

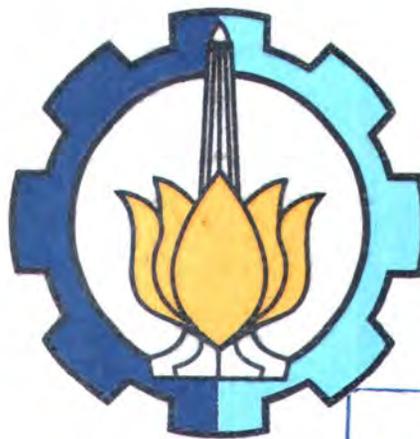
26826/H/06

**TUGAS AKHIR**  
( LK 1347 )



**STUDI PERBANDINGAN PENGARUH BESARNYA HEAT  
INPUT PADA KETANGGUHAN DAN KEKUATAN TARIK  
MILD STEEL PRODUKSI LOKAL DAN IMPOR**

RSPe  
623.843.2  
Bud  
S-1  
2006



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	3-8-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	225807

Oleh :

**HERYS SETIA BUDI**  
NRP. 4199.100.040

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2006**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI PERBANDINGAN PENGARUH BESARNYA *HEAT INPUT* PADA KETANGGUHAN DAN KEKUATAN TARIK *MILD STEEL* PRODUKSI LOKAL DAN IMPOR**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Surabaya, Juli 2006**

**Mengetahui/ Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing,**



**Ir. SOEWEIFY, M.Eng.  
NIP. 130 368 597**

## LEMBAR PENGESAHAN

### STUDI PERBANDINGAN PENGARUH BESARNYA *HEAT INPUT* PADA KETANGGUHAN DAN KEKUATAN TARIK *MILD STEEL* PRODUKSI LOKAL DAN IMPOR

#### TUGAS AKHIR

Telah Direvisi Sesuai Dengan Hasil Sidang Ujian Tugas Akhir

Pada

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

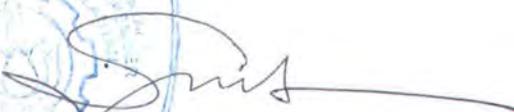
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Surabaya, Juli 2006

Mengetahui/ Menyetujui :

Dosen Pembimbing,


Ir. SOEWEIFY, M.Eng.

NIP. 130 368 597

## ABSTRAK

Dalam industri perkapalan saat ini, teknologi pengelasan memiliki peranan penting dalam proses produksi suatu galangan. Dalam pengelasan, masukan panas (heat input) dianggap memiliki tanggung jawab yang sangat besar atas terjadinya perubahan sifat mekanik suatu material.

Dalam tugas akhir ini akan diteliti mengenai perilaku material produksi lokal dengan produksi impor jika diberikan masukan panas yang sama. Untuk maksud tersebut telah dilakukan pengelasan material mild steel dengan ketebalan 8 mm dengan variabel-variabel masukan panas: tegangan 32 volt, kuat arus 400/450, 500/550, 600/650 Ampere dengan kecepatan pengelasan 60cm/menit. Selanjutnya untuk mengetahui kualitas hasil pengelasan dilakukan serangkaian pengujian meliputi: uji radiografi, uji tarik, uji kekerasan, uji impact. Dari analisa terhadap hasil pengujian diperoleh kesimpulan bahwa semakin tinggi masukan panas (heat input) maka nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan material menurun sedangkan nilai impactnya naik. Nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan material impor lebih tinggi dibandingkan material lokal, tetapi nilai impact material lokal lebih tinggi dibandingkan material impor.

## ABSTRACT

Nowadays, in naval industry, welding technology has important role in process of a shipyard production. In welding process, heat input is considered has big role on transformation of mechanical properties of material

This final project is made to research the comparison between material behavior of local production with import production if given the heat input in the same of amount. For that purpose, we welded mild steel material, dimension 300 x 200 x 8 mm. Heat input variable cover : voltage is 32 volt, variation of current density is 400/450, 500/550, 600/650 Ampere, and welding speed is 60 cm/minute. Furthermore we do : radiographic test, tension test, hardness test and impact test to definite a weld quality. From the result of these test we conclude that the increasing of heat input, the value of tension strength and material hardness become decreased, but the other way value of toughness increase. Import material has value of tension strength higher than local material, while value of toughness of import material lower than local material.

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kehadiran ALLAH SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktu.

Rasa terima kasih juga penulis ucapkan kepada pihak-pihak yang telah berperan serta, baik secara langsung maupun tidak langsung, sebagai berikut:

1. Ibu dan almarhum Bapak, yang telah memberikan dukungan serta bantuan moral dan material sampai penulis dapat menyelesaikan perkuliahan.
2. Mas Wawan dan Mba' Indri, serta adikku Imong dan adikku Radit serta keluarga penulis di Jombang atas dukungan semangatnya.
3. Ir. Soeweify, M.Eng selaku dosen Pembimbing; atas kesabarannya dalam membimbing penulis dari awal hingga selesainya Tugas akhir ini.
4. Ir. Triwilaswandio W.P., M.Sc; selaku Ketua Jurusan Teknik perkapalan
5. M. Nurul Misbah, S.T., M.T; selaku Ketua Laboratorium Produksi Teknik Perkapalan beserta *crew*.
6. Wing Hendroprasetyo, S.T., M.Eng; selaku ketua Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Teknik Perkapalan beserta *crew*.
7. PT. PAL Indonesia; atas bantuan material dan proses pengelasannya.
8. Eko Mardiono; sebagai *partner* yang selalu menyediakan dukungan moral, tenaga, dan waktunya
9. Agus Sulistyawan; atas tenaga, waktu, kendaraan dan monitornya
10. Wayan bayu ; atas tenaga, waktu dan dorongan semangatnya.

1. Teman-teman angkatan'99 dan lain angkatan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu; atas dorongan semangat dan do'anya.
12. Teman-teman di Gebang Kidul 31 (A. Heru C., Arba'i, Andik, Hasan, Yunan, Arif, Bagus, Anang, Yunus, Lutfi 'Adolfo', Erik, Mas Ade, Fahru, dll.); atas dorongan semangat dan do'a-nya.
13. Keluarga Pakde Mus; atas diberikannya tempat, dorongan semangat dan do'a-nya
14. Keluarga besar Ibu Kost; atas diberikannya tempat, sumbangan nutrisi, dan do'anya.

Selanjutnya penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Akhirnya penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya pada pihak-pihak yang berkepentingan.

Surabaya, Juli 2006

Penulis

## DAFTAR ISI

JUDUL TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GRAFIK .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang Masalah .....	I-1
I.2 Perumusan Masalah .....	I-2
I.3 Tujuan.....	I-2
I.4 Manfaat .....	I-2
I.5 Batasan Masalah .....	I-3
I.6 Metode Penulisan .....	I-3
I.7 Sistematika Laporan .....	I-6

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Teori Pengelasan.....	II-1
II.1.1 Las Busur Rendam.....	II-2
II.1.2 Parameter-parameter pada las Busur Rendam.....	II-8
II.2 Kecepatan Pengelasan, Arus Las, dan Hasil Pengelasan .....	II-10
II.3 Cacat akibat Proses Pengelasan .....	II-11
II.4 Masukan Panas (Heat input) .....	II-16
II.5 Sifat Mekanik .....	II-17
II.6 Pengujian Mekanik .....	II-18
II.6.1 Pengujian Tarik.....	II-18
II.6.2 Pengujian Kekerasan.....	II-20
II.6.2.1 Pengujian Brinel.....	II-21
II.6.2.2 Pengujian Rockwell.....	II-22
II.6.2.3 Pengujian Vickers.....	II-23
II.6.3 Pengujian Impact.....	II-25
II.7 Baja dalam Pengelasan .....	II-27
II.7.1 Pendahuluan.....	II-27
II.7.2 Klasifikasi baja Karbon.....	II-28

## BAB III PENGELASAN DAN PENGUJIAN

III.1 Proses Pengelasan dengan Las Busur rendam	
III.1.1 Pendahuluan.....	III-1
III.1.2 Persiapan Spesimen.....	III-1

III.1.3	Prosedur Pengelasan.....	III-2
III.1.4	Spesifikasi Mesin Las.....	III-4
III.1.5	Proses Pengelasan .....	III-5
III.1.5	Perhitungan Heat Input.....	III-6
III.2 Persiapan dan Pembuatan Spesimen Uji		
III.2.1	Persiapan.....	III-7
	III.2.1.1 Pendahuluan.....	III-7
	III.2.1.2 Peralatan .....	III-7
	III.2.1.2 Pemotongan .....	III-7
III.2.2	Pembuatan Spesimen Uji.....	III-8
	III.2.2.1 Spesimen Uji Tarik.....	III-8
	III.2.2.2 Spesimen Uji Impact.....	III-10
III.3 Uji Radiografi (X-Ray)		
III.3.1	Pendahuluan.....	III-11
III.3.2	Peralatan dan Bahan.....	III-11
III.3.3	Proses Pengujian .....	III-12
III.4 Pengukuran Angular Distortion		
III.4.1	Pendahuluan.....	III-13
III.4.2	Peralatan dan Bahan .....	III-14
III.4.2	Proses Pengujian .....	III-14
III.5 Pengujian Tarik		
III.5.1	Pendahuluan.....	III-16

II.5.2	Peralatan dan Bahan .....	III-16
III.5.2	Proses Pengujian .....	III-16
III.6 Pengujian Impact		
III.6.1	Pendahuluan.....	III-17
III.6.2	Peralatan dan Bahan .....	III-17
III.6.2	Proses Pengujian .....	III-18
III.7 Pengukuran Makroetsa		
III.7.1	Pendahuluan.....	III-19
III.7.2	Peralatan dan Bahan .....	III-19
III.7.2	Proses Pengujian .....	III-20
III.8 Pengujian Kekerasan		
III.4.1	Pendahuluan.....	III-21
III.4.2	Peralatan dan Bahan .....	III-21
III.4.2	Proses Pengujian .....	III-21

## BAB IV ANALISA HASIL PENGUJIAN

IV.1	Hasil Uji Radiografi.....	IV-1
IV.2	Hasil Pengukuran <i>Angular Distortion</i> .....	IV-4
IV.3	Hasil Uji Tarik .....	IV-10
IV.4	Hasil Uji kekerasan.....	IV-12
IV.5	Hasil Uji Impact .....	IV-14

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan..... V-1

V.2 Saran ..... V-3

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR



Gambar 2.1. Skema las busur rendam (SAW).....	II-2
Gambar 2.2. Salah satu tipe mesin SAW.....	II-4
Gambar 2.3. Tipe-tipe retak .....	II-12
Gambar 2.4. Undercut .....	II-13
Gambar 2.5. Porosity.....	II-14
Gambar 2.6. Berbagai bentuk incomplete penetration .....	II-15
Gambar 3.1. Spesimen dengan tab plate.....	III-2
Gambar 3.2. Detail design .....	III-3
Gambar 3.3. Mesin las SAW .....	III-4
Gambar 3.4. Proses pengelasan.....	III-5
Gambar 3.5. Bagian materiak yang akan dipotong .....	III-8
Gambar 3.6. Spesimen uji tarik.....	III-9
Gambar 3.7. Spesimen uji impact .....	III-10
Gambar 3.8. Susunan pengujian x-ray .....	III-12
Gambar 3.9. Daerah pengujian (A-B) untuk x-ray.....	III-13
Gambar 3.10. Pengukuran deformasi dengan dial gauge .....	III-15
Gambar 3.11. Prinsip pengukuran deformasi .....	III-15
Gambar 3.12. Mesin poles .....	III-20
Gambar 4.1. Hasil uji radiografi spesimen 1 .....	IV-2
Gambar 4.2. Hasil uji radiografi spesimen 2 ... ..	IV-2

Gambar 4.3. Hasil uji radiografi spesimen 3 .....	IV-2
Gambar 4.4. Hasil uji radiografi spesimen 4 .....	IV-3
Gambar 4.5. Hasil uji radiografi spesimen 5 .....	IV-3
Gambar 4.6. Hasil uji radiografi spesimen 6 .....	IV-3

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi kawat las busur rendam (AWS A.517) .....	II-6
Tabel 2.2. Diameter kawat las dan kuat arus .....	II-6
Tabel 3.1. Parameter pengelasan .....	III-5
Tabel 3.2. Perhitungan <i>heat input</i> layer 1 dan layer 2.....	III-6
Tabel 4.1. Hasil uji radiografi.....	IV-1
Tabel 4.2. Penyimpangan rata-rata material lokal dan impor.....	IV-8
Tabel 4.3. Hasil Uji Tarik .....	IV-10
Tabel 4.4. Hasil Uji Kekerasan .....	IV-12
Tabel 4.5. Hasil Uji Impact .....	IV-14

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Penyimpangan pada spesimen 1 .....	IV-6
Grafik 4.2. Penyimpangan pada spesimen 2.....	IV-7
Grafik 4.3. Penyimpangan pada spesimen 3.....	IV-7
Grafik 4.4. Penyimpangan pada spesimen 4.....	IV-7
Grafik 4.5. Penyimpangan pada spesimen 5.....	IV-5
Grafik 4.6. Penyimpangan pada spesimen 6.....	IV-5
Grafik 4.7. Perbandingan penyimpangan rata-rata material lokal dan impor.....	IV-9
Grafik 4.8. Hasil Uji Tarik.....	IV-11
Grafik 4.9. Hasil Uji Kekerasan.....	IV-13
Grafik 4.10. Hasil Uji Impact .....	IV-15



**BAB I**  
**PENDAHULUAN**



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### I.1. Latar Belakang

Dalam pengelasan, masukan panas (heat input) memiliki pengaruh yang sangat besar pada ketangguhan (impact toughness), kekuatan tarik (tensile strength), dan kekerasan (hardness) hasil pengelasan. Masukan panas yang rendah akan menyebabkan HAZ yang terlalu keras dan rawan untuk mengalami retak dingin. Sebaliknya masukan panas yang tinggi menyebabkan ketangguhan dan kekuatan tarik yang rendah.

