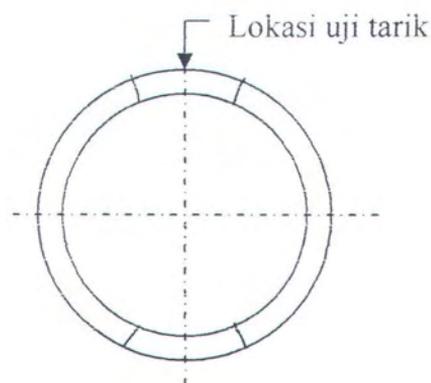
- Mencatat waktu selama proses pengelasan dari awal hingga berhentinya pada setiap lapisan las.
- Melakukan pembersihan pada permukaan lapisan las sebelum dilakukan pengelasan pada lapisan berikutnya.

### 4.3 Pelaksanaan Pengujian

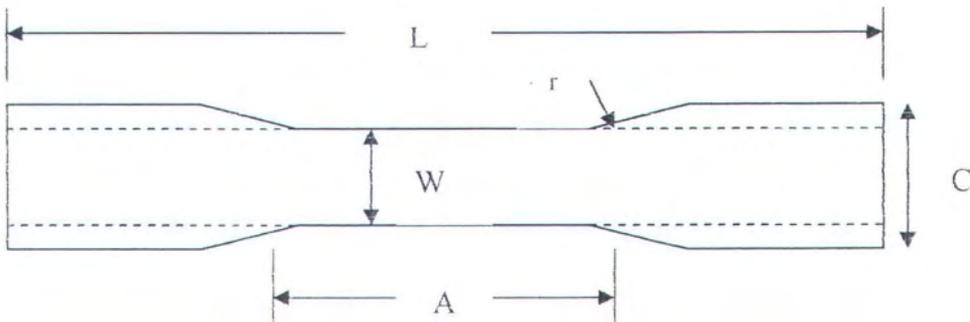
#### 4.3.1 Pelaksanaan Uji Tarik

##### A. Persiapan Spesimen Uji

Pengukuran kembali lebar dan tebal dari masing-masing spesimen. Data ini digunakan untuk mencari luas penampang spesimen uji.



Gambar 4.3 Lokasi untuk uji tarik pada pelat pipa



Gambar 4.4 Bentuk spesimen uji untuk uji tarik

$A$  = Panjang reduced section

$C$  = Lebar grip section

$L$  = Panjang spesimen uji

$r$  = Jari-jari fillet

$W$  = Lebar reduced section

## B. Persiapan Mesin Uji Tarik

- Pemasangan klem penjepit yang disesuaikan dengan ketebalan spesimen uji.
- Pemasangan kertas milimeter blok pada pemutar gambar grafik pengujian.
- Pemilihan skala beban yang digunakan untuk melakukan percobaan tarik sehingga spesimen patah dalam jarak pembebanan yang diberikan oleh mesin. Dalam hal ini skala pembebanan yang digunakan 10000 kgf. Ini berarti pembebanan dari nol sampai 10000 kgf dan diperkirakan sebelum beban mencapai 10000 kgf, spesimen telah patah.



### C. Langkah Pengujian

- Pemasangan spesimen uji pada klem penjepit bagian atas dan bawah.
- Pemberian beban dilakukan secara konstan sampai specimen uji mengalami patah.
- Setiap besarnya beban akan tergambar pada kertas milimeter sehingga dapat diketahui besarnya beban yield dan ultimate.
- Setelah specimen uji patah, specimen dilepas dan digabungkan kembali untuk diukur panjang dan lebarnya.

#### Hasil Pengujian Tarik

Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik Spesimen 1, tebal pelat=10 mm, Proses SMAW

Spesimen No.	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Ultimate Total Loosed (kgf)	Ultimate Unit Stress (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Location of failure
1	18,85	10	188,5	7725	40,98	Base metal
2	18,85	10	188,5	8175	43,37	Base metal

Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik Spesimen 2, tebal pelat=15 mm, Proses SMAW

Spesimen No.	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Ultimate Total Loosed (kgf)	Ultimate Unit Stress (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Location of failure
1	18	15	270	10175	37,68	Base metal
2	18	15	270	9825	36,38	Base metal



Tabel 4.3 Hasil Uji Tarik Spesimen 3, tebal pelat=10 mm, Proses FCAW

Spesimen No.	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Ultimate Total Loosed (kgf)	Ultimate Unit Stress (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Location of failure
1	20,3	10	203	8750	43,10	Base metal
2	20,3	10	203	8925	43,96	Base metal

Tabel 4.4 Hasil Uji Tarik Spesimen 4, tebal pelat=15 mm, Proses FCAW

Spesimen No.	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Ultimate Total Loosed (kgf)	Ultimate Unit Stress (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Location of failure
1	20,6	15	309	10800	34,95	Base metal
2	20	15	300	10350	34,50	Base metal

### 4.3.2 Pengujian Amatan (Visual Test)

#### A. Gambaran Umum

Pengujian amatan (visual test) atau yang lebih sering disebut pengujian makroetsa merupakan salah satu pengujian yang tidak merusak, yaitu dengan melihat penampang melintang dari hasil las-lasan dengan mengoleskan larutan kimia pada permukaan dari material yang telah dilas.



Prinsip kerjanya adalah material dipotong melintang kemudian digosok dengan kertas gosok sampai permukaan material halus, lalu diolesi dengan larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 5% dan alcohol 95%. Setelah itu permukaan material dikeringkan dan material uji diamati secara visual pada weld metal, HAZ dan bae metal.

## **B. Prosedur Pengujian Makroetsa**

### **1. Peralatan dan Bahan**

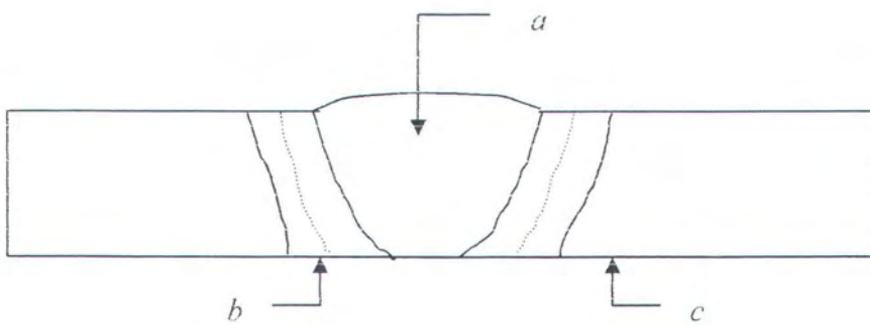
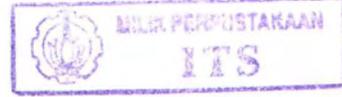
- Mesin gerinda, berfungsi untuk persiapan material uji, yaitu untuk meratakan permukaan material uji setelah dipotong.
- Kikir, berfungsi untuk menghaluskan material uji dan menghilangkan tepi-tepi material agar tidak tajam.
- Kertas gosok, berfungsi untuk menghaluskan benda kerja. Ukuran dari kertas gosok mulai dari no. 120, 240, 400, 600 dan 1000.

### **2. Langkah Pengujian**

- Menghaluskan material uji dengan gerinda kemudian dilanjutkan dengan mengikir dan menghaluskan tepi dari material yang tajam.



- Kemudian material uji digosok dengan kertas gosok ukuran yang terkecil yaitu no. 3.
- Dilanjutkan dengan menggosok memakai kertas gosok 120 demikian seterusnya sampai pada kertas gosok 1000 sehingga menghasilkan permukaan yang halus dan mengkilat.
- Langkah selanjutnya memolesi permukaan material yang sudah halus dengan larutan asam nitrat 5% pada daerah sekitar sambungan las.
- Kemudian dibersihkan dengan air setelah permukaan selesai dipoles dan dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan alcohol 95% dan dikeringkan dengan hair dryer.
- Hasilnya akan terlihat pada material lasan yaitu daerah weld metal, HAZ dan base metal.