Dalam proses pengelasan bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal. Sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalangan pengembangan yang menyebabkan terjadinya peregangan yang rumit. Kalau tidak dihindari peregangan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk tetap (distortion/distorsi) yang disebabkan karena adanya perubahan besaran mekaniknya.

Dalam pengelasan, masukan panas (heat input) dianggap memiliki tanggung jawab yang sangat besar atas terjadinya perubahan *mechanical properties* material. Variabel-variabel masukan panas tersebut antara lain tegangan, aliran listrik, kecepatan las.



Oleh karena itu perlu diteliti berapa masukan panas yang optimal yang bisa diterima oleh material. Optimal yang dimaksud adalah masukan panas yang diberikan setinggi mungkin tapi ketangguhan dan kekuatan tarik masih memenuhi yang diijinkan.

Dalam pembangunan kapal penggunaan material produk impor dan lokal berpengaruh pada kualitas hasil pengelasan. Pengelasan dengan menggunakan material produk impor deformasi yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan produk lokal. Di sisi lain harga material produk impor lebih tinggi dibandingkan material produk lokal.

### **I.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas permasalahan yang akan diteliti adalah:

- a. Bila heat input dinaikkan bagaimana ketangguhan dan kekuatan tarik suatu material ?
- b. Bagaimana perbandingan material produksi lokal dengan produksi impor jika diberikan masukan panas yang sama ?

### **I.3. Tujuan**

Tujuan utama dari penelitian ini adalah dapat membandingkan perilaku material lokal dan impor dalam menerima masukan panas. Tujuan utama tersebut dapat dicapai dengan melakukan :



- a. Melakukan pengelasan dengan variasi *heat input* (variasi arus) pada masing-masing material dengan variasi 3 *heat input*.
- b. Melakukan pengujian X-ray, pengukuran besar *angular distortion*, pengujian tarik, impact test, dan pengujian kekerasan.
- c. Melakukan analisa atas data hasil pengujian.

#### I.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

- Pihak galangan :
  - Dapat dijadikan acuan dalam perencanaan proses pengelasan konstruksi kapal.
  - Dapat meminimalisasi terjadinya perubahan bentuk akibat proses pengelasan.

#### I.5. Batasan Masalah

Untuk lebih mengarahkan analisis sehingga tujuan yang ingin dicapai dapat diperoleh maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

- a. Percobaan dilakukan untuk satu macam ketebalan.
- b. Proses las yang digunakan adalah las busur rendam otomatis penuh.
- c. Jenis sambungan tumpul (butt joint) posisi flat (1G).
- d. Masukan panas (*heat input*) pengelasan divariasikan tiga harga.
- e. Parameter-parameter lain selain arus dibuat konstan untuk semua variasi.



- f. Proses pemotongan spesimen dan proses pengelasan dilaksanakan di bengkel fabrikasi dan sub-assembly Divisi Kapal Perang PT.PAL Indonesia.

### I.6. Metode Penulisan

Metode yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini meliputi:

- a. Tinjauan Pustaka

Tahap ini bertujuan merangkum teori-teori dasar yang akan digunakan sebagai acuan pelaksanaan tahap-tahap berikutnya.

- b. Proses Pengelasan

Pada tahap ini proses pengelasan dilakukan dengan variasi masukan panas (heat input).

- c. Pengujian Hasil Pengelasan

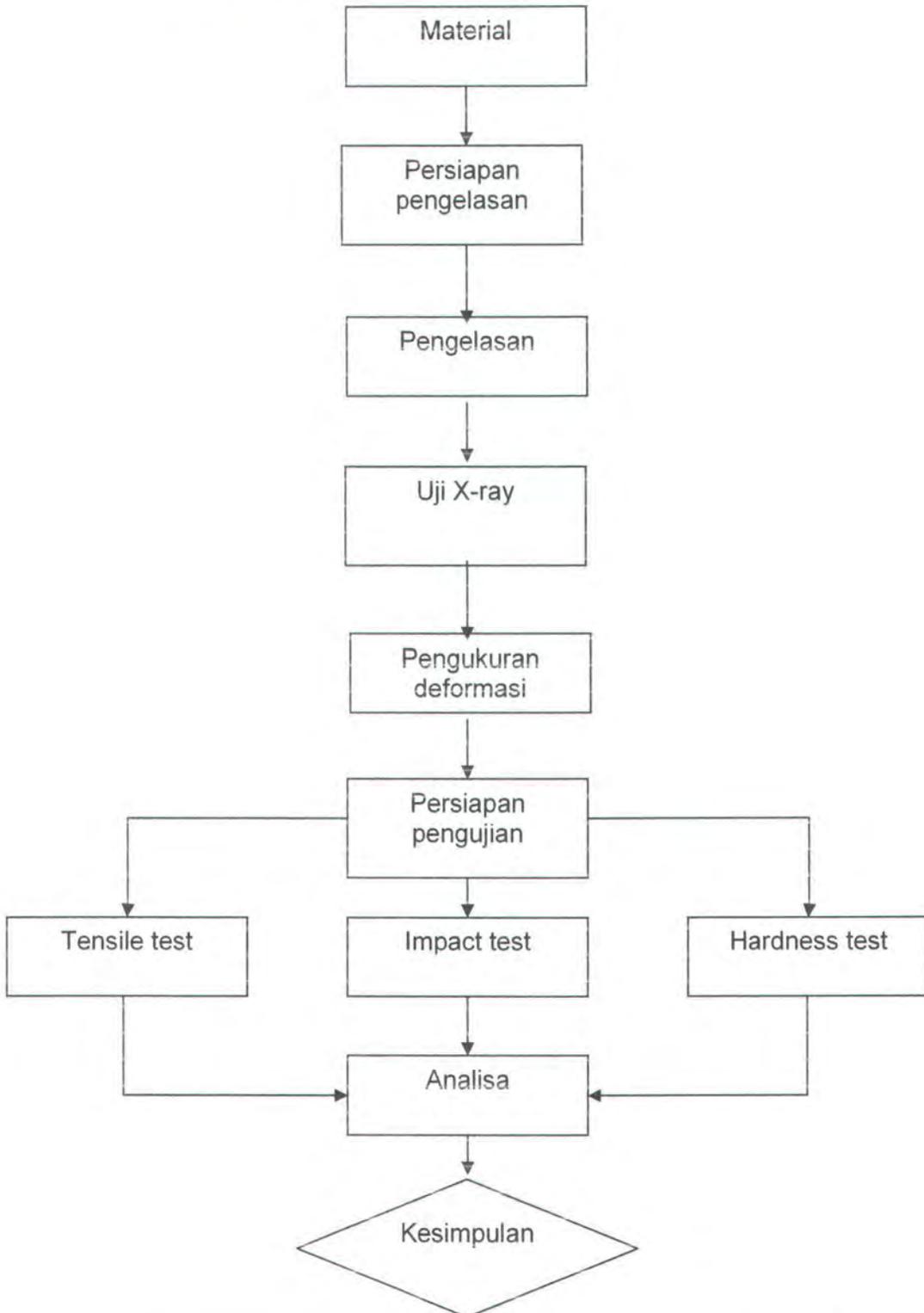
Pada tahap ini kemudian dilakukan pengujian x-ray, pengukuran deformasi, pengujian tarik, pengujian impact, dan uji hardness.

- d. Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan proses analisa atas data-data hasil pengujian untuk memperoleh material mana yang dapat menerima heat input yang tinggi tanpa mengurangi kekuatannya.



Adapun urutan dari metodologi dan model analisis dapat dilihat pada diagram berikut:





## I.6. Sistematika Laporan

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini mencakup latar belakang, tujuan dan manfaat, permasalahan, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika laporan Tugas Akhir.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka mengenai pengelasan dan parameter pengelasan serta metalurgi las, sifat-sifat material *baja karbon*.

### BAB III PENGELASAN DAN PENGUJIAN

Bab ini berisi detail persiapan spesimen uji, proses pengelasan, dan pengujian.

### BAB IV ANALISA HASIL PENGUJIAN

Bab ini berisi analisa data-data hasil pengujian X-ray, pengukuran deformasi, pengujian tarik, uji impact, uji makroetsa, dan uji hardness.

### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi jawaban atas permasalahan yang telah diuraikan pada bab I serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.



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



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. TEORI PENGELASAN

Teknologi pengelasan dewasa ini telah berkembang dengan pesat demi memenuhi tuntutan terhadap kualitas produk yang semakin tinggi. Pengelasan dilakukan untuk menyambung dua bagian logam menjadi satu, tanpa mengurangi kekuatan dan bentuk dari material logam tersebut. Selain itu pengelasan cukup ekonomis dan efisien karena cara penyambungannya dengan cara tetap artinya tidak mudah membongkar atau melepas kembali.

Pada waktu ini teknologi pengelasan telah digunakan secara luas dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan menggunakan teknologi ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya sederhana, sehingga biaya keseluruhannya menjadi lebih murah. Dalam praktek, proses pengelasan sangat banyak ragamnya demikian pula dengan bentuk sambungan yang akan dilas, jenis kampuh manik las (weldment) dan posisi pengelasan yang akan dilakukan. Proses pengelasan dapat pula diterapkan dalam pengerjaan perbaikan (repair), pemotongan (cutting) dan pelapisan. Logam-logam yang mudah dilas biasanya mempunyai titik leleh yang tinggi yang kita sebut dengan logam komersil yang tidak tergantung dari





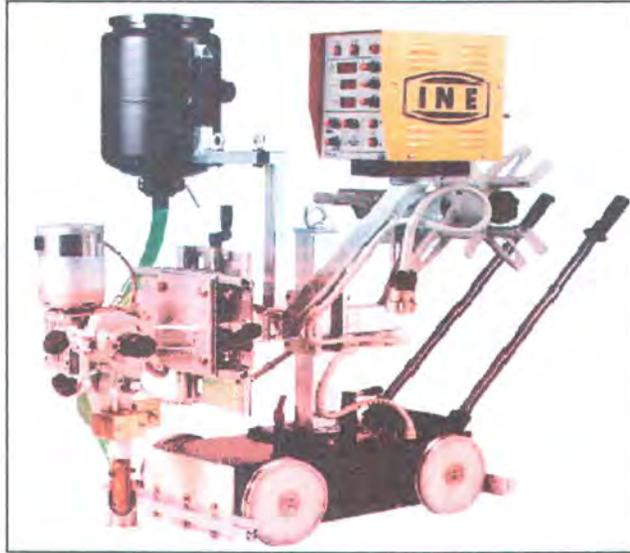
- Karena seluruh cairan tertutup oleh fluks maka kualitas daerah las sangat baik.
- Karena dapat digunakan kawat las yang besar maka arus pengelasan juga besar sehingga penetrasi cukup dalam dan efisiensi pengelasan tinggi.
- Karena kampuh las dapat dibuat kecil maka bahan las dapat dihemat.
- Karena prosesnya secara otomatis maka tidak diperlukan ketrampilan juru las yang tinggi dan perubahan-perubahan teknik pengelasan yang dilakukan oleh *welder* tidak banyak pengaruhnya pada kualitas las.
- Karena busur yang tidak kelihatan maka penentuan pengelasan yang salah dapat menggagalkan seluruh pengelasan.
- Posisi pengelasan terbatas hanya pada posisi horisontal.
- Karena prosesnya otomatis maka penggunaannya lebih terbatas bila dibandingkan dengan las tangan atau semi otomatis.

Dari hal-hal seperti yang disebutkan di atas keadaan yang paling menguntungkan dalam pengelasan ini adalah besarnya arus yang dapat digunakan. Bila menggunakan beberapa elektroda dalam waktu yang bersamaan arus las dapat dinaikkan sampai kira-kira 3000 Ampere.

Karena dalam pengelasan ini busur listriknya tidak kelihatan maka sangat sukar untuk mengatur jatuhnya ujung busur. Di samping itu karena mempergunakan kawat elektroda yang besar maka sangat sukar untuk



memegang alat pembakar dengan tangan tepat pada tempanya. Karena kedua hal tersebut maka pengelasan selalu dilakukan secara otomatis penuh.