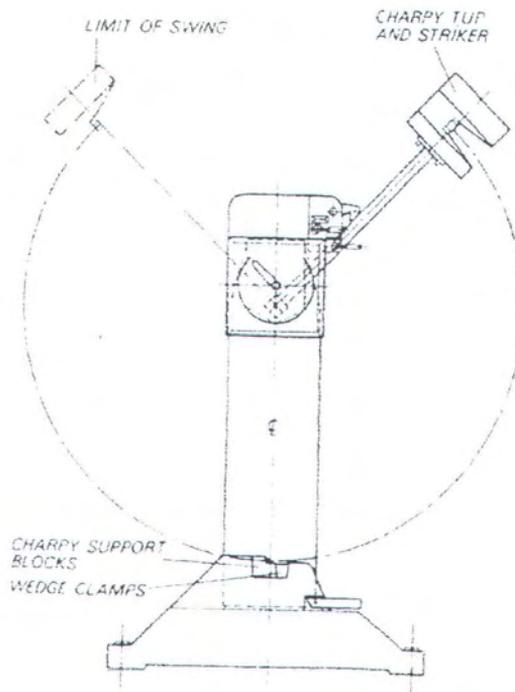
*a.* Daerah weld metal; *b.* Daerah HAZ; *c.* Daerah base metal

Gambar 4.5 Material lasan setelah dilakukan pengujian makroetsa

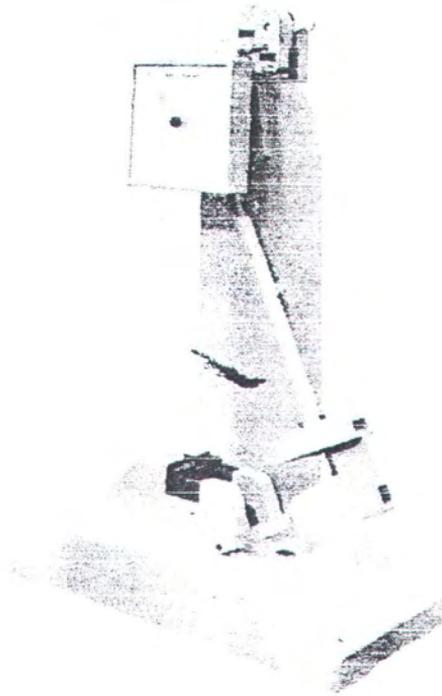
### 4.3.3 Pengujian Pukul-Takik (Impact Test)

#### A. Gambaran Umum

Impact test biasa diartikan suatu tes untuk mengukur ketangguhan (toughness) suatu material, yaitu kemampuan dari material untuk menyerap energi sebelum terjadinya kepatahan. Berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji tersebut.



Gambar 4.6 Cara kerja mesin uji Impact (Davies, A.C., 1992)



Gambar 4.7 Mesin uji Impact (Davies, A.C., 1992)

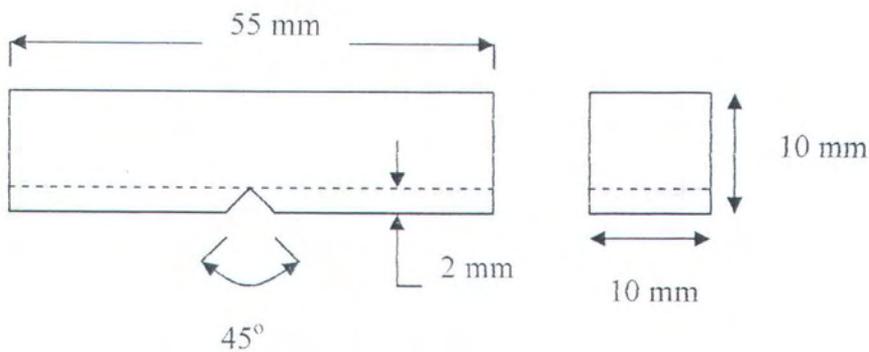
Takik (notch) memegang peranan penting terhadap kekuatan impact suatu material. Dua buah benda kerja yang mempunyai luas penampang sama penahan beban sama bias mempunyai kekuatan impact yang berbeda akibat dari perbedaan bentuk takik yang dimiliki.



## B. Prosedur Pengujian Impact

### a. Persiapan Spesimen Uji

1. Dengan specimen uji yang sama setelah diuji tarik selanjutnya dilakukan pengerjaan dingin untuk pembentukan specimen Charpy impact test.
2. Dimensi specimen uji dibuat berdasarkan standard ASTM A 370 seperti pada gambar berikut:



Gambar 4.8 Dimensi specimen uji Impact (Standar ASTM A370)

3. Pemeriksaan fisik ulang pada specimen untuk menghindari kemungkinan terjadinya cacat fisik.
4. Menghitung luas penampang ( $A$ ) tepat pada notch.



5. Pengujian dilakukan pada temperatur  $-50^{\circ}\text{C}$  yang dibuat dengan cara mencampurkan dry ice dengan alkohol dan selanjutnya spesimen dimasukkan kedalamnya selama lebih kurang 5 menit, selain itu digunakan thermometer untuk mengetahui suhu specimen dan dijaga agar suhunya tetap stabil.

#### **b. Pemasangan Spesimen Uji**

1. Mengangkat pendulum keatas dan menguncinya dengan tuas kunci.
2. Memasang specimen uji pada tempatnya dengan posisi notch tepat pada tengah-tengah, sehingga saat dilepas dari pengunci, pendulum akan memukul tepat pada notchnya.
3. Mengatur jarum skala penunjuk tepat pada posisi yang ditentukan untuk pengujian.

#### **c. Langkah Pengujian**

1. Melepaskan pendulum dari tuas pengunci sehingga akan beraun kebawah dan memukul spesimen uji.



2. Dilihat dan dicatat besarnya energi (Joule) yang dilakukan pendulum untuk memukul spesimen uji. Besarnya energi impact ini dapat dilihat dari angka yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.
3. Setelah patah, specimen uji diamati dan dilakukan perhitungan dari data-data yang diperoleh.

Tabel 4.5 Hasil Uji Impact Pada Daerah HAZ

Material	Energy (Joule)	Area (mm <sup>2</sup> )	Kuat impact (Joule/mm <sup>2</sup> )	Kuat Impact rata-rata
Material 1	118,5	53,6	2,21	2,203
	116	52,8	2,19	
Material 2	56	52,8	1,06	1,076
	58,5	53,6	1,09	
Material 3	120,5	80	1,50	1,521
	123	80	1,53	
Material 4	72,5	80	0,90	0,940
	78	80	0,97	

Tabel 4.6 Hasil Uji Impact Pada Daerah Weld Metal

Material	Energy (Joule)	Area (mm <sup>2</sup> )	Kuat Impact (Joule/mm <sup>2</sup> )	Kuat Impact rata-rata
Material 1	97,5	53,6	1,82	1,790
	93	52,8	1,76	
Material 2	8	53,6	0,149	0,149
	8	53,6	0,149	
Material 3	30	79,2	0,378	0,410
	35	79,2	0,44	
Material 4	5	80	0,062	0,05
	3	80	0,037	



Keterangan: Material 1 = material tebal 10 mm, proses SMAW

Material 2 = material tebal 10 mm, proses FCAW

Material 3 = material tebal 15 mm, proses SMAW

Material 4 = material tebal 15 mm, proses FCAW

### 4.3.4 Pengujian Kekerasan (Hardness Test)

#### A. Kekerasan Vickers

Prinsip dasar pengujian ini sama dengan prinsip pada pengujian Brinnell, hanya saja pada pengujian kekerasan Vickers digunakan intan yang berbentuk piramid ber alas bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan  $136^\circ$ , tapak tekannya berbentuk bujur sangkar, dan yang diukur adalah panjang kedua diagonalnya lalu diambil rata-ratanya. Angka kekerasan Vickers dihitung dengan rumusan sebagai berikut:

$$HV = \frac{\left\{ 2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right\}}{d^2} \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana: P = gaya tekan (kg)

d = diagonal tapak tekan rata-rata (mm)

$\alpha$  = sudut puncak indenter =  $136^\circ$

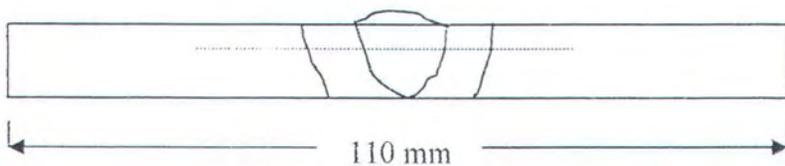


Hasil pengujian kekerasan Vickers ini tidak tergantung pada besarnya gaya tekan (tidak seperti pada Brinnell), dengan gaya tekan yang berbeda akan menunjukkan hasil yang sama untuk bahan yang sama. Dengan demikian juga Vickers dapat mengukur kekerasan bahan mulai dari yang sangat lunak (5 HV) sampai yang sangat keras (1500 HV) tanpa perlu mengganti gaya tekan. Besarnya gaya tekan yang digunakan dapat dipilih antara 1 sampai dengan 120 kg, tergantung pada kekerasan atau tebal bahan yang diuji agar diperoleh tapak tekan yang mudah diukur dan tidak ada anvil effect pada benda yang tipis.

## B. Prosedur Pengujian Kekerasan Vickers

### 1. Persiapan Spesimen Uji

- Menyiapkan spesimen uji untuk hardness test yang sebelumnya telah dilakukan proses etsa untuk dapat melihat dengan jelas daerah weld metal, daerah HAZ dan daerah base metal dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 4.9 Spesimen uji untuk Hardness Test

- Menyiapkan alat pengujian microhardness Vickers lengkap beserta perlengkapannya.



## B. Langkah Pengujian

- Menghidupkan power dari mesin uji dan dipanaskan selama lebih kurang 5 menit.
- Menyiapkan spesimen uji, dengan permukaan rata dan halus (sesudah proses etsa).
- Memilih beban yang disesuaikan dengan material/specimen yang akan diuji.
- Meletakkan spesimen uji pada pencekam.
- Memilih lensa obyektif pembesaran M.10 atau tanda garis merah.
- Memfokuskan dengan memutar handle dan melihat specimen tersebut pada lensa okuler yang pembesarannya 10x.
- Menggeser handle pada posisi indenter.
- Spesimen siap diuji dengan menekan tombol START dan lampu indikator dalam keadaan ON.
- Setelah waktu pembebanan yang dikehendaki terpenuhi, maka secara otomatis lampu indikator pada tombol start padam (OFF).
- Menggeser handle pada posisi lensa obyektif.



- Maka akan terlihat tapak tekan (indentasi) dengan melihat pada lensa okuler.
- Mengukur tapak tekan (indentasi) dengan memutar dial micrometer pada posisi nol.
- Mengukur diagonal indentasi dengan meluruskan garis center yang ada pada lensa okuler dan membaca nilai yang tertera dengan memutar micrometer.
- Mengukur diagonal sisi berlawanan dengan cara seperti diatas.
- Menghitung panjang diagonal rata-rata.
- Menentukan kekerasan dengan menggunakan rumus:

$$HV = \frac{\left\{ 2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right\}}{d^2}$$

dimana: P = gaya tekan (kg)

d = diagonal tapak tekan rata-rata (mm)

$\alpha$  = sudut puncak indenter =  $136^\circ$



- Maka akan terlihat tapak tekan (indentasi) dengan melihat pada lensa okuler.
- Mengukur tapak tekan (indentasi) dengan memutar dial micrometer pada posisi nol.
- Mengukur diagonal indentasi dengan meluruskan garis center yang ada pada lensa okuler dan membaca nilai yang tertera dengan memutar micrometer.
- Mengukur diagonal sisi berlawanan dengan cara seperti diatas.
- Menghitung panjang diagonal rata-rata.
- Menentukan kekerasan dengan menggunakan rumus:

$$HV = \frac{\left\{ 2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right\}}{d^2}$$

dimana: P = gaya tekan (kg)

d = diagonal tapak tekan rata-rata (mm)

- $\alpha$  = sudut puncak indentor =  $136^\circ$



Tabel 4.7 Hasil Uji Kekerasan Material Tebal 10 mm, Proses SMAW

No.	Test location	d1	d2	d rata-rata	HV	HV rata-rata
1	Base metal	95	96,5	95,75	202,26	199,83
		96	97,5	96,75	198,10	
		96	97	96,5	199,13	
	Weld metal	86,5	84	85,25	255,16	255,67
		86	85	85,5	253,67	
		86	83,5	84,75	258,18	
	HAZ	94,5	97,5	96	201,21	200,19
		97	94,5	95,75	202,26	
		94,5	99,5	97	197,087	

Tabel 4.8 Hasil Uji Kekerasan Material Tebal 15 mm, Proses SMAW

No.	Test location	d1	d2	d rata-rata	HV	HV rata-rata
2	Base metal	97,5	100	98,75	190,164	188,262
		98,5	101	99,75	186,370	
		98	100,5	99,25	188,253	
	Weld metal	88,5	87,5	88	239,462	237,664
		87,5	89,5	88,5	236,764	
		88,5	88,5	88,5	236,764	
	HAZ	99	100	99,5	187,308	191,20
		100	94	97	197,088	
		96	102	99	189,205	

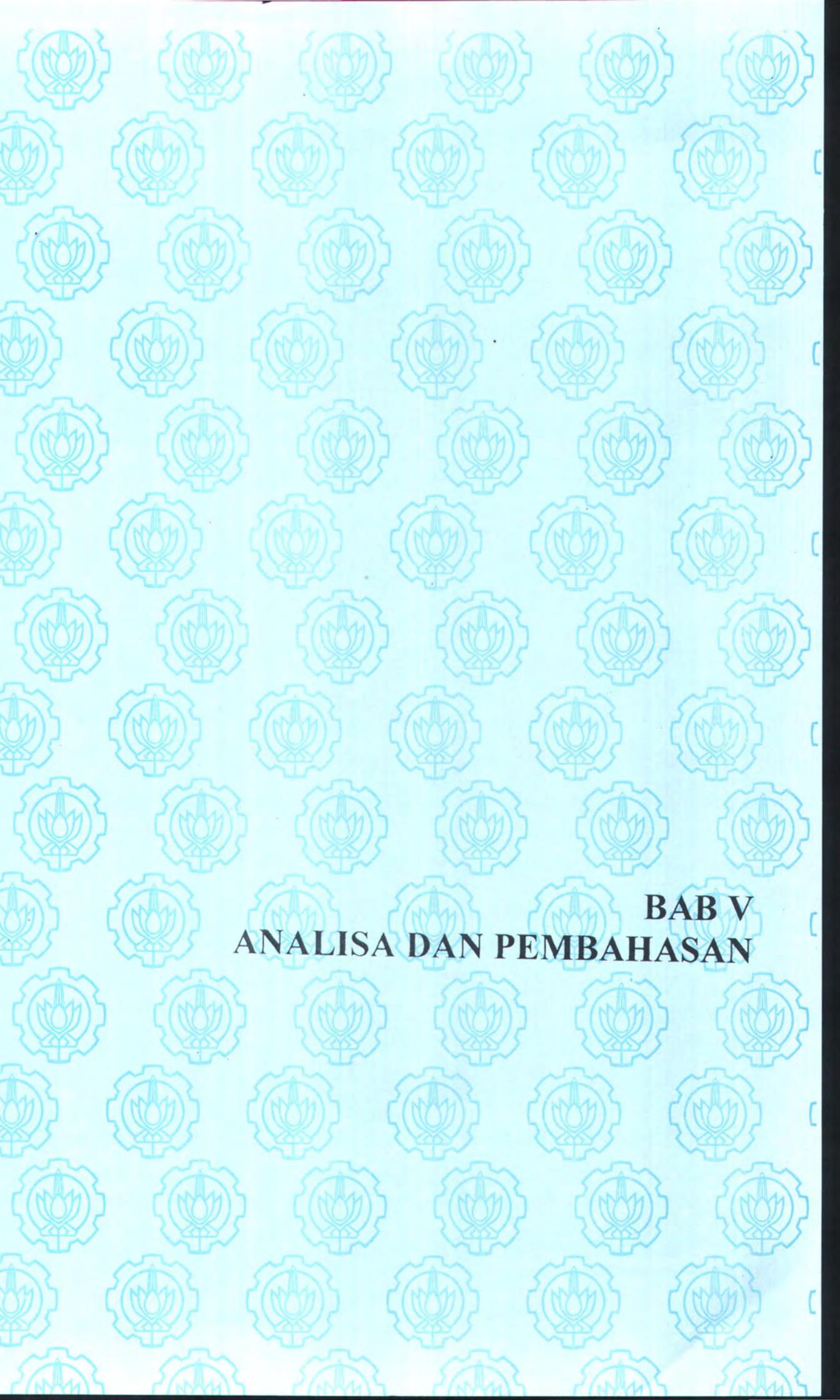


Tabel 4.9 Hasil Uji Kekerasan Material Tebal 10 mm, Proses FCAW

No.	Test location	d1	d2	d rata-rata	HV	HV rata-rata
3	Base metal	99,5	96	97,75	194,075	198,87
		99	95	97	197,088	
		95	95	95	205,47	
	Weld metal	80,5	85,5	83	269,182	269,495
		80	82	81	282,64	
		84,5	85,5	85	256,66	
	HAZ	96	96	96	201,215	199,209
		97,5	98,5	98	193,086	
		96,5	94,5	95,5	203,327	

Tabel 4.10 Hasil Uji Kekerasan Material Tebal 15 mm, Proses FCAW

No.	Test location	d1	d2	d rata-rata	HV	HV rata-rata
4	Base metal	92,5	93,5	93	214,406	210,289
		93	97	95	205,473	
		92	95,5	93,75	210,98	
	Weld metal	85	83	84	262,81	261,035
		87	86	86,5	247,84	
		81,5	83,5	82,5	272,45	
	HAZ	93	88	90,5	226,41	210,416
		96,5	92	94,25	208,75	
		96	98,5	97,25	196,076	



**BAB V**  
**ANALISA DAN PEMBAHASAN**



## B A B V

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Analisa Percobaan

Analisa percobaan yang dilakukan adalah analisa terhadap hasil percobaan yaitu pengelasan dengan menggunakan proses SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dan FCAW (Flux Cored Arc Welding) dengan ketebalan 10 mm dan 15 mm terhadap sifat kekerasan dan sifat ketangguhan. Dari hasil uji tarik, uji impact dan uji kekerasan terhadap kedua material pipa telah memberikan hasil yang berbeda pula.