*Gambar 2.2: Salah satu tipe mesin SAW*

Mesin las otomatis pelaksanaannya bermacam-macam, salah satunya adalah jenis dengan kepala las dibawa oleh kereta yang berjalan melalui rel penuntun sepanjang garis las. Fluks yang diperlukan diumpankan melalui pipa penyalur dari penampung fluks yang juga terletak di atas kereta. Biasanya mesin las ini melayani satu elektroda saja, tetapi untuk memperbaiki efisiensi pengelasan kadang-kadang satu mesin melayani dua atau tiga elektroda.

Mesin las ini menggunakan sumber listrik arus bolak-balik yang lamban dan arus searah dengan tegangan tetap. Bila menggunakan listrik AC perlu adanya pengaturan kecepatan pengumpanan kawat las yang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan panjang busur yang diperlukan.





Hal ini dapat diatur dengan mengukur tegangan busur yang kemudian dipakai dasar untuk menentukan kecepatan pengumpanan kawat. Bila menggunakan sumber listrik arus searah dengan tegangan tetap kecepatan pengumpanan dapat dibuat tetap dan biasanya memakai polaritas balik. Mesin las dengan listrik DC ini kadang-kadang digunakan untuk mengelas pelat tipis dengan kecepatan tinggi atau untuk pengelasan dengan elektroda lebih dari satu.

Sifat-sifat daerah las yang dihasilkan dengan las busur rendam sangat dipengaruhi oleh kualitas logam induk, bahan dari kawat las dan fluks yang digunakan.

### 1) Jenis kawat las (filler metal)

Kawat-kawat las yang digunakan untuk las busur rendam mempunyai komposisi kimia yang berbeda-beda tergantung pada penggunaannya. Komposisi kimia dari beberapa kawat las ditabelkan dalam tabel 2.1. Secara kasar kawat-kawat tersebut dapat dibedakan berdasarkan kandungan Mangan (Mn) sebagai berikut:

- Kelompok Mn rendah: Kelompok ini mengandung Mn antara 0,2 sampai 0,8% dan biasanya digunakan bersama-sama dengan fluks jenis ikatan.
- Kelompok Mn sedang: Kandungan Mn dalam kawat las ini berkisar antara 0,8 sampai 1,8% dan biasanya digabungkan dengan jenis fluks leburan.



- Kelompok Mn tinggi: Kawat las ini berisi Mn antara 1,8 sampai 2,2% dan penggunaannya digabung dengan fluks jenis leburan. Kelompok ini dapat dipakai untuk berbagai penggunaan misalnya las lapis tunggal ( satu layer), las lapis banyak (multi layer), las tumpul, dan las sudut.

Tabel 2.1: Spesifikasi kawat las busur rendam (AWS A.517)

Klasifikasi	Komposisi Kimia Kawat Las (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Lainnya
EL 8	≤ 0,1	≤ 0,05	0,30-0,55	≤ 0,03	≤ 0,035	≤ 0,3	≤ 0,5
EL 8K		0,10-0,20					
EL 12	0,07-0,15	≤ 0,05	0,35-0,60				
EM 5K <sup>1)</sup>	≤ 0,06	0,40-0,70	0,90-1,40				
EM 12	0,07-0,15	≤ 0,05	0,85-1,25				
EM 12K		0,15-0,35					
EM 13M	0,07-0,19	0,45-0,70	0,90-1,40				
EM 15K	0,12-0,20	0,15-0,35	0,85-1,25				
E11 14	0,10-0,18	≤ 0,05	1,75-2,25				

<sup>1)</sup> EM 5K mengandung 0.05-0.15% Ti; 0.02—0.12%Zr; 0.05-0.15% Al. sedang lainnya tidak

Kawat untuk las busur rendam biasanya dibuat dengan garis tengah 2,4; 3,2; 4,0; 4,8; 5,6; 6,4 dan 8,0 mm. Berdasarkan efisiensi pengelasan, kawat yang banyak digunakan adalah kawat dengan diameter antara 4,0 sampai 6,4 mm. Hubungan antara besarnya arus yang diijinkan dengan ukuran kawat ditunjukkan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2: Diameter kawat las dan besar arus

Diameter kawat las (mm)	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,0
Besar arus (ampere)	< 100	200-500	250-800	500-1100	700-1600	> 1000



### 2) Jenis fluks

Dalam las busur rendam digunakan dua macam fluks yaitu jenis leburan dan jenis ikatan. Jenis leburan dibuat dari bijih yang dicairkan lebih dahulu dan kemudian ditumbuk. Dengan menggunakan fluks jenis ini tidak ada unsur-unsur paduan dalam fluks yang dapat masuk ke dalam logam cair, karena itu kawat las yang digunakan harus sudah mengandung unsur paduan yang diperlukan. Besar butir serbuk fluks juga mempengaruhi hasil pengelasan. Dengan arus yang sama besar, fluks dengan butir yang lebih halus akan menghasilkan penetrasi yang lebih dangkal dan menghasilkan permukaan manik las yang lebih rata.

Jenis fluks ikatan dibuat dari serbuk bijih dan serbuk paduan yang dicampur dengan natrium silikat dan dijadikan adonan yang kemudian dibakar pada suhu rendah sehingga terjadi peleburan. Selama proses pembuatan ini unsur-unsur untuk deoksidasi ditambahkan bersama-sama dengan unsur-unsur paduan yang diperlukan untuk menjaga kualitas hasil pengelasan. Dengan fluks jenis ini sifat mampu las menjadi lebih baik bila arus las melebihi 1000 Ampere. Bila dibandingkan dengan jenis leburan, penetrasi dari jenis ikatan lebih dangkal dan manik las yang terbentuk menjadi lebih besar.



### II.1.2. Parameter-parameter pada Las Busur Rendam

Dalam pengelasan las busur listrik terendam daerah penggunaan arusnya sangat luas, sehingga pengaturan parameter lainnya harus tepat dan sesuai penggunaan. Berikut diterangkan beberapa parameter atau kondisi pengelasan yang penting:

1) Tegangan busur

Tegangan busur yang rendah akan menghasilkan penembusan yang dalam dan manik buah pir. Tegangan yang tinggi akan menghasilkan penembusan yang kurang dalam dan manik yang datar yang beresiko mengakibatkan retak tegang. Tegangan yang tinggi juga membutuhkan fluks yang lebih banyak.

2) Besar arus las

Arus las memberikan pengaruh paling besar pada penembusan dan penguatan. Arus yang terlalu rendah akan menghasilkan penembusan dan kekuatan yang rendah, dan jika terlalu besar akan menghasilkan manik seperti buah pir dan mudah terjadi retak panas.

3) Kecepatan pengelasan

Kecepatan las yang rendah akan menyebabkan pencairan yang banyak dan pembentukan manik datar yang dapat menyebabkan terjadinya lipatan manik. Sedangkan kecepatan yang tinggi akan menurunkan lebar manik dan menyebabkan terjadinya bentuk manik yang cekung dan takik.



#### 4) Kedudukan, kemiringan dan diameter kawat las

Untuk menjamin penembusan yang baik, sumbu kawat harus pada sumbu alur. Untuk memudahkan pengawasan, biasanya pada ujung pembakar dipasang semacam jarum yang dapat mengikuti garis sumbu alur.

Kemiringan kawat berpengaruh pada kedalaman penembusan dan bentuk manik. Bila kawat membentuk sudut mundur maka akan terjadi penembusan yang dalam dan manik yang sempit. Sebaliknya jika kawat membentuk sudut maju penembusan akan dangkal dan manik yang lebar. Mode kedua ini direkomendasikan untuk pengelasan dengan kecepatan tinggi.

Pada kedudukan tegangan dan arus yang tetap, kawat dengan diameter kecil akan memberikan busur yang padat dan tajam yang menyebabkan terjadinya penetrasi yang dalam dan bentuk manik yang sempit.

#### 5) Pemilihan fluks dan kawat las

Fluks dan kawat las memiliki peran yang sangat penting dan saling mempengaruhi sehingga pemilihan kedua bahan ini harus dilakukan bersamaan dengan memperhatikan sifat-sifat bahan induk, kualitas sambungan, keadaan permukaan, geometri sambungan dan lain-lain.

Pemilihan jenis fluks berkaitan dengan tinggi pelepasan fluks yang diusahakan tidak mengakibatkan gas yang terbentuk mudah berdifusi dan menyebabkan busur yang terbuka.



## II.2. Kecepatan Pengelasan, Arus Las, dan Hasil Pengelasan

Karena siklus pemuaiian panas dan pendinginan yang rumit terjadi selama proses las dan karena dibutuhkan waktu untuk pendistribusian panas maka waktu (time) menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya perubahan bentuk yang akan terjadi. Pada umumnya selalu diusahakan agar proses las cepat selesai sebelum volume metal di sekitar lasan yang terpengaruh panas dan memuai menjadi semakin besar. Dengan berkurangnya waktu pengelasan, besarnya metal yang mendapat pengaruh panas menjadi kecil dan tentu saja perubahan bentuk yang terjadi menjadi kecil.

Untuk tujuan di atas digunakan cara-cara sebagai berikut: penggunaan *iron-powder manual elektrode* dan mesin-mesin las *semi-automatic* dan *full-automatic*.

Pengalaman telah membuktikan bahwa kecepatan las dan perubahan bentuk adalah berbanding terbalik. Seperti yang dituliskan Prof.Dr.Ir.Harsono Wirjosumarto (2000) sebagai berikut:

Pada umumnya dalam pelaksanaan kecepatan selalu diusahakan setinggi-tingginya tetapi masih belum merusak kualitas manik las. Pengalaman juga menunjukkan bahwa makin tinggi kecepatan makin kecil perubahan bentuk yang terjadi.

Tetapi beberapa penelitian menunjukkan bahwa kecepatan yang terlalu tinggi tidak menghasilkan manik las yang berkualitas baik. Hubungan kecepatan pengelasan, arus las dan kualitas manik las dijelaskan oleh Houlcroft (1989) sebagai berikut:

For a given flux, arc stability is lost below a minimum current density so if the current for a given electrode diameter is too low a ragged irregular bead



is obtained. Too high a current density also leads to instability because the electrode overheats. Undercutting may also occur

dan,

Bead size is inversely proportional to welding speed at the same current. Higher speed reduces bead width, increases the likelihood of porosity, produces undercutting and irregular beads (if taken to the extreme).

Kecepatan yang tinggi juga menyebabkan pendinginan menjadi cepat.

Pendinginan yang cepat mengakibatkan HAZ menjadi keras.

### II.3. Cacat-cacat Akibat Proses Pengelasan

Cacat (defect) dalam pengelasan dapat berakibat struktur tidak cukup kuat untuk menerima beban kerja. Di antara cacat-cacat las yang paling sering ditemui adalah: retak (*crack*), *incomplete penetration*, *incomplete fusion*, *undercut*, serta bentuk dan dimensi yang tidak sesuai dengan gambar kerja. Biasanya, cacat terjadi karena tidak dilaksanakannya persiapan pengelasan dan atau teknik pengelasan yang benar.

Gower (1974) membagi bermacam-macam cacat tersebut dalam dua kategori: (1) Cacat dimensi (*dimensional defect*) dan (2) Cacat struktur (*structural defect*). Masing-masing cacat disebabkan oleh satu atau banyak faktor.

#### 1) Cacat Dimensi

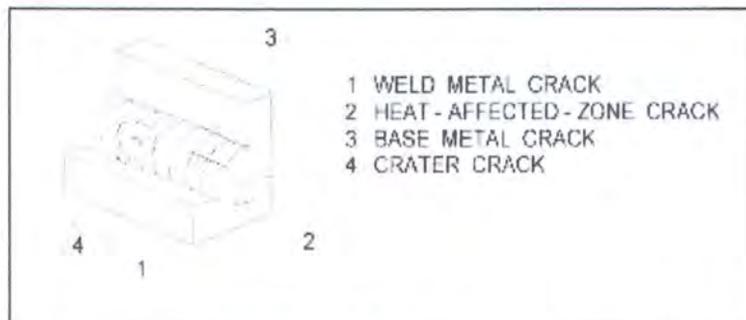
Jika persiapan sambungan, ukuran las, dan atau bentuk lasan berbeda dengan gambar kerja (*blueprint*) dikatakan lasan mengalami cacat dimensi. Demikian juga jika terjadi *angular distortion*, meskipun lasan bagus, maka lasan tetap dinyatakan cacat.



### 2) Cacat Struktur

Cacat struktur meliputi retak permukaan dan retak dalam daerah las serta cacat-cacat yang lain yang akan dibahas secara terpisah berikut ini:

- *Crater crack*; adalah retak yang terletak dalam kawah di akhir pengelasan. Jenis cacat ini bisa ditemui pada permukaan maupun di dalam daerah las. Meskipun biasanya relatif kecil, cacat ini dapat berakibat fatal karena dapat menimbulkan konsentrasi tegangan pada daerah lasan. *Crater crack* terjadi karena: pengendalian busur las dan *filler metal* yang kurang baik serta penggunaan *filler* yang salah.