##### 1. Analisa hasil uji tarik

Dari pengujian tarik yang telah dilakukan maka dihasilkan data-data seperti tercantum pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Dari tabel dapat dilihat kekuatan tarik logam lasan lebih tinggi dibanding dengan logam dasar. Hal ini dapat dilihat dari patahnya material dasar, bukan pada logam lasan. Elektroda yang dipakai adalah E 7016 yang mana spesifikasi dari elektroda ini adalah bahwa kekuatan tarik minimumnya adalah sebesar 70000 psi ( $49 \text{ kgf/mm}^2$ ) dengan lapisan pelindung dari bahan low hydrogen potassium. Dengan kondisi tersebut dapat dikatakan kekuatan tarik dari logam lasan nilai tariknya lebih tinggi dibandingkan kuat tarik logam dasar. Sehingga apabila



sambungan mengalami patahan, maka bagian yang akan mengalami patah pada sambungan adalah pada daerah material logam dasar (base metal). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengelasan dengan SMAW dan FCAW pada material pipa ASTM 106 Grade B telah memenuhi syarat.

2. Analisa pada pengujian Impact memberikan hasil sebagai berikut:

Pada pengujian impact ini dilakukan pada suhu  $-50^{\circ}\text{C}$  dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi brittle material (temperatur transisi) sehingga mempermudah dalam analisa perbandingan karena memperjelas perbedaan penampang patahan. Dan berikut ini hasil dari pengujian impact:

Pada daerah HAZ

Pelat pipa tebal 15 mm, proses FCAW nilai impact =  $0,940 \text{ Joule/mm}^2$

Pelat pipa tebal 10 mm, proses FCAW nilai impact =  $1,076 \text{ Joule/mm}^2$

Pelat pipa tebal 15 mm, proses SMAW nilai impact =  $1,521 \text{ Joule/mm}^2$

Pelat pipa tebal 10 mm, proses SMAW nilai impact =  $2.203 \text{ Joule/mm}^2$

Pada daerah Weld metal

Pelat pipa tebal 15 mm, proses FCAW nilai impact =  $0,05 \text{ Joule/mm}^2$

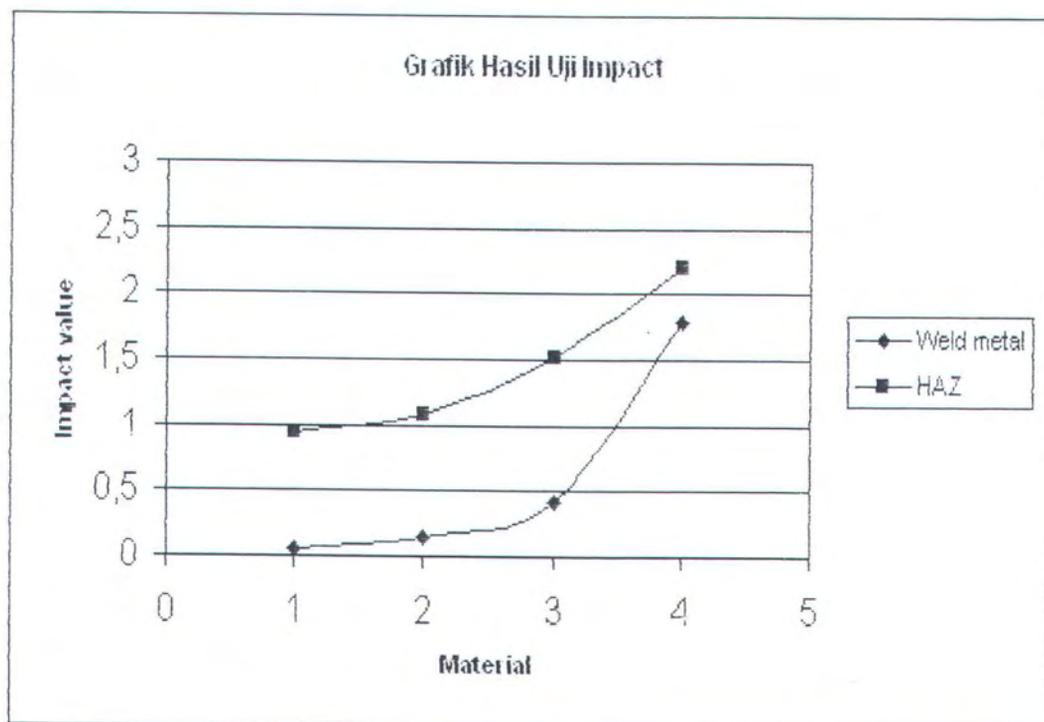
Pelat pipa tebal 10 mm, proses FCAW nilai impact =  $0,149 \text{ Joule/mm}^2$

Pelat pipa tebal 15 mm, proses SMAW nilai impact =  $0,410 \text{ Joule/mm}^2$

Pelat pipa tebal 10 mm, proses SMAW nilai impact =  $1,790 \text{ Joule/mm}^2$



Dari hasil-hasil pengujian impact tersebut dapat digambarkan sebuah grafik antara nilai impact dengan macam-macam material yang telah diuji.



Gambar 5.1 Grafik Hasil Uji Impact Pada Berbagai Macam Tebal Pelat Pipa

Keterangan gambar: Material 1 = pipa tebal 15 mm, proses FCAW  
Material 2 = pipa tebal 10 mm, proses FCAW  
Material 3 = pipa tebal 15 mm, proses SMAW  
Material 4 = pipa tebal 10 mm, proses SMAW

Pada daerah HAZ ternyata memiliki nilai energi impact yang lebih tinggi dibanding dengan daerah weld metal. Selain itu prosentase bentuk patahan menunjukkan pada daerah HAZ lebih ductile dibanding pada daerah weld



metal. Ini dikarenakan pada waktu pencairan elektroda, oksidasi dihalangi oleh terak dan gas pelindung yang terbentuk oleh bahan pembungkus elektroda. Tetapi walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam cair tidak dapat dihalangi sepenuhnya, sehingga logam las lebih banyak oksigen dibanding logam induk, sehingga terjadi perbedaan keuletan antara keduanya. Dan oksigen yang membentuk butiran oksida dalam logam lasan akan menurunkan energi impact.

3. Analisa pada pengujian kekerasan memberikan hasil sebagai berikut:

Pengujian kekerasan ini menggunakan uji kekerasan Vickers dan hasilnya seperti pada tabel 4.7, tabel 4.8, tabel 4.9 dan tabel 4.10.

Material pipa tebal 10 mm, proses SMAW

Daerah base metal nilai kekerasannya = 199 VHN

Daerah HAZ nilai kekerasannya = 200 VHN

Daerah weld metal nilai kekerasannya = 255 VHN

Material pipa tebal 15 mm, proses SMAW

Daerah base metal nilai kekerasannya = 188 VHN

Daerah HAZ nilai kekerasannya = 191 VHN

Daerah weld metal nilai kekerasannya = 237 VHN



Material pipa tebal 10 mm, proses FCAW

Daerah base metal nilai kekerasannya = 198 VHN

Daerah HAZ nilai kekerasannya = 199 VHN

Daerah weld metal nilai kekerasannya = 269 VHN

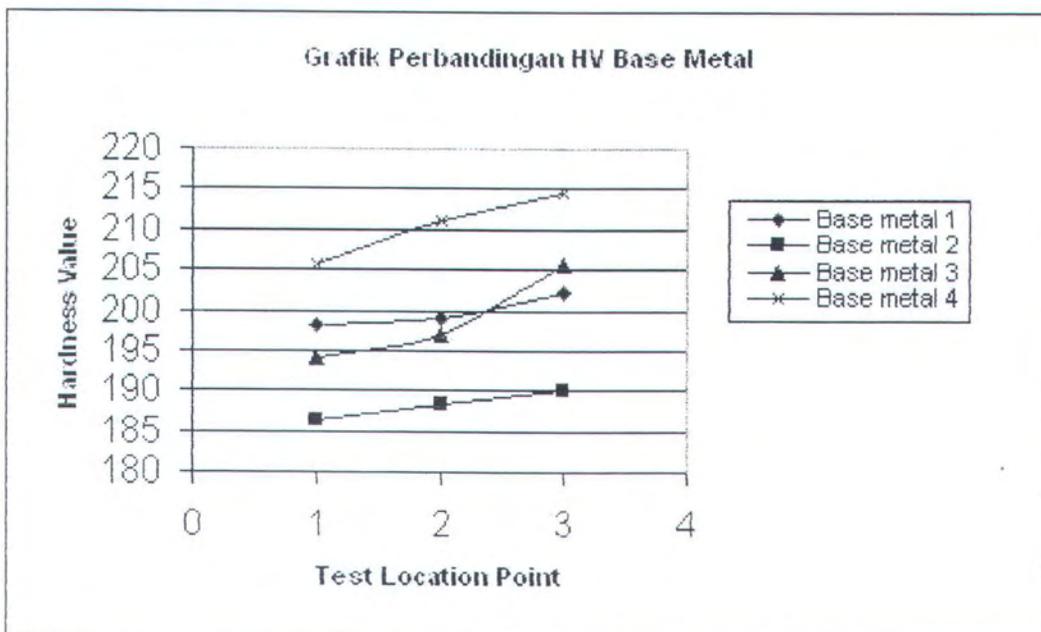
Material pipa tebal 15 mm, proses FCAW

Daerah base metal nilai kekerasannya = 210 VHN

Daerah HAZ nilai kekerasannya = 210 VHN

Daerah weld metal nilai kekerasannya = 261 VHN

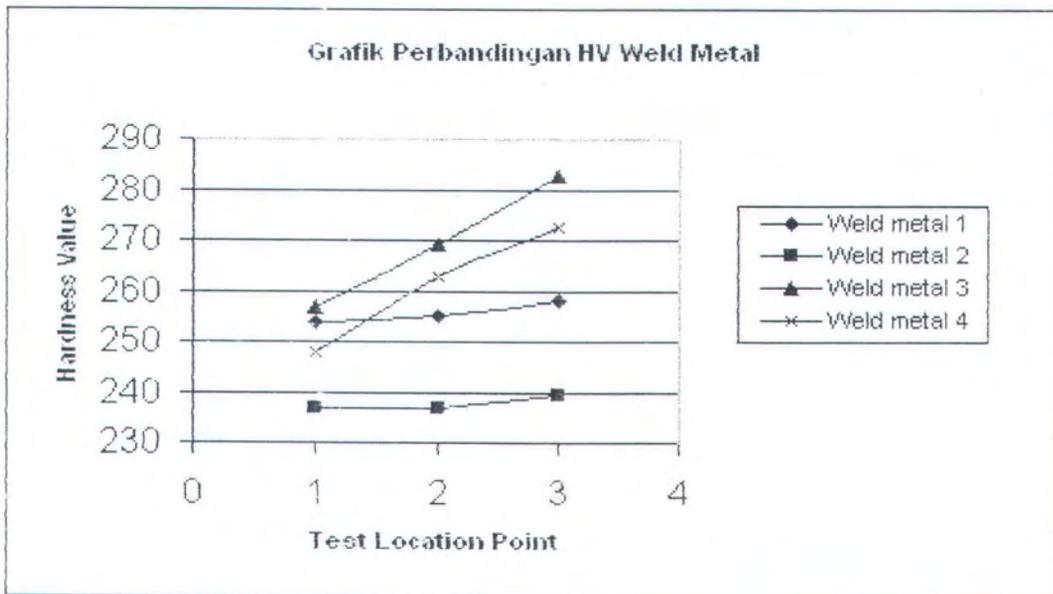
Dari hasil-hasil pengujian kekerasan tersebut dapat digambarkan grafik perbandingan antara 3 (tiga) titik indentasi untuk masing masing daerah base metal, HAZ, dan weld metal.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pada Base Metal

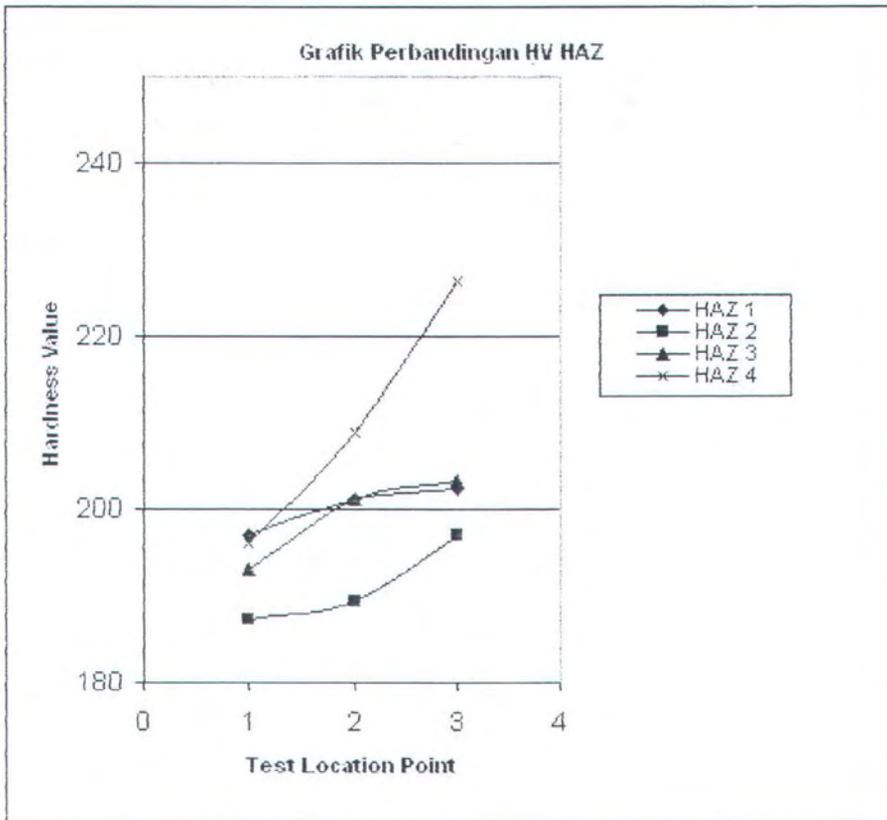


Keterangan gambar: Base metal 1 = pipa tebal 10 mm, proses SMAW  
Base metal 2 = pipa tebal 15 mm, proses SMAW  
Base metal 3 = pipa tebal 10 mm, proses FCAW  
Base metal 4 = pipa tebal 15 mm, proses FCAW



Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pada Weld Metal

Keterangan gambar: Weld metal 1 = pipa tebal 10 mm, proses SMAW  
Weld metal 2 = pipa tebal 15 mm, proses SMAW  
Weld metal 3 = pipa tebal 10 mm, proses FCAW  
Weld metal 4 = pipa tebal 15 mm, proses FCAW



Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pada HAZ

Keterangan gambar: HAZ 1 = pipa tebal 10 mm, proses SMAW  
HAZ 2 = pipa tebal 15 mm, proses SMAW  
HAZ 3 = pipa tebal 10 mm, proses FCAW  
HAZ 4 = pipa tebal 15 mm, proses FCAW

Secara umum dari grafik nilai kekerasan pada pengelasan SMAW dan FCAW mempunyai kekerasan yang berbeda pula. Untuk pengelasan FCAW mempunyai kekerasan yang paling tinggi baik itu didaerah base metal, weld metal dan HAZ. Ini dikarenakan dengan menggunakan arus rendah akan menghasilkan heat input rendah dan sebaliknya dengan menggunakan arus



tinggi akan menghasilkan heat input tinggi. Hal ini terjadi pada proses FCAW yang mana arus yang digunakan tinggi maka heat input tinggi yang mengakibatkan material mengalami pendinginan cepat dan butir kristal yang dihasilkannya pun relatif kecil. Perbedaan nilai kekerasan pada material tebal 10 mm dan 15 mm juga berpengaruh. Pada pengelasan material tebal 10 mm menggunakan layer (pass) lebih sedikit dibanding material tebal 15 mm yang mana hal ini berpengaruh juga terhadap jumlah panas yang diterima material. Pada material yang lebih tebal (15 mm) mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi baik menggunakan proses SMAW maupun FCAW.