Gambar 2.3: Tipe-tipe retak

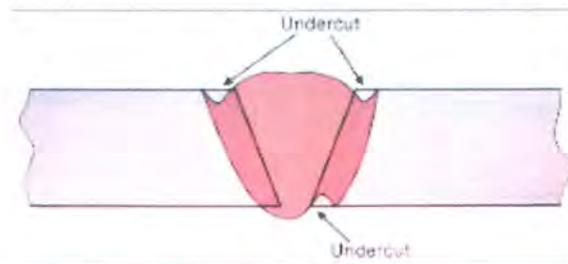
- *Longitudinal crack*; jenis retak ini memanjang sejajar dengan kampuh las. Retak memanjang bisa terjadi pada kawah lasnya atau pada *base metal* di tepi kampuh las. Cacat ini biasa juga disebut *bead crack* (retak kawah) dan biasanya ditemukan pada pengelasan material yang keras. Umumnya disebabkan oleh penggunaan *filler metal* yang salah, ketidaksempurnaan



perencanaan sambungan, persiapan sisi yang kurang baik atau pemasangan *clamp* yang kurang baik.

- *Undercut*; adalah cacat berupa lekuk atau alur pada *base metal* di sisi kampuh las. *Undercut* dapat membahayakan daerah lasan karena mengurangi luasan penampang lasan dan menimbulkan konsentrasi tegangan pada sambungan.

Cacat ini disebabkan oleh: Pengendalian busur, *filler metal*, atau elektroda yang kurang baik, sudut pengelasan yang tidak tepat, penggunaan panas atau arus yang terlalu besar atau penentuan kecepatan pengelasan yang salah. Pada pengelasan manual *undercut* dapat terjadi karena kecepatan pengelasan yang terlalu rendah, sedangkan pada pengelasan otomatis terjadi karena kecepatan pengelasan yang terlalu tinggi.

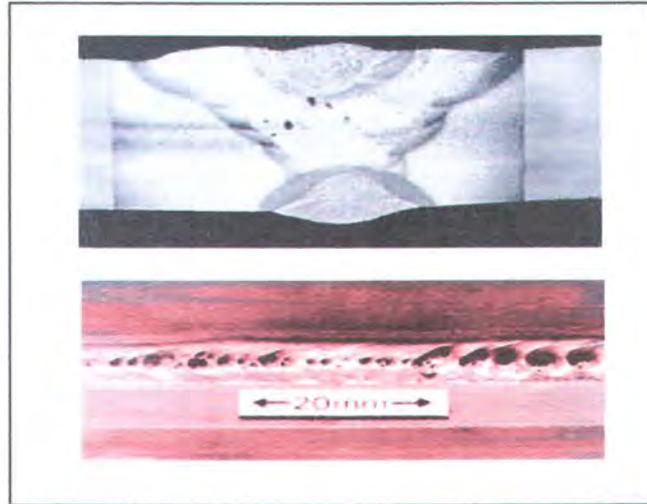


Gambar 2.4: *Undercut*

- *Porosity*; cacat ini disebabkan oleh kantung gas atau lubang pada logam las. Biasanya *porosity* terjadi karena adanya benda asing (uap air, minyak, pelumas) yang terjebak dalam kawah las. Benda-benda asing itu kemudian menguap karena panas saat proses pengelasan terjadi. Selanjutnya uap akan menjadi



gelembung gas pada kawah las. Benda asing atau kotoran sering kali berasal dari *filler metal* atau elektroda yang kotor akibat penanganan atau penyimpanan yang salah. Kotoran dapat juga timbul karena pembersihan *base metal* yang kurang baik.



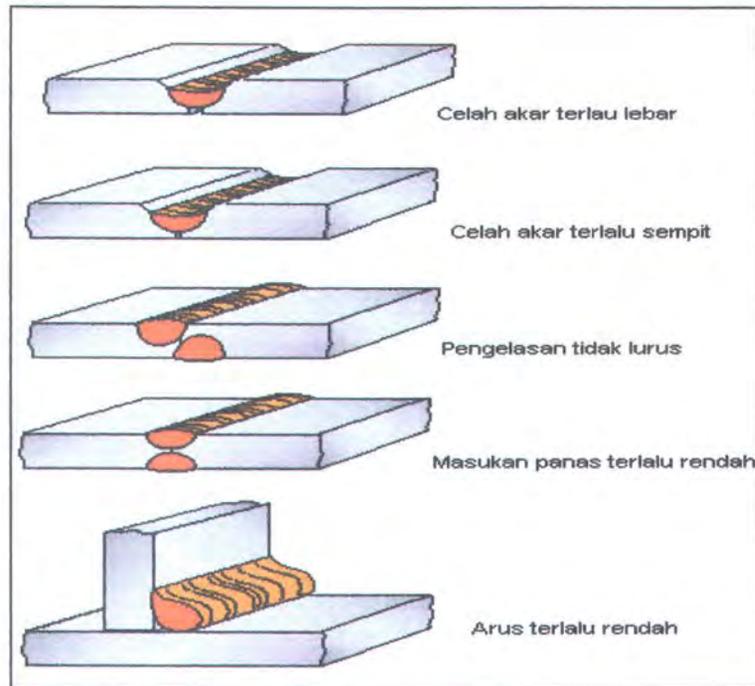
Gambar 2.5: Porosity

*Porosity* yang hanya berdimensi kecil tidak terlalu menjadi masalah pada kekuatan struktur tapi akan berakibat fatal jika ukurannya cukup besar.

- *Incomplete penetration*; pada pengelasan satu sisi cacat ini terjadi jika las tidak menembus *base metal* dengan sempurna. Sedangkan pada pengelasan dua sisi dikatakan *incomplete penetration* jika las dari kedua sisi tidak saling menembus. Cacat ini merupakan jenis cacat yang sangat berbahaya karena mengakibatkan konsentrasi tegangan pada lasan dan menjadi penyebab kerusakan yang lebih parah. Pada *butt weld*, cacat



ini biasanya disebabkan oleh: penggunaan panas yang terlalu rendah, jarak celah akar yang salah, persiapan sisi yang kurang baik, ketidaklurusan layer permukaan dan layer balik (misplaced welding), atau kecepatan pengelasan yang terlalu tinggi.



Gambar 2.6: Berbagai bentuk incomplete penetration

- *Incomplete fusion*; terjadi jika peleburan antara *filler metal* dengan *base metal* tidak sempurna. Cacat ini biasanya disebabkan pembersihan daerah lasan yang tidak baik, perencanaan sambungan yang salah, persiapan sisi yang tidak sempurna, atau penggunaan teknik pengelasan yang salah. Cacat ini sulit dideteksi jika tanpa *destructive testing*.



#### II.4. Masukan Panas (heat input)

Masukan panas adalah besarnya energi panas yang diberikan busur las untuk mencairkan logam lasan. Energi panas pada busur las adalah berasal dari mesin las yang dikendalikan dengan mengatur parameter pengelasan pada mesin las. Parameter-meter mesin las yang menimbulkan energi panas tersebut adalah arus, tegangan dan elektrode. Besarnya masukan panas tergantung pada besarnya energi panas.

Apabila digunakan tegangan dan kecepatan pengelasan yang konstan maka besarnya arus pengelasan berbanding lurus dengan besarnya input yang diberikan. Hal ini sesuai dengan rumus :

$$Q = \frac{V \cdot A}{v}$$

di mana:

- Q = heat input (Joule/mm)
- V = tegangan (volt)
- A = kuat arus (Ampere)
- v = kecepatan pengelasan (mm/detik)

Besarnya energi panas yang digunakan tergantung pada proses pengelasan yang digunakan, misalnya pada las busur listrik dan las acitelyn. Pada las acitelyn misalnya, karena energi panas yang rendah, maka cenderung untuk memperlambat kecepatan pengelasan, dengan maksud agar dicapai temperatur puncak yang tinggi, karena perambatan panasnya lambat. Dimana tinggi rendahnya temperatur puncak dengan mengakibatkan penahanan pada struktur tertentu sehingga lebih menyempurnakan / mengurangi kesempatan bertransformasi. Pada las busur listrik, karena energi panasnya relatif tinggi maka kecepatan



perambatan panasnya lebih besar, sehingga temperatur puncak yang dicapai cukup tinggi / pencairan logamnya lebih cepat. Oleh karena itu pada las busur listrik kecepatan pengelasannya relatif lebih tinggi.

### II.5. SIFAT MEKANIK

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting dalam mempelajari tentang ilmu bahan atau material teknik, hal ini dikarenakan sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan untuk menerima suatu beban / gaya / energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan / komponen tersebut.

Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain adalah :

- Kekuatan ( Strength ) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam tergantung pada jenis beban yang bekerja, seperti kekuatan tarik, kekuatan torsi dan kekuatan lengkung.
- Kekerasan ( Hardness ) menyatakan kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggosoran, pengikisan, indentasi, atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus. Sifat ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
- Ketangguhan (Toughness ) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa menyebabkan kerusakan, juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja pada kondisi tertentu.



- Kelelahan ( Fatigue ) menyatakan kecenderungan suatu bahan untuk patah bila menerima beban berulang-ulang yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisnya, dan lain-lain.

### **II.6. PENGUJIAN MEKANIK**

Pengujian mekanik sangat diperlukan untuk mengetahui / mengukur sifat logam yang bersangkutan. Pengujian biasanya dilakukan terhadap sample bahan yang dipersiapkan menjadi test piece dengan bentuk dan ukuran yang standar. Demikian juga prosedur pengujian harus dilakukan dengan cara-cara yang standar (mengikuti suatu standar tertentu), baru kemudian dari hasil pengukuran pada pengujian diambil kesimpulan mengenai sifat mekanik yang diuji.

Beberapa pengujian mekanik yang banyak dilakukan adalah pengujian tarik (tensile test), pengujian kekerasan (hardness test), dan pengujian pukul takik (impact test).

#### **II.6.1. Pengujian Tarik**

Kekuatan tarik merupakan sifat mekanik logam yang penting. Kekuatan tarik suatu logam bahan dapat diketahui dengan menguji tarik bahan tersebut. Pada pengujian tarik spesimen dikenai beban uji aksial yang semakin besar secara kontinyu. Bahan yang akan diuji tarik mula-mula dibuat menjadi batang uji dengan bentuk yang sesuai dengan standar, dimana bagian tengah dari batang uji tersebut merupakan bagian yang menerima tegangan yang uniform.



Data yang diperoleh oleh mesin tarik dinyatakan dengan grafik beban pertambahan panjang (grafik  $P-\Delta L$ ), dimana dari grafik ini dapat digunakan untuk mendapatkan diagram tegangan-regangan (stress-strain diagram), dimana besarnya tegangan yang bekerja pada saat batang uji menerima beban adalah sebesar :

$$\sigma = P/A_0, \text{ dimana :}$$

$$\sigma = \text{Tegangan (kg/mm}^2\text{)}$$

$$P = \text{beban (kg)}$$

$$A_0 = \text{Luas penampang batang uji mula-mula}$$

Selain itu pada saat tersebut terjadi juga regangan yang besarnya :

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 = (L - L_0)/L_0, \text{ dimana}$$

$$L_0 = \text{Panjang batang uji mula-mula (mm)}$$

$$L = \text{Panjang batang uji setelah menerima beban (mm)}$$

Diagram tegangan-regangan terbagi atas dua daerah yaitu daerah elastis dan daerah plastis. Batas dari kedua daerah tersebut adalah batas elastik, namun hal ini tidak praktis karena batas untuk daerah tersebut sulit dicari, sehingga digunakan titik yield (yield point) sebagai batas antara daerah elastis dan daerah plastis. Pada logam-logam yang ulet titik yield dapat diketahui dengan jelas, tetapi pada logam-logam yang getas titik



yield ini tidak tampak dengan jelas dan bahkan sama sekali tak terlihat sehingga untuk mencarinya digunakan metode offset dimana yield dianggap mulai terjadi jika pada material sudah timbul regangan plastis sebesar 0,2 %. Secara grafik, offset *yield strength* dapat dicari dengan menarik garis sejajar dengan garis elastis dari titik regangan 0,2 % hingga memotong kurva titik perpotongan ini menunjukkan titik yield.

### II.6.2. Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan, indentasi atau abrasi. Untuk mengetahui tingkat kekerasan daripada material maka dilakukan pengujian kekerasan (*hardness test*). Hasil pengujian kekerasan ini tidak dapat langsung digunakan dalam desain seperti halnya pengujian tarik, namun demikian pengujian kekerasan banyak dilakukan, sebab hasilnya dapat dilakukan sebagai berikut :

- Pada bahan yang sama dapat diklasifikasikan berdasarkan kekerasannya. Dengan kekerasan tersebut dapat ditentukan penggunaan dari bahan tersebut.
- Sebagai kontrol kualitas suatu produk, seperti mengetahui homogenitas akibat suatu proses pembentukan dingin, pemaduan dan *heat treatment*, *case hardening* dan sebagainya.



Dengan demikian dapat juga dikatakan sebagai kontrol terhadap proses yang sedang dilakukan.

Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang terstandar yang digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan logam, yaitu pengujian brinell, Rockwell, Vickers, Meyers dan lain-lain.