## 5.2 Pembahasan Masalah

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai impact terendah terjadi pada material pipa ketebalan 15 mm menggunakan proses pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding) yang mana pada proses FCAW ini arus yang digunakan besar sekali (sesuai data dilapangan) dibanding dengan proses SMAW. Hal ini dikarenakan proses pengumpanan elektroda pada proses FCAW berlangsung secara kontinyu yang mengakibatkan kecepatan pengelasan tinggi dan deposit rate kecil sehingga arus yang digunakan besar. terjadi masukan panas yang besar sekali. Hal ini dapat dibuktikan dari perumusan masukan panas (heat input) yaitu:

$$HI = \frac{E \cdot I \cdot f1}{v} \dots \dots \dots (5.1)$$

dimana, HI = Heat Input (Joule/mm)

E = Voltase busur (Volt)



$I$  = Arus listrik (Ampere)

$v$  = Kecepatan pengelasan (mm/det)

$\eta$  = efisiensi mesin las (0,8-1)

(Soewefy, 1990)

Dari perumusan diatas dapat dilihat bahwa masukan panas (heat input) berbanding lurus dengan voltase busur, arus listrik dan efisiensi mesin las. Apabila arus listrik tinggi dan voltase busur tinggi maka heat input juga tinggi. Pada proses pengelasan FCAW, efisiensinya lebih besar (0,85 ~ 0,9) dibanding proses SMAW (0,8). Pada kenyataan dilapangan, arus yang digunakan pada proses FCAW lebih besar dibanding SMAW, karena pengumpanan elektroda pada proses FCAW berlangsung secara kontinyu dan kecepatan pengelasan tinggi yang mengakibatkan deposit rate tinggi. Dan hal ini dapat dicapai bila arus yang digunakan besar sehingga masukan panas (heat input) besar.

Masukan panas yang besar menyebabkan struktur logam berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Dan material menerima panas yang besar sekali sehingga pendinginan terjadi secara cepat yang mengakibatkan material menjadi getas. Karena disamping itu juga, pada waktu pengujian impact material dikondisikan pada suhu  $-50^{\circ}\text{C}$  dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi brittle material sehingga mempermudah dalam analisis perbandingan karena memperjelas perbedaan penampang patahan



sehingga kemungkinan terjadi penggetasan karena kondisi suhu yang amat rendah dan akibatnya energi yang diserap oleh material kecil sekali.

Untuk nilai impact tertinggi terjadi pada material pipa ketebalan 10 mm menggunakan proses pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) yang mana pada proses SMAW ini masukan panasnya tidak terlalu besar seperti pada FCAW. Hal ini dikarenakan arus yang digunakan pada proses SMAW kecil (sesuai data dilapangan). Berikut ini tabel perbandingan nilai masukan panas (heat input) pada beberapa proses pengelasan SMAW, MIG dan SAW:

Tabel 5.1 Perbandingan masukan panas dan diffusible hydrogen berbagai proses pengelasan (Soeweify, 1990)

Proses pengelasan	Heat input (J/cm)	H (diffusible hydrogen) (cc/100 g)				
		Elektrode				
SMAW	17000	Grade (x1000 psi)	Ultra low hydrogen	Low hydrogen	High humidity	Other electrode
			50 (Tensile)	2	4	6
		60 (Tensile)	1	2,3	4	10-15
		70-80 (Tensile)	1	1,6	2,5	10-15
MIG	30000	1-2				
SAW	60000	4-5				



**BAB VI**  
**PENUTUP**



## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Dari percobaan yang telah dilakukan dan dengan data-data dari hasil percobaan dapat diambil kesimpulan data sebagai berikut:

Dari hasil percobaan uji impact didapatkan nilai impact pada masing-masing material:

- Hasil uji impact pada daerah HAZ (suhu  $-50^{\circ}\text{C}$ )

Proses pengelasan	Tebal pelat pipa	Nilai impact
SMAW	10 mm	2,20 Joule/mm <sup>2</sup>
SMAW	15 mm	1,52 Joule/mm <sup>2</sup>
FCAW	10 mm	1,076 Joule/mm <sup>2</sup>
FCAW	15 mm	0,94 Joule/mm <sup>2</sup>

- Hasil uji impact pada daerah weld metal (suhu  $-50^{\circ}\text{C}$ )

Proses pengelasan	Tebal pelat pipa	Nilai impact
SMAW	10 mm	1,79 Joule/mm <sup>2</sup>
SMAW	15 mm	0,41 Joule/mm <sup>2</sup>
FCAW	10 mm	0,149 Joule/mm <sup>2</sup>
FCAW	15 mm	0,05 Joule/mm <sup>2</sup>



Dari percobaan uji kekerasan didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah weld metal yaitu pada material:

Proses pengelasan	Tebal pelat pipa	Nilai kekerasan
SMAW	10 mm	255 VHN
SMAW	15 mm	237 VHN
FCAW	10 mm	269 VHN
FCAW	15 mm	261 VHN

Dari tabel-tabel diatas dapat kita ambil kesimpulan:

- Nilai ketangguhan terbesar terjadi pada material pipa tebal 10 mm dengan menggunakan proses SMAW yaitu sebesar 2,20 Joule/mm<sup>2</sup> pada daerah HAZ.
- Nilai kekerasan terbesar terjadi pada material pipa tebal 10 mm dengan menggunakan proses FCAW yaitu sebesar 269 VHN pada daerah weld metal.

Setelah diketahui hasil uji ketangguhan dan kekerasan dengan menggunakan proses SMAW dan FCAW dapat kita simpulkan keunggulan dan kekurangan dari kedua proses pengelasan tersebut:

- Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) mempunyai kelebihan:

- Cara pengelasan ini dapat dikatakan cukup fleksibel, dapat menyambung logam yang mempunyai ketebalan tipis hingga tebal dengan bermacam-macam posisi pengelasan



- Lebih ekonomis karena modal yang diperlukan relatif kecil serta biaya pemeliharaannya lebih murah
  - Filler metal yang dibutuhkan sedikit
  - Nilai ketangguhan yang tinggi pada material lasan karena panas yang diterima lebih kecil dibanding FCAW (tidak mudah getas)
- Pengelasan SMAW mempunyai kekurangan antara lain:
- Penggunaan pengelasan ini sepenuhnya memakai tenaga manusia (manual)
  - Efisiensi lebih rendah dibanding pengelasan FCAW
  - Kecepatan pengelasan rendah
- Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding) mempunyai kelebihan:
- Kualitas deposit logam yang tinggi
  - Bentuk hasil lasan yang baik, smooth dan uniform
  - Faktor operasi tinggi mudah dilakukan otomatisasi
  - Deposite rate tinggi
  - Kecepatan pengelasan relatif tinggi sehingga lebih efisien dibanding SMAW
  - Kekerasan pada material lasan lebih tinggi dibanding SMAW
- Pengelasan FCAW mempunyai kekurangan:
- Penggunaan filler metal relatif tinggi karena filler metal diumpankan secara kontinyu
  - Nilai kekerasan yang tinggi sehingga efek penggetasannya lebih besar



- Modal yang diperlukan relatif besar serta biaya pemeliharaan yang besar
- Mesin yang relatif besar sehingga tidak mudah dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain

## 6.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil pengujian impact dan uji kekerasan dari hasil pengelasan dengan hasil yang maksimal disarankan untuk mematuhi apa yang menjadi acuan pada waktu pengelasan (WPS) dan melakukan apa yang menjadi prosedur dalam pengelasan maupun pengujian material hasil pengelasan.