### II.6.2.1 Pengujian Brinell

Pada pengujian kekerasan brinell ini dilakukan penekanan pada material menggunakan bola baja yang telah dikeraskan dengan diameter  $D$  dan pembebanan  $P$ . Penekanan ini dilakukan selama waktu tertentu (antara 10 sampai 30 detik). Akibat dari penekanan tersebut pada permukaan material uji akan terbentuk tapak tekan yang berbentuk tembereng bola. Kekerasan brinell ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$BHN = \frac{\text{Loadmass}}{\text{IndentedArea}}$$

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}}$$

dimana :

$P$  = beban yang dikenai pada material uji

$D$  = diameter bola



$d$  = diameter tembereng bola

Kekurangan dari pengujian kekerasan brinell ini adalah pengujian ini akan mengakibatkan terjadinya indentasi yang cukup besar, karena itu biasanya tidak digunakan pada permukaan finished product dan benda yang kecil/tipis. Selain itu brinell tidak menuntut kehalusan permukaan yang terlalu tinggi dan pengukuran tapak tekan dilakukan secara manual, sehingga akan memakan waktu dan memberi peluang untuk terjadinya kesalahan pengukuran.

### II.6.2.2 Pengujian Rockwell

Pengujian kekerasan rockwell ini menggunakan beban dan indenter yang lebih kecil dibandingkan dengan pengujian kekerasan brinell. Pengujian kekerasan ini banyak digunakan oleh industri dikarenakan pelaksanaannya yang lebih cepat dengan hasil yang akurat, hal ini disebabkan pengukuran dilakukan oleh mesin dan mesin langsung menunjukkan angka kekerasan dari material uji.

Pada cara rockwell mula-mula permukaan logam ditekan oleh indenter dengan beban 10 kg sehingga ujung indenter menembus permukaan material sedalam  $h$ , penekanan tersebut diteruskan dengan memberikan beban major selama beberapa saat, kemudian beban utama dilepas, hanya tinggal beban awal, pada saat ini kedalaman ujung penetrasi indenter adalah  $h_1$ . Angka kekerasan Rockwell ini tidak bersatuan tetapi didahului dengan huruf depan yang menyatakan kondisi pengujian, untuk



logam biasanya digunakan skala B atau skala C dan angka kekerasannya dinyatakan dengan  $R_b$  dan  $R_c$ , angka kekerasan  $R_b$  dan  $R_c$  ini dinyatakan sebagai kedalaman indentasi ( $h_1$ ).

Kelebihan dari pengujian kekerasan Rockwell ini adalah pengukurannya lebih cepat dan akurat, disamping itu pengujian ini hanya menimbulkan bekas yang sangat kecil sehingga tidak mengakibatkan cacat pada permukaan. Sedangkan kekurangan dari pengujian kekerasan Rockwell ini adalah pengujian ini tidak baik bila digunakan pada bahan yang tidak homogen dan pengujian ini memerlukan persiapan material uji yang sangat teliti, dimana persiapannya hampir sama seperti pengujian metallurgy.

### II.6.2.3 Pengujian Vickers

Prinsip dasar pengujian kekerasan vickers ini sama dengan pengujian brinell, hanya saja indentor yang digunakan adalah indentor intan yang berbentuk piramida beraturan dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan  $136^\circ$ . Tapak tekan yang terjadi berbentuk bujur sangkardan pengukuran dilakukan dengan mengukur panjang kedua diagonalnya untuk kemudian diambil nilai rata-ratanya untuk digunakan mencari nilai kekerasan Vickers. Angka kekerasan Vickers dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :





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

$$HV = \frac{1,854P}{d^2}$$

dimana :

P = gaya tekan (kg)

d = diagonal tapak tekan rata-rata

$\alpha$  = sudut puncak indenter =  $136^0$

Hasil pengujian ini tidak tergantung pada besarnya gaya tekan dalam artian dengan gaya tekan yang berbeda akan menunjukkan hasil yang sama untuk bahan yang sama. Dengan demikian Vickers dapat mengukur kekerasan bahan mulai dari yang sangat lunak sampai yang amat keras tanpa harus mengganti gaya tekan. Besarnya gaya tekan dapat dipilih antara 1 sampai 120 kg, tergantung pada ketebalan material uji agar diperoleh tapak tekan yang mudah diukur.



Kelebihan dari pengujian kekerasan Vickers ini adalah pada pengujian ini dapat diukur kekerasan bahan dari yang ter lunak sampai yang sangat keras tanpa harus terpengaruh oleh besarnya gaya tekan yang dipakai, karena hanya ada satu skala saja maka akan dengan sangat mudah untuk membandingkan nilai kekerasan material yang satu dengan yang lain. Sedangkan kerugian dari pengujian Vickers ini adalah pada pengujian ini pengukuran tapak tekan dilakukan secara manual, sehingga akan memakan waktu dan memungkinkan terjadinya kesalahan pengukuran. Selain itu pengujian Vickers ini sangat sensitive terhadap kekasaran permukaan sehingga diperlukan persiapan dalam menghaluskan permukaan material yang akan diuji.

### **II.6.3 Pengujian Impact**

Impact test dapat diartikan sebagai suatu test yang mengukur ketangguhan atau kekenyalan dari suatu material ; yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadinya patahan. Pada pengujian ini digunakan material uji yang bertakik yang dipukul dengan sebuah bandul. Pada pengujian ini digunakan sebuah mesin dimana terdapat suatu batang yang pada ujungnya dipasang pemukul yang diberi pemberat yang dapat berayun dengan bebas. Material uji diletakkan dibagian bawah mesin dan takikan tepat pada bidang lintasan pemukul. Ada dua metode pengujian yang digunakan dalam pengujian ini yaitu



metode Charpy dan metode Izod. Pada metode Izod penjepitan material uji dilakukan pada salah satu ujungnya sehingga posisi takikan berada didekat penjepitnya, bandul / pemukul yang diayunkan akan memukul ujung yang lain dari arah takikan. Pada metode Charpy material uji diletakkan mendatar oleh penahan yang berjarak 40 mm, bandul akan memukul batang uji tepat dibelakang takikan.

Pada pengujian ini pemukul dinaikkan setinggi  $H$ , dari posisi tersebut pemukul dilepaskan dan berayun bebas memukul material uji hingga patah, namun pemukul masih berayun setinggi  $H_1$ , energi untuk mematahkan material uji adalah selisih antara energi awal yaitu energi saat pemukul berada pada ketinggian  $H$  dengan energi akhir yaitu energi pada saat pemukul berayun setinggi  $H_1$ .

Hasil pengukuran pada impact test ini masih tidak dapat digunakan untuk keperluan perhitungan suatu desain. Hasil pengukuran ini hanya dapat digunakan sebagai pembanding sifat ketangguhan suatu material yang satu dengan yang lainnya, hal ini dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi impact strength yang tidak dapat dicari korelasinya antara kondisi pengujian dengan kondisi di lapangan. Untuk mempelajari pola patahan yang terjadi pada material uji maka dilakukan pengamatan visual pada permukaan patahan. Patahan getas tampak berkilat dan berbutir sedangkan untuk patahan ulet tampak lebih suram dan berserabut, sedangkan keuletan dari material ditunjukkan dengan prosentase pengecilan penampang pada patahan. Bentuk dan ukuran material uji



impact ini antara lain bentuk material penampang material uji berbentuk bujur sangkar dengan dimensi 10 x 10 mm dengan bentuk takikan V atau bentuk U, takikan bentuk V biasanya digunakan pada logam-logam yang dianggap ulet sedangkan untuk logam yang getas menggunakan bentuk takikan U.

## II.7. Baja Dalam Pengelasan

### II.7.1. Pendahuluan

Besi dan baja merupakan jenis logam yang paling banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Bahan ini telah banyak sumbangannya terhadap perkembangan budaya manusia. Beberapa hal yang membuat jenis logam ini banyak digunakan oleh manusia (Suherman, 1987), antara lain:

- Jumlahnya di alam yang cukup melimpah dalam bentuk oksida atau sulfida dalam bijih besi.
- Mempunyai sifat mekanik (kekuatan, keuletan dll) yang memadai.
- Mudah dikerjakan baik dengan forming maupun dengan machining, sehingga mudah dibuat menjadi barang yang berguna bagi manusia.
- Harganya relatif murah, dll.

Baja adalah jenis logam yang paling banyak digunakan dan pada dasarnya baja merupakan paduan besi dan karbon dengan sedikit unsur



lain (plain carbon steel). Bila baja itu mengandung unsur lain dalam jumlah yang cukup besar sehingga akan merubah sifat dari baja tersebut maka baja itu dinamakan baja paduan (alloy steel).

Di pasaran banyak terdapat berbagai jenis baja sehingga untuk memudahkan dalam pemilihannya perlu diadakan klasifikasi, dalam hal ini pengelompokannya dapat dilakukan menurut kekuatannya, komposisi kimia, struktur dan lain-lain.

### II.7.2. Klasifikasi baja Karbon

Baja karbon (plain carbon steel) adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit unsur-unsur tambahan seperti Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon ini sangat dipengaruhi oleh kadar karbon yang terdapat pada baja tersebut, kandungan karbon yang tinggi akan meningkatkan sifat kekerasannya dan juga akan menaikkan tegangan tariknya, disisi lain dengan tingginya kadar karbon yang dimiliki akan menurunkan keuletan dan sifat mampu lasnya (Wiryosumarto dan Okumura, 1996).

Karena sangat dipengaruhi oleh kadar karbon tersebut, maka baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Kasan 2000), antara lain :

1. *Dead Mild Steel*, mengandung 0,05 ~ 0,15 % C.
2. *Mild Steel*, mengandung 0,10 ~ 0,30 % C.
3. *Medium Carbon Steel*, mengandung 0,30 ~ 0,60 % C.
4. *High Carbon Steel*, mengandung 0,60 ~ 0,90 % C.



### 5. *Tools Steel* , mengandung 0,90 ~ 2 % C.

Secara umum, kenaikan kandungan karbon dalam baja, walaupun hanya sedikit, akan mempengaruhi sifat baja tersebut, antara lain :

1. Titik leleh baja akan menjadi lebih tinggi dan tahan panas.
2. Baja akan menjadi lebih keras dan kurang mudah dimachining.
3. Kekuatan tarik bertambah dan *ductility* turun.
4. Sifat mampu las turun.

Yang tergolong baja karbon rendah adalah *dead mild steel* dan *mild steel*. Sedangkan yang tergolong pada baja karbon sedang adalah *medium carbon steel*. Sementara itu *high carbon steel* dan *tool steel* tergolong pada baja karbon tinggi.

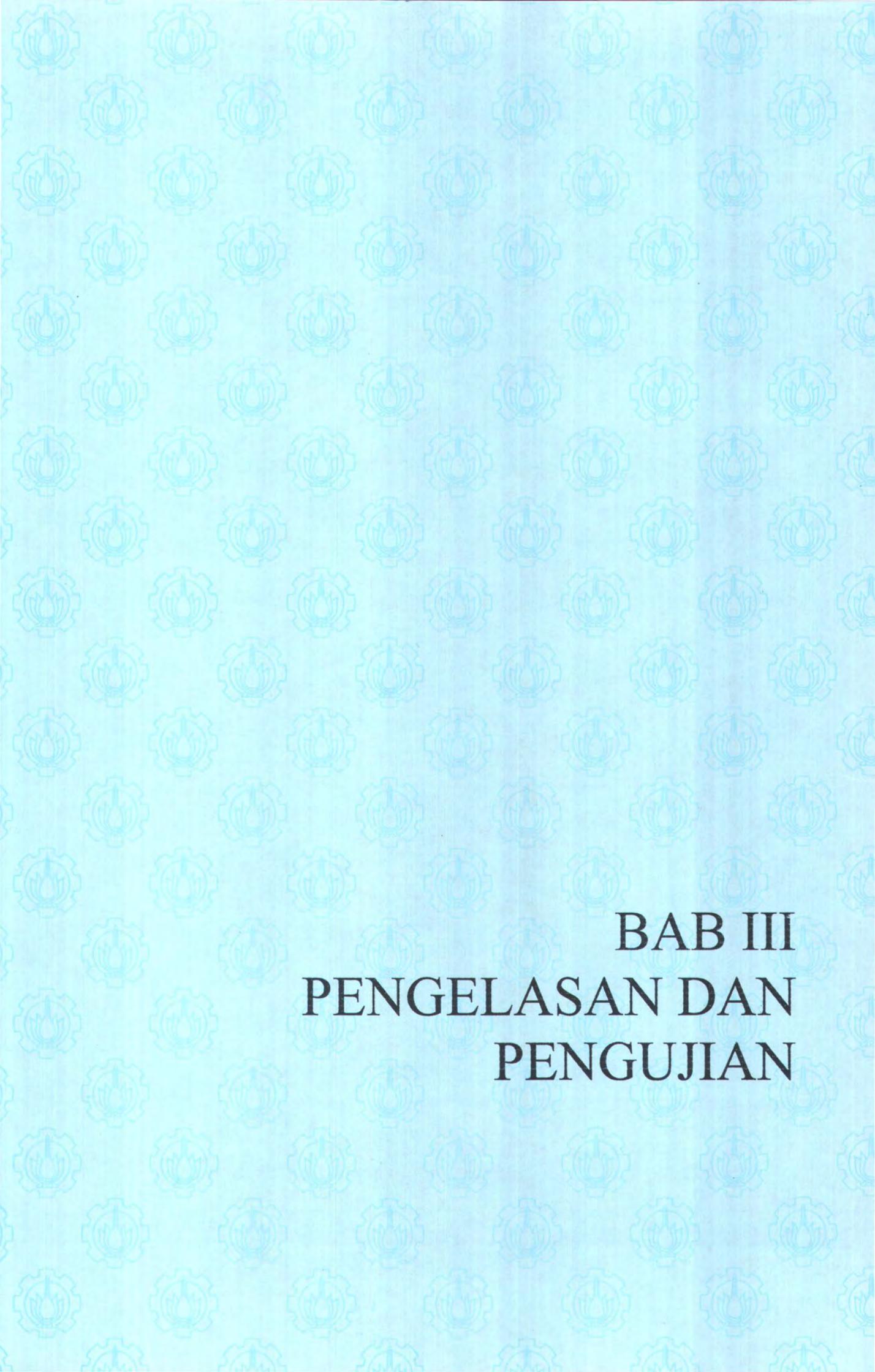
Baja karbon rendah banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak, tapi mempunyai keuletan yang tinggi, mudah dimachining. Baja ini tak bisa dikeraskan kecuali dengan hardening. Baja karbon ini dibagi lagi dalam baja kil, baja semi kil dan baja rim, dimana penamaannya didasarkan atas persyaratan deoksidasi, cara pembekuan dan distribusi rongga atau lubang halus didalam ingot.

Baja karbon sedang lebih kuat dan keras dibandingkan dengan baja karbon rendah dan bisa dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah, tetapi dikhususkan pada struktur yang



membutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi, misalnya konstruksi mesin, poros, roda gigi dan rantai.

Baja dengan kekuatan yang lebih tinggi, lebih keras, tapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang rendah adalah ciri dari baja karbon tinggi. Baja ini sering digunakan untuk perkakas yang biasanya memerlukan baja tahan aus seperti mata bor, pahat, dll.



**BAB III**  
**PENGELASAN DAN**  
**PENGUJIAN**



## BAB III

### PENGELASAN DAN PENGUJIAN

#### III.1. Proses Pengelasan dengan Las Busur Rendam

##### III.1.1. Pendahuluan

Proses las yang dipilih adalah las busur rendam otomatis penuh (full automatic Submerged Arc Welding) dengan pertimbangan: Untuk menjaga agar parameter pengelasan sama dan untuk mengeliminir kesalahan yang dilakukan oleh *welder* dalam pekerjaan pengelasan manual (human error). Sehingga tingkat distorsi dan cacat yang timbul diasumsikan hanya akibat proses laku panas pengelasan saja. Faktor kecacatan lain di luar hal itu dianggap kecil sekali atau tidak ada.

Urutan pekerjaan pengelasan mulai pemotongan spesimen sampai dengan proses pengelasan dilakukan di bengkel fabrikasi dan *sub-assembly* Divisi Kapal Perang PT.PAL Indonesia.

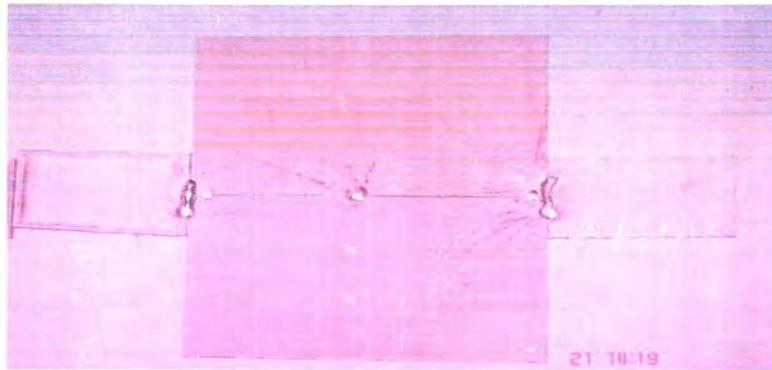
##### III.1.2. Persiapan Spesimen

Sebelum dilakukan proses pengelasan, dilakukan persiapan sebagai berikut :

1. Spesimen yang telah dibuat berdasarkan *detail design*, diletakkan pada meja las.



2. Untuk mempermudah proses las dilakukan las ikat pada spesimen.
3. Untuk memastikan spesimen mendapatkan panas yang stabil maka di awal dan di akhir spesimen ditambah dengan *tab plate* sepanjang 100 mm.



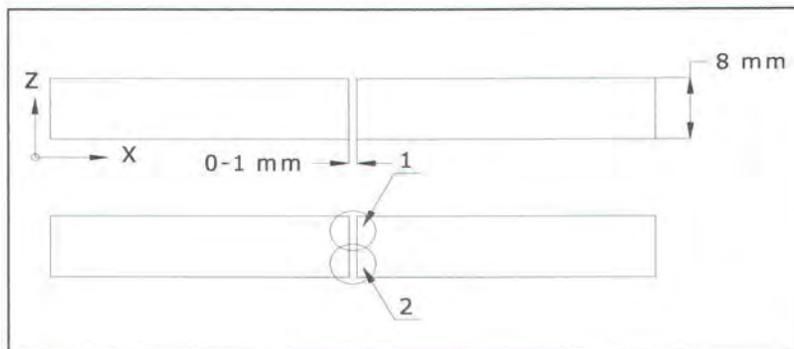
*Gambar 3.1. Spesimen dengan tab plate*



### III.1.3. Prosedur Pengelasan

Prosedur pengelasan dibuat dengan mengacu pada Welding Procedure Specification (WPS) No.02 PT. PAL Indonesia sebagai berikut:

Material	: ASTM A 131 / Grade A
Proses las	: SAW full automatic
Posisi	: Flat (1G)
Filler metal	: A5.17EL12 (OK 12.10)
Flux	: F7A0 – LR 2TM (OK 10.40)
Single/ multi layer	: multi layer
Single/multi arc	: single arc
Arus las	: DCEP
Temp. Preheat	: -



Gambar 3.2: Detail design



#### III.1.4. Spesifikasi Mesin Las

Mesin SAW yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Merk : OTC-AUTOMELT  
Model : SW-41  
Date : 2005  
Serial No. : U 1525YDU1211316  
Mass : 50 kg  
Made by : DAIHEN Corporation Japan



*Gambar 3.3: Mesin las SAW*

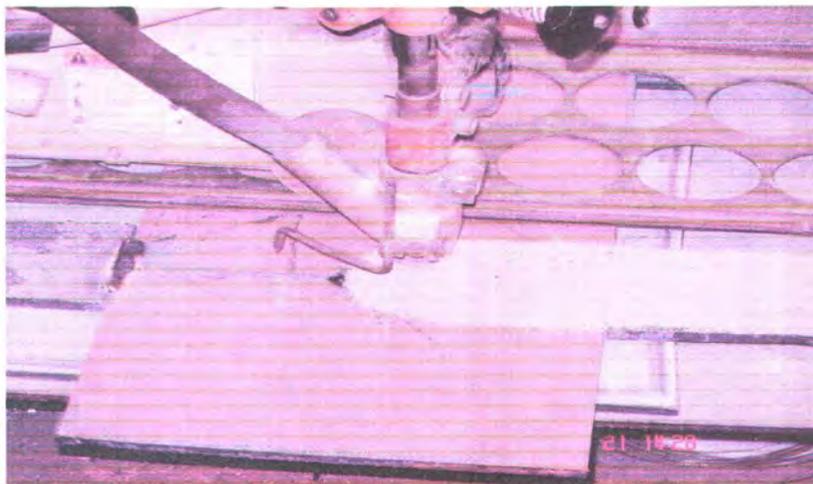


### III.1.5. Proses Pengelasan

Parameter arus pengelasan divariasikan masing-masing tiga harga. Untuk parameter yang lain dibuat sama. Pengelasan dilakukan dengan dua layer. Di mana kuat arus pada layer kedua dibuat lebih besar untuk menjamin *full penetration*. Selengkapnya harga parameter-parameter pengelasan untuk layer nomer 1 dan layer nomer 2 disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3.1: Parameter pengelasan

Spec . No.	Layer No.	Kuat Arus		Tegangan (Volt)	Kecepatan Las (cm/menit)
		Ampere	Typ.&Pol.		
1	1	400	DC	32	60
	2	450			
2	1	500	DC	32	60
	2	550			
3	1	600	DC	32	60
	2	650			



Gambar 3.4: Proses pengelasan



### III.1.6 Perhitungan Heat Input

Percobaan dilakukan dengan menaikkan *heat input* dari 1280 J/mm menjadi 1920 J/mm. Kenaikan *heat input* ini diharapkan akan dapat mengetahui perilaku material dalam menerima masukan panas.

Tabel 3.2 : Perhitungan heat input layer 1 dan layer 2

No. Spesimen	Tegangan (V)	Kuat Arus (A)	Power (P) V x A (Watt)	Kecepatan (v)		Heat Input P/v (J/mm)
				cm/menit	mm/detik	
1	32	400	12800	60	10	1280
		450	14400			1440
2	32	500	16000	60	10	1600
		550	17500			1750
3	32	600	19200	60	10	1920
		650	20800			2080



## **III.2. Persiapan dan Pembuatan Spesimen Uji**

### **III.2.1. Persiapan**

#### **III.2.1.1. Pendahuluan**

Material yang telah dilas dilakukan pemotongan untuk membuat spesimen uji, dimensi dari material yang dipotong ini disesuaikan dengan dimensi dari spesimen uji yang akan dibuat. Proses pemotongan ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan - ITS

#### **III.2.1.2. Peralatan**

Untuk melakukan pemotongan maka diperlukan peralatan sebagai berikut:

- Mesin gergaji
- Jangka sorong
- Palu
- Penggaris

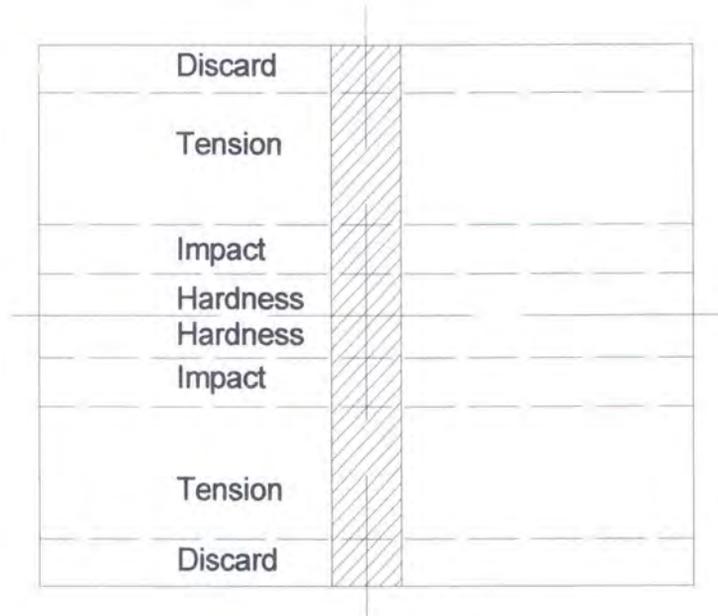
#### **III.2.1.3. Pemotongan**

Pemotongan dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut:

- 1) Meletakkan material yang telah dilas kemesin gergaji.
- 2) Mengukur dimensi material yang akan dipotong dengan menggunakan penggaris.
- 3) Menjepit material yang akan dipotong pada mesin gergaji.
- 4) Membuka kran pelumas dan meletakkan ujung kran pada material.
- 5) Melakukan proses pemotongan.



- 6) Setelah proses pemotongan selesai, selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi dari material yang telah dipotong apakah sesuai dengan perencanaan yang telah ditentukan.



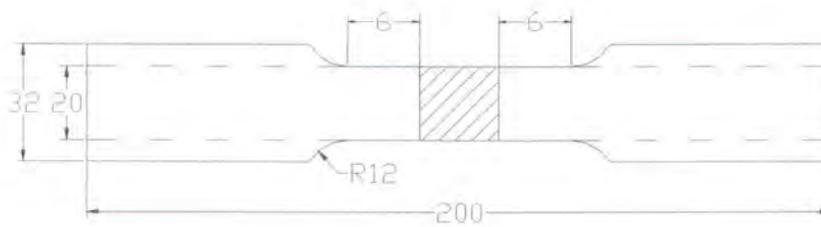
Gambar 3.5 : Bagian material yang akan dipotong

### III.2.2 Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji dibuat berdasarkan standart AWS D1.1-2000 untuk uji tarik dan ASTM A.370 untuk uji takik. Pembuatan spesimen uji ini dilakukan di Laboratorium Produksi dan Laboratorium Konstruksi & Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan – ITS.