**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- AWS, *Structural Welding Code Steel*, ANSI/AWS D1.1-92, Miami, Florida, 1996
- AWS, *Welding Handbook*, Section 1 *Welding Process*, Miami, Florida, 2000
- Buana, H. Langlang. Tugas Akhir, *Analisa Pengaruh Tegangan Sisa Pada Proses Pengelasan FCAW Dengan Gas Pelindung CO<sub>2</sub>*, T. Perkapalan, FTK-ITS, 1995
- Cary, H.B, *Modern Welding Technology*, Arc Welding With A Consumable Electrodes, Prentice Hall, USA, 1994
- Davies, A. C, *The Science And Practice Of Welding Vol. 2*, 10<sup>th</sup> Edition, University Press, Cambridge, Great Britain, 1993
- Dieter, George E., *Metalurgi Mekanik*, Edisi III, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992
- Jamili, B., Tugas Akhir, *Analisa Pengaruh Masukan Panas Pengelasan SMAW Terhadap Ketangguhan Dan Kekerasan Pada Baja S 45 C*, T. Perkapalan, FTK-ITS, 2000
- Kenyon, W., *Dasar-Dasar Pengelasan*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1978
- Ruddianto, *Tinjauan Teknis Dan Ekonomois Pemakaian Gas Pelindung CO<sub>2</sub> Pada Proses Pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW)*, T. Perkapalan, FTK-ITS, 1994

- Soeweify, *Diktat Kuliah Teknologi Las*, FTK-ITS
- Wiryosumarto, Harsono. *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1996



**LAMPIRAN**

## Welding Procedure Specification (WPS)

Company Name : Teknik Kelautan FTK-ITS  
WPS No. : 01-SM  
Welding Process : SMAW  
Type(s) : Manual



### oints

oints design : V-groove  
roove : Single bevel

### ase metal

Specification type and Grade : ASTM 106 Grade B  
Thickness : 10 mm  
Pipe diameter : 6"

### iller Metals

Specification No. (SFA) : SMAW  
SFA-5.1  
AWS No. (Class) : E 7016  
Size of Filler Metals :  $\varnothing$  3,2 mm & 4 mm

### ositions

osition(s) of Groove : 1G  
Welding Progression : Up

### as Shielding

as shielding : N/A

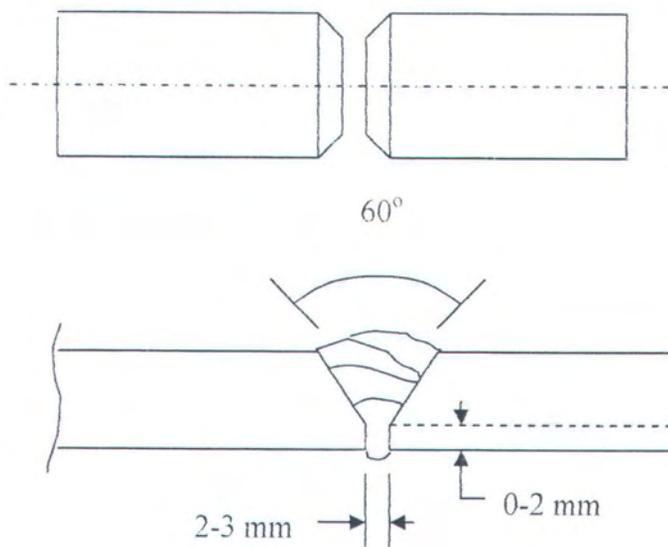
### echnique

Travel Speed : SMAW  
30-50 (mm/mnt)  
String or Weave Bead : Weaving  
Multipass or Single Pass : Multipass  
Multiple or Single Electrode : Single  
Initial and Interpass Cleaning : Grinding & Brushing

## Welding Parameter

Weld Layer	Process	Filler Metal		Welding Current		Volts Range	Travel Speed (mm/mnt)
		Class	Diameter (mm)	Type polarity	Amp. Range		
1	SMAW	E7016	3,2	AC	100-150	20-35	30-50
2	SMAW	E7016	3,2	AC	100-150	20-35	30-50
3	SMAW	E7016	4	AC	100-150	20-35	30-50
4	SMAW	E7016	4	AC	100-150	20-35	30-50

## Joints Detail



## Welding Procedure Specification (WPS)

Company Name : Teknik Kelautan FTK-ITS  
WPS No. : 02-SM  
Welding Process : SMAW  
Type(s) : Manual

### Joints

Joints design : V-groove  
Groove : Single bevel

### Base metal

Specification type and Grade : ASTM 106 Grade B  
Thickness : 15 mm  
Pipe diameter : 6"

### Filler Metals

Welding Process : SMAW  
Specification No. (SFA) : SFA-5.1  
AWS No. (Class) : E 7016  
Size of Filler Metals : Ø 3,2 mm & 4 mm

### Positions

Position(s) of Groove : 1G  
Welding Progression : Up

### Gas Shielding

Gas shielding : N/A

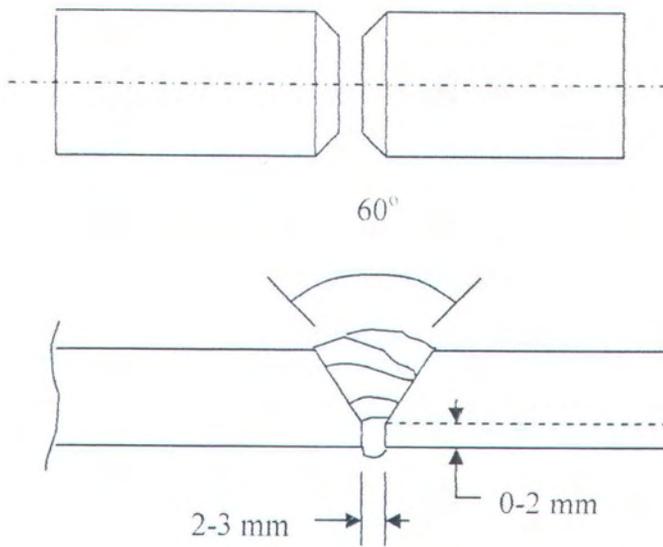
### Technique

Welding Process : SMAW  
Travel Speed : 30-50 (mm/mnt)  
Stringer or Weave Bead : Weaving  
Multipass or Single Pass : Multipass  
Multiple or Single Electrode : Single  
Preheat and Interpass Cleaning : Grinding & Brushing

## Welding Parameter

Weld Layer	Process	Filler Metal		Welding Current		Volts Range	Travel Speed (mm/mnt)
		Class	Diameter (mm)	Type polarity	Amp. Range		
1	SMAW	E7016	3,2	AC	100-150	20-35	30-50
2	SMAW	E7016	3.2	AC	100-150	20-35	30-50
3	SMAW	E7016	4	AC	100-150	20-35	30-50
4	SMAW	E7016	4	AC	100-150	20-35	30-50
5	SMAW	E7016	4	AC	100-150	20-35	

## Joints Detail



## Welding Procedure Specification (WPS)

Company Name : Teknik Kelautan FTK-ITS  
WPS No. : 03-FC  
Welding Process : FCAW  
Type(s) : Manual

### Joints

Joints design : V-groove  
Groove : Single bevel

### Base metal

Specification type and Grade : ASTM 106 Grade B  
Thickness : 10 mm  
Pipe diameter : 4"

### Filler Metals

	SMAW	FCAW
Specification No. (SFA)	SFA-5.1	SFA-5.20
AWS No. (Class)	E 7016	E 71T-1
Size of Filler Metals	Ø 3,2 mm	Ø 1,2 mm

### Positions

Position(s) of Groove : 1G  
Welding Progression : Up

### Gas Shielding

Gas shielding : CO<sub>2</sub>, Flow rate : 10-20 L/mnt

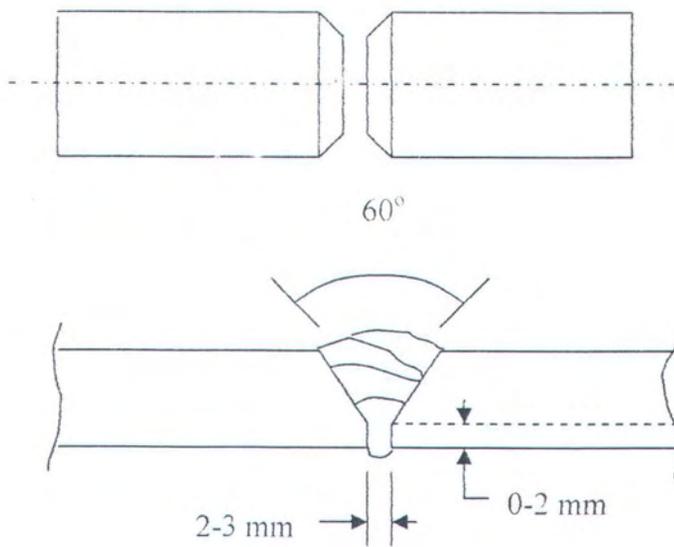
### Technique

	SMAW	FCAW
Travel Speed	: 30-50 (mm/mnt)	80-150 (mm/mnt)
String or Weave Bead	: Weaving	
Multipass or Single Pass	: Multipass	
Multiple or Single Electrode	: Single	
Initial and Interpass Cleaning	: Grinding & Brushing	