#### III.2.2.1 Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standart AWS D1.1-2000 dengan dimensi sebagai berikut :



*Gambar 3.6 : Spesimen uji tarik*

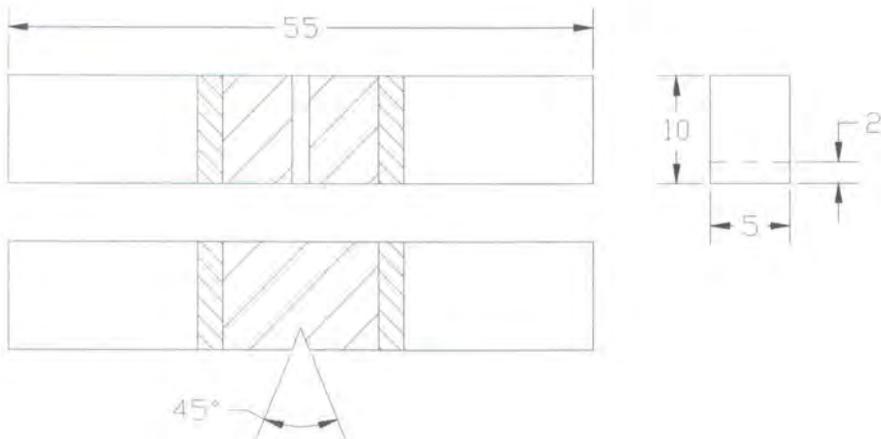
Adapun langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut :

1. Membuat sketsa gambar spesimen uji pada material yang telah dipotong.
2. Meletakkan material yang telah dipotong pada mesin skrap.
3. Melakukan proses skraping.
4. Mengikir bagian yang direduksi sampai terbentuk seperti gambar diatas.
5. Menghaluskan bagian yang direduksi dengan menggunakan kertas gosok untuk menghilangkan sisa pengerjaan proses machining.



### III.2.2.2. Spesimen Uji Impact

Spesimen Uji impact dibuat berdasarkan standart ASTM A.370 dengan dimensi sebagai berikut :



Gambar 3.7 : Spesimen uji impact

Pada salah satu permukaan tepat pada bagian tengah dari lasan diberi suatu notch (takikan) dengan bentuk V yang telah distandarisasi seperti pada gambar diatas. Adapun langkah pembuatannya adalah sebagai berikut :

1. Menghilangkan manik las dengan jalan skraping.
2. Melakukan proses skraping pada material sampai terbentuk material dengan dimensi penampang 10 x 5 mm seperti pada gambar diatas.
3. Membuat notch dengan jalan di skrap dengan menggunakan mata pahat yang membentuk sudut  $45^0$ .



4. Menghaluskan bagian sekitar takikan dengan menggunakan kertas gosok no 10 untuk menghilangkan sisa proses pengerjaan machining.

### III.3. Uji Radiografi (X-Ray)

#### III.3.1. Pendahuluan

Sebelum material dipotong untuk dijadikan spesimen uji dilakukan uji radiografi terlebih dahulu. Uji Radiografi merupakan salah satu jenis uji tak merusak (Non Destructive Testing). Pengujian ini pada dasarnya adalah penyinaran spesimen uji dengan sinar bertenaga tinggi seperti sinar X atau sinar  $\gamma$  yang dapat menembus logam.

#### III.3.2. Peralatan dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses uji X-ray antara lain:

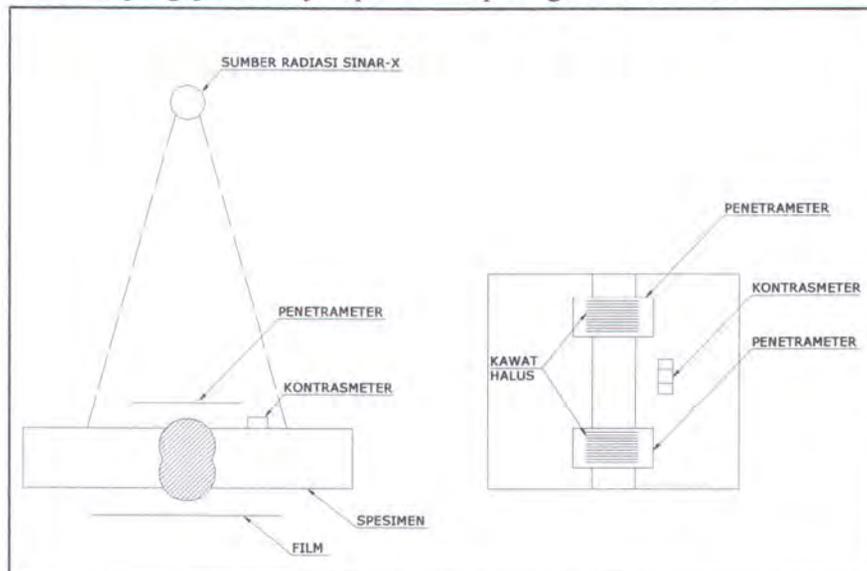
- 1) Film, digunakan untuk membuat gambar dari bagian yang diuji. Film yang akan digunakan tergantung dari kepekaan dan kualitas gambar yang diinginkan. Setidaknya ada empat klasifikasi jenis film yang dapat digunakan di pasaran.
- 2) Penetrometer, alat pengukur penembusan sinar. Menurut JIS penetrometer dibuat dari kawat-kawat. Sedangkan ASTM, ASME, dan AWS menyarankan bahwa penetrometer dibuat dari pelat dengan lubang-lubang tertentu.



- 3) Kontrasmeter, alat pengukur ketajaman perbedaan sinar. Kontrasmeter dibuat dari pelat dengan ketebalan berbeda.
- 4) Sumber radiasi, adalah sinar X. Sinar X dapat dihasilkan dengan menumbukkan elektron yang dilepaskan oleh katoda pada anoda di dalam suatu tabung hampa udara. Sifat sinar X yang dihasilkan sangat tergantung pada tegangan dan arus dari tabung, makin tinggi tegangannya makin besar daya tembus dari sinar X yang dihasilkan. Sedangkan arus tabung yang besar akan mempertinggi intensitas sinar X. Alat penghasil sinar X ada dua macam yaitu transformator dan aselerasi. Di antara keduanya jenis pertama yang paling sering digunakan.

### III.3.3. Proses Pengujian

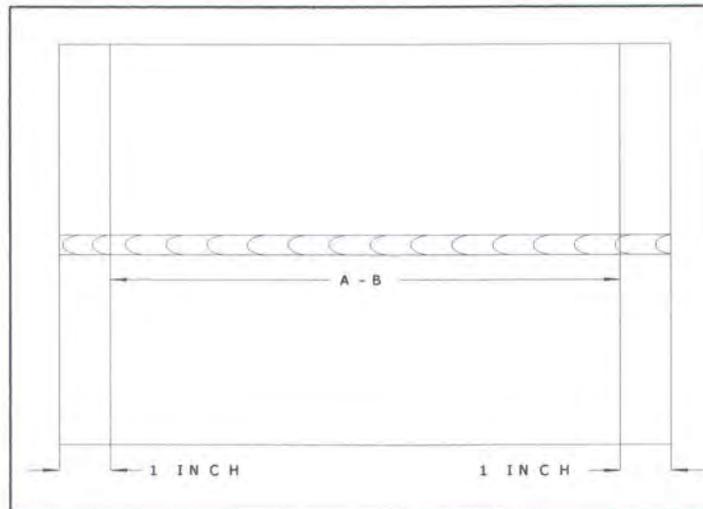
Susunan pengujian X-ray dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.8: Susunan pengujian x-ray



Bagian yang masuk daerah analisa uji adalah panjang *weld metal* dikurangi 1 inch di ujung-ujung pengelasan.



Gambar 3.9: Daerah pengujian (A-B) untuk x-ray

#### III.4. Pengukuran *Angular Distortion*

##### III.4.1. Pendahuluan

Sebelum material dipotong untuk dijadikan spesimen uji dilakukan pengukuran *angular distortion*. Pengukuran *angular distortion* dilakukan dengan menggunakan *dial gauge* (ketelitian 0.01 mm) di atas meja datar (flat bed). Pengukuran dilakukan pada arah melintang dan memanjang dari pelat induk sesuai dengan penandaan, yaitu pada sumbu X = 20 sampai 180 mm dan pada sumbu Y = 30 sampai 270 mm.



### III.4.2. Peralatan

Untuk melakukan pengukuran maka diperlukan peralatan sebagai berikut:

- Meja perata (flat bed)
- Klem
- Dial gauge

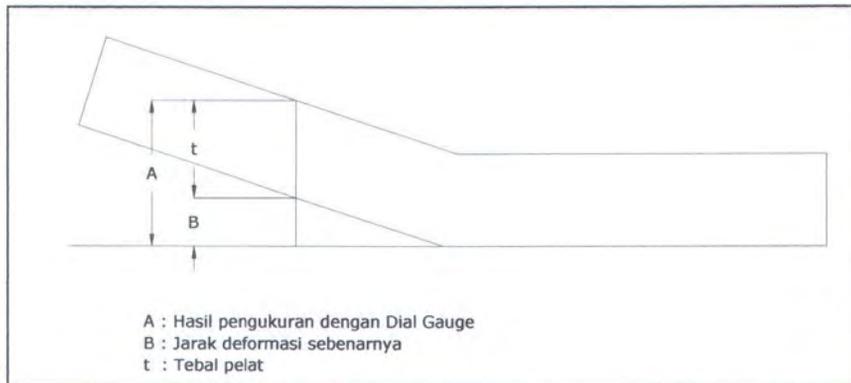
### III.4.3. Pengukuran

Pengukuran *angular distortion* dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut:

1. Setelah melalui proses pengelasan, pelat dibersihkan dari spatter dan bekas potongan dengan gerinda, kemudian diletakkan di atas meja perata (flat bed).
2. Salah satu sisi pelat diklem.
3. *Dial gauge* diletakkan di atas meja kemudian kita ukurkan dial gauge pada meja dan angka penunjuk dinolkan pada meja perata.
4. Pelat ditaruh di bawah dial gauge kemudian *dial gauge* digeser-geser sampai batang penunjuk *dial gauge* berada di atas titik yang ditandai pada pelat.
5. Perubahan harga pada *dial gauge* di setiap titik dicatat kemudian dikurangi ketebalan pelat dan koreksi kesalahan alat.



*Gambar 3.10: Pengukuran deformasi dengan Dial Gauge*



*Gambar 3.11: Prinsip pengukuran deformasi*



### **III.5. Pengujian Tarik**

#### **III.5.1 Pendahuluan**

Pengujian tarik merupakan salah satu jenis pengujian merusak (destructive testing). Pada pengujian ini spesimen dikenai beban uji aksial yang bertambah besar secara kontinyu. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya perubahan kekuatan tarik dari material las.

#### **III.5.2 Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam uji tarik antara lain :

1. Jangka sorong
2. Kertas milimeter dan pena
3. Lup atau kaca pembesar
4. Mesin uji dengan spesifikasi :
  - Merk : MFL, Germany
  - Type : UPD-20
  - Kapasitas : 200 KN

#### **III.5.3 Proses Pengujian**

Pengujian dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

- 1) Mengukur dimensi spesimen dengan menggunakan jangka sorong.
- 2) Meletakkan spesimen pada mesin dengan menjepit ujung-ujung spesimen pada penjepit.



- 3) Memasang kertas dan pena pada letaknya.
- 4) Mengatur skala pembebanan.
- 5) Memberikan pembebanan dengan kecepatan konstan.
- 6) Memperhatikan perubahan yang terjadi pada spesimen atau pada grafik selama proses pembebanan berlangsung.
- 7) Setelah patah, spesimen dilepas dari penjepit.
- 8) Menganalisa patahan yang terjadi dengan menggunakan lup.

### **III.6. Pengujian Impact**

#### **III.6.1 Pendahuluan**

Uji impact merupakan pengujian untuk mengukur toughness atau kekenyalan dari suatu material, yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadinya patahan. Secara umum uji impact bertujuan untuk menentukan sifat bahan yaitu :

- a. Ketahanan terhadap beban impact.
- b. Sensitifitas dari bahan terhadap adanya notch.
- c. Analisa patahan.

Dalam penulisan tugas akhir ini, pengujian impact bertujuan untuk mengetahui toughness dari material las.

#### **III.6.2 Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam uji impact antara lain :

1. Jangka sorong.



2. Mesin uji impact dengan spesifikasi :

- Type : CI-30
- Kapasitas : 30 kg/m
- Berat Bandul : 25.72 kg

### III.6.3 Proses Pengujian

Pengujian dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

- 1) Mengukur dimensi spesimen dengan menggunakan jangka sorong.
- 2) Meletakkan spesimen pada landasan, celah dari notch harus terletak di tengah dengan arah notch menghadap ke dalam.
- 3) Beban bandul dinaikkan sebesar sudut  $\alpha$ .
- 4) Posisi jarum penunjuk skala diatur pada posisi nol.
- 5) Beban dilepas sehingga memukul spesimen.
- 6) Mencatat besarnya sudut  $\beta$  setelah bandul / beban mengenai spesimen.
- 7) Mencatat besarnya energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dalam tabel pengamatan yang ditunjukkan pada jarum skala penunjuk.
- 8) Menghitung kekuatan impact berdasarkan hasil bagi total energi dengan luas penampang dari bagian yang bertakik.