## Welding Parameter

Weld Layer	Process	Filler Metal		Welding Current		Volts Range	Travel Speed (mm/mnt)
		Class	Diameter (mm)	Type polarity	Amp. Range		
1	SMAW	E7016	3,2	AC	80-140	20-35	30-50
2	FCAW	E71T-1	1,2	DC	120-250	20-35	80-150
3	FCAW	E71T-1	1,2	DC	120-250	20-35	80-150
4	FCAW	E71T-1	1,2	DC	120-250	20-35	80-150

## Joints Detail



## Welding Procedure Specification (WPS)

Company Name : Teknik Kelautan FTK-ITS  
WPS No. : 04-FC  
Welding Process : FCAW  
Type(s) : Manual

### Joints

Joints design : V-groove  
Groove : Single bevel

### Base metal

Specification type and Grade : ASTM 106 Grade B  
Thickness : 15 mm  
Pipe diameter : 6"

### Filler Metals

	SMAW	FCAW
Specification No. (SFA)	: SFA-5.1	SFA-5.20
WPS No. (Class)	: E 7016	E 71T-1
Size of Filler Metals	: Ø 3,2 mm	Ø 1,2 mm

### Positions

Position(s) of Groove : 1G  
Welding Progression : Up

### Gas Shielding

Gas shielding : CO<sub>2</sub>, Flow rate : 10-20 L/mnt

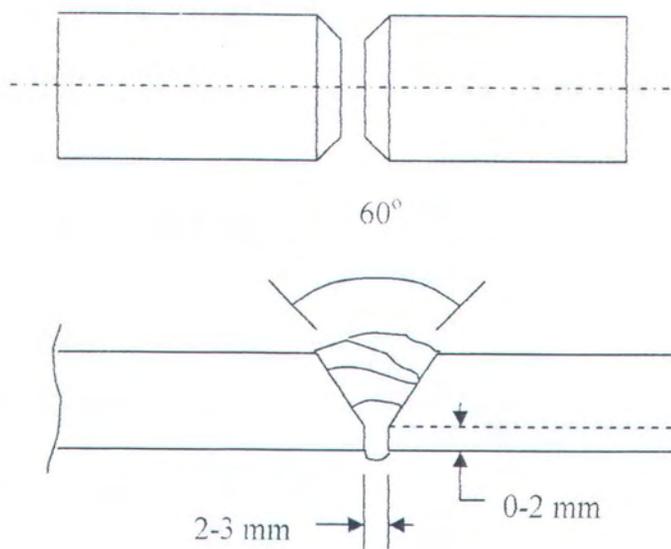
### Technique

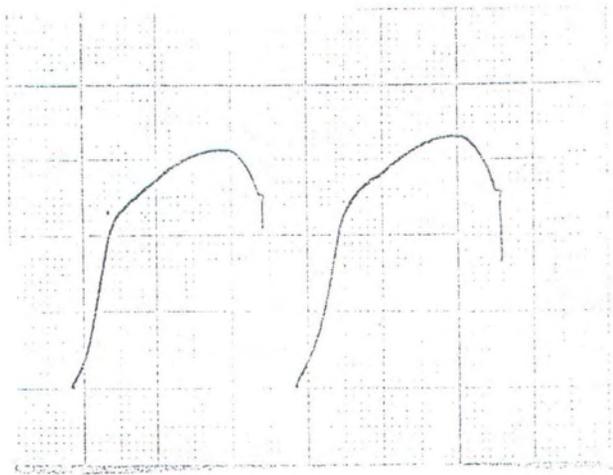
	SMAW	FCAW
Travel Speed	: 30-50 (mm/mnt)	80-150 (mm/mnt)
Stringer or Weave Bead	: Weaving	
Multipass or Single Pass	: Multipass	
Multiple or Single Electrode	: Single	
Preheat and Interpass Cleaning	: Grinding & Brushing	

## Welding Parameter

Weld Layer	Process	Filler Metal		Welding Current		Volts Range	Travel Speed (mm/mnt)
		Class	Diameter (mm)	Type polarity	Amp. Range		
1	SMAW	E7016	3,2	AC	80-140	20-35	30-50
2	FCAW	E71T-1	1,2	DC	120-250	20-35	80-150
3	FCAW	E71T-1	1,2	DC	120-250	20-35	80-150
4	FCAW	E71T-1	1,2	DC	120-250	20-35	80-150

## Joints Detail



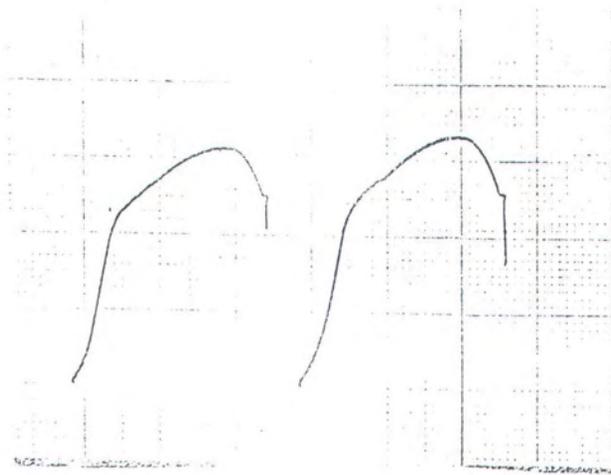


Grafik hasil uji tarik material pipa tebal 10 mm  
 proses pengelasan SMAW

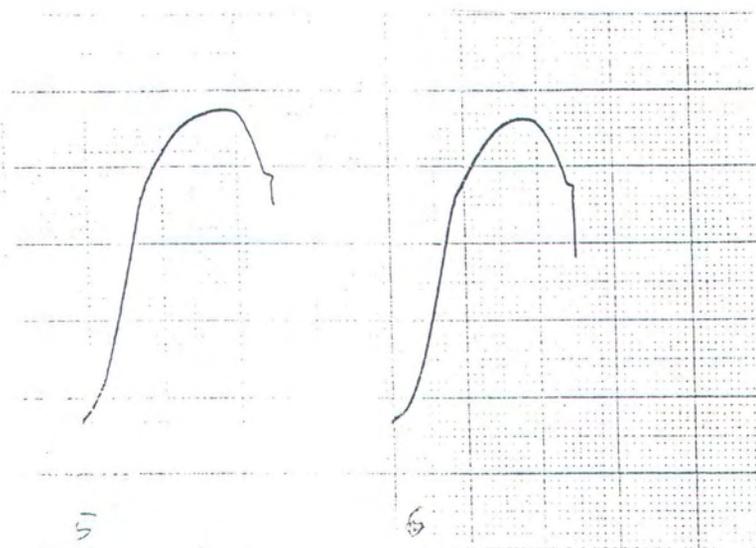


Grafik hasil uji tarik material pipa tebal 15 mm  
 proses pengelasan SMAW

Skala: 1 mm : 250 kgf



Grafik hasil uji tarik material pipa tebal 10 mm  
 proses pengelasan FCAW



Grafik hasil uji tarik material pipa tebal 15 mm  
 proses pengelasan FCAW

Skala: 1 mm : 250 kgf



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS, Sukolilo Surabaya 60111 Telp / Fax. (031) 5928105, 5994251-5 Psw. 1104 - 1105

LEMBAR PRESENTASI KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Agus Setyawan  
NRP : 4397 100 030  
Dosen Pembimbing : Ir. Soewefy, MEng.  
Tugas Dimulai :  
Diselesaikan :  
Judul Tugas Akhir : Analisa Perbandingan Proses Pengelasan Sifat  
dan Peleburan Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan  
Untuk Rebar Pelat Pipa 10 mm dan 15 mm

Tanggal	Konsultasi Mengenai.	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
4/3/2002	Cari plat pipa	
4/4/2002	Tunjukkan Buku Referensi	
18/4/2002	Lebih banyak Referensi	
23/4/2002	Alur TA	
30/4/2002	Revisi dan TA	
18/6/2002	Dilayakhi Test speem	
9/5/2002	Dibayar Revisi	
23/7/2002	Pengujian Hardness	
26/7/2002	Perbaikan Grafik Hardness	