### III.7. Uji Makroetsa

#### III.7.1. Pendahuluan

Sebelum dilakukan uji hardness terlebih dahulu dilakukan uji makroetsa. Uji makroetsa adalah jenis pengujian merusak. Pengujian ini digolongkan dalam *metallographic testing*. Makroetsa dilakukan dengan mengamati penampang melintang spesimen yang dilas dengan tujuan adalah :

- Menentukan daerah las, HAZ, dan *base metal* serta mengetahui dengan jelas batas-batas daerah tersebut.
- Mengetahui dimensi daerah lasan dan HAZ.
- Medeteksi adanya cacat dalam (internal defect) serta ukurannya.

Setelah pengujian selesai maka dapat diketahui kualitas pengelasan yang telah dilakukan.

#### III.7.2. Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk pengujian makroetsa antara lain:

- Gerinda
- Kikir
- Mesin poles
- Kertas gosok nomor: 3, 0, 120, 180, 240, 320, 400, dan 600
- Alkohol 95%
- Acid Nitrid 5%



### III.7.3. Proses Pengujian

Pengujian dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

- 1) Penampang spesimen uji makroetsa yang masih kasar bekas pemotongan dikikir hingga didapat permukaan yang rata.
- 2) Penampang daerah digosok dengan kertas gosok berurutan mulai kertas gosok nomor: 3, 0, 120, 180, 240, 320, 400, dan 600.

Penggosokan dilakukan dengan menggunakan mesin poles.



*Gambar3.12: Mesin Poles*

- 3) Setelah penampang las benar-benar rata dan halus (mengkilap) dilakukan proses etsa dengan menggosok penampang yang sudah halus di atas dengan cairan kimia (Alkohol 95% + Acid Nitrid 5%). Penggosokan dilakukan sampai diperoleh perbedaan yang jelas antara: *Base metal*, *Heat Affected Zone*, dan *Weld metal*.



### **III.8. Pengujian Kekerasan (Rockwell)**

#### **III.8.1 Pendahuluan**

Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), indentasi, atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance), dan memiliki korelasi dengan kekuatan material.

#### **III.8.2 Peralatan**

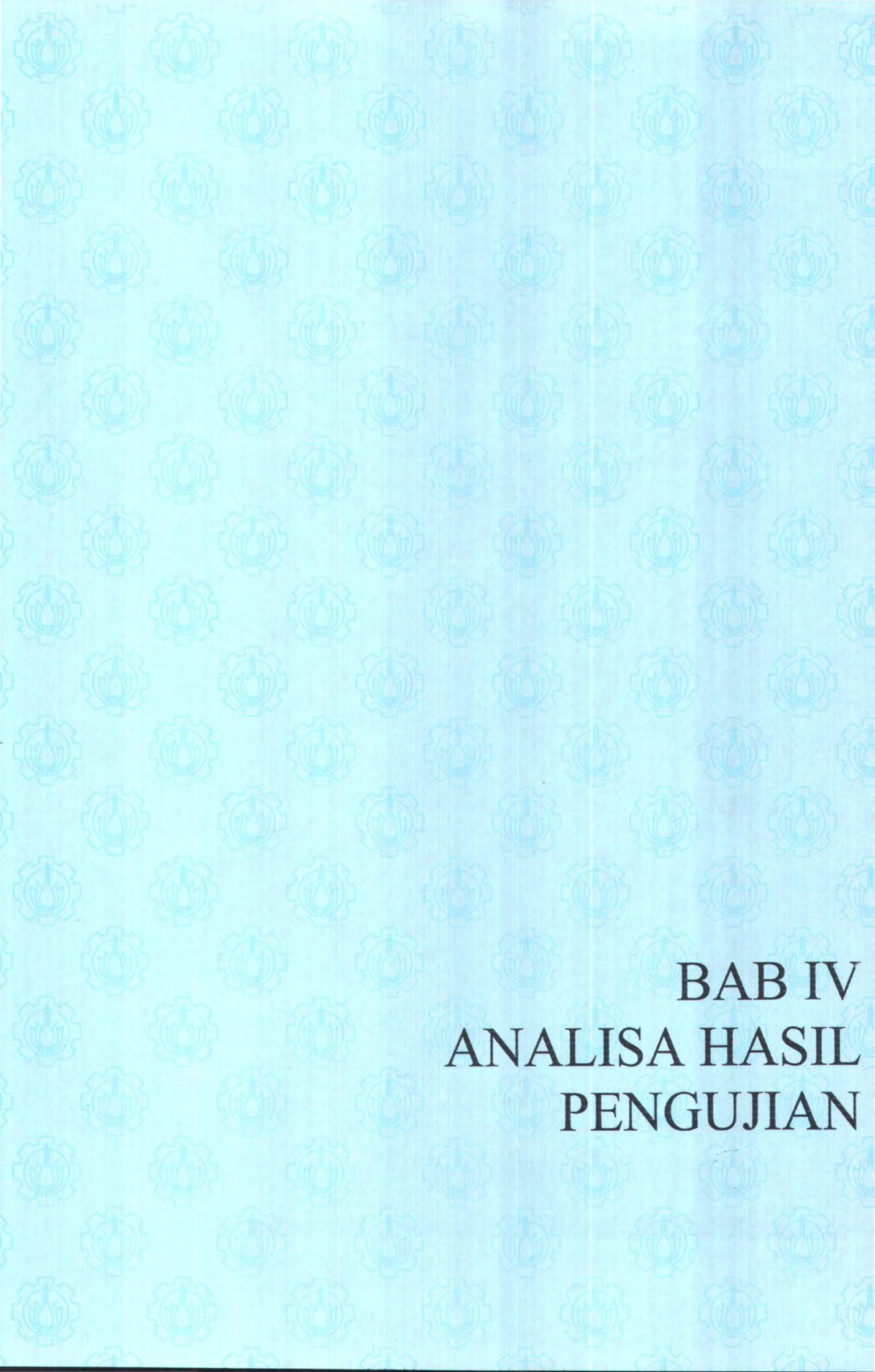
Peralatan yang digunakan dalam uji hardness (rockwell) antara lain :

- Mesin uji

#### **III.8.3 Proses pengujian**

Pengujian dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

- 1) Membersihkan permukaan spesimen.
- 2) Memasang indenter pada pemegang indenter.
- 3) Menempatkan indenter pada mesin.
- 4) Menempatkan beban yang sesuai pada mesin.
- 5) Menaikkan tabel mesin dengan memutar hand wheel sehingga indenter mengadakan penetrasi pada spesimen.
- 6) Memutar handle sehingga terjadi penetrasi pembebanan penuh.
- 7) Pembacaan skala pada pembebanan penuh.
- 8) Mengembalikan *handle* pada posisi semula.
- 9) Pembacaan skala pada saat relieving



**BAB IV**  
**ANALISA HASIL**  
**PENGUJIAN**

**RAB IV****ANALISA HASIL PENGUJIAN**

Dalam bab ini akan dibahas tentang analisa data yang telah diperoleh dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan. Analisa meliputi hasil pengamatan data uji X-Ray, Pengukuran deformasi, uji tarik, uji kekerasan, uji impact, dan selanjutnya dilakukan penentuan material mana yang mampu menerima masukan panas yang tinggi (*Heat Input*) tanpa mengalami pengurangan kekuatannya.

**IV.1. Hasil Uji Radiografi**

Untuk mendeteksi adanya *internal defect* : *incomplete fusion*, *incomplete penetration*, *porosity*, dan *longitudinal crack* dilakukan uji radiografi dengan sinar-X. Untuk menganalisa hasil pengujian digunakan standar pengujian ASME Section II. Hasil pengujian Radiografi pada spesimen adalah sebagai berikut :

*Tabel 4.1: Hasil Uji Radiografi*

Spec No.	Jenis Material	Kecepatan (cm/menit)	Kuat Arus (Ampere)	Internal Defect		Keterangan
				Jenis	Ukuran	
1	Lokal	60	400/450	-	-	Acc.
2	Lokal	60	500/550	-	-	Acc.
3	Lokal	60	600/650	-	-	Acc.
4	Impor	60	400/450	-	-	Acc.
5	Impor	60	500/550	-	-	Acc.
6	Impor	60	600/650	-	-	Acc.



Berikut ini adalah gambar-gambar yang diambil dari hasil pengujian radiografi pada specimen :



*Gambar 4.1: Hasil Uji Radiografi spesimen 1*



*Gambar 4.2: Hasil Uji Radiografi spesimen 2*



*Gambar 4.3: Hasil Uji Radiografi spesimen 3*



*Gambar 4.4: Hasil Uji Radiografi spesimen 4*



*Gambar 4.5: Hasil Uji Radiografi spesimen 5*



*Gambar 4.6: Hasil Uji Radiografi spesimen 6*

Dari hasil pengujian radiografi yang telah dilakukan, tidak ditemukan cacat pada semua spesimen. Pada waktu *heat input* dinaikkan, baik material lokal maupun material impor masih mampu menerima masukan panas tanpa cacat



#### IV.2. Hasil Pengukuran *Angular Distortion*

Semua proses yang melibatkan panas mempengaruhi *angular distortion* yang terjadi. Dalam penelitian ini spesimen mengalami tiga kali proses yang melibatkan panas yaitu: proses pemotongan (cutting), las ikat dan pemasangan *tab plate*, serta proses pengelasan. Sehingga dari pengukuran *dial gauge* penyimpangan yang diperoleh bukan benar-benar disebabkan oleh proses pengelasan. Selain itu faktor kesalahan alat juga harus diperhitungkan untuk mendapatkan nilai penyimpangan seakurat mungkin.

- Penyimpangan pada spesimen 1 (32 Volt, 400/450 A, 60 cm/menit)

X,Y	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
30	0	0,4	0,76	0,76	0,77	0,85	0,95	0,96	0,97	1,2
60	0	0,51	0,98	0,98	1,18	1,18	1,15	1,24	1,32	1,41
90	0	0,58	1,08	1,24	1,28	1,38	1,44	1,47	1,51	1,52
120	0	0,62	1,29	1,31	1,31	1,41	1,46	1,49	1,53	1,55
150	0	0,69	1,43	1,45	1,46	1,52	1,54	1,57	1,58	1,64
180	0	0,73	1,61	1,63	1,64	1,66	1,68	1,7	1,75	1,85
210	0	0,77	1,63	1,64	1,65	1,68	1,7	1,74	1,79	1,93
240	0	0,84	1,8	1,9	1,91	1,95	1,96	1,97	1,98	2,00
270	0	0,88	1,93	1,93	1,94	1,96	1,97	1,98	1,98	2,01

- Penyimpangan pada spesimen 2 (32 Volt, 500/550 A, 60 cm/menit)

X,Y	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
30	0	0,45	1,12	1,21	1,27	1,28	1,48	1,66	1,83	1,95
60	0	0,58	1,16	1,27	1,32	1,47	1,68	1,68	1,9	1,98
90	0	0,61	1,23	1,36	1,38	1,55	1,76	1,87	2,12	2,26
120	0	0,68	1,28	1,41	1,48	1,75	1,79	1,93	2,2	2,55
150	0	0,73	1,36	1,48	1,53	1,97	2,03	2,44	2,58	2,68
180	0	0,79	1,41	1,55	1,59	2,18	2,08	2,5	2,65	2,75
210	0	0,83	1,47	1,62	1,68	2,21	2,16	2,54	2,72	2,78
240	0	0,87	1,52	1,69	1,73	2,42	2,21	2,67	2,84	2,84
270	0	0,92	1,62	1,72	1,78	2,51	2,32	2,73	2,95	2,86



- Penyimpangan pada spesimen 3 (32 Volt, 600/650 A, 60 cm/menit)

X,Y	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
30	0	0,73	1,23	1,31	1,57	1,9	2,09	2,21	2,6	2,8
60	0	0,78	1,27	1,37	1,62	2,01	2,21	2,42	2,63	2,84
90	0	0,81	1,33	1,46	1,68	2,12	2,32	2,52	2,69	2,88
120	0	0,85	1,38	1,51	1,68	2,18	2,38	2,59	2,78	2,9
150	0	0,89	1,46	1,58	1,73	2,3	2,5	2,71	2,82	2,98
180	0	0,92	1,57	1,65	1,79	2,35	2,55	2,75	2,86	3,12
210	0	0,94	1,62	1,71	1,88	2,4	2,6	2,81	2,93	3,18
240	0	0,96	1,66	1,79	1,93	2,43	2,64	2,86	2,98	3,21
270	0	0,99	1,72	1,82	2,08	2,47	2,68	2,9	3,2	3,28

- Penyimpangan pada spesimen 4 (32 Volt, 400/450 A, 60 cm/menit)

X,Y	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
30	0	0.25	0.45	0.53	0.54	0.56	0.6	0.7	0.8	0.9
60	0	0.27	0.48	0.54	0.55	0.62	0.65	0.73	0.81	0.92
90	0	0.32	0.5	0.58	0.58	0.64	0.68	0.75	0.82	0.93
120	0	0.35	0.52	0.6	0.62	0.69	0.72	0.76	0.85	0.94
150	0	0.38	0.54	0.62	0.65	0.71	0.75	0.78	0.86	0.95
180	0	0.41	0.56	0.65	0.69	0.73	0.77	0.81	0.87	0.97
210	0	0.44	0.57	0.68	0.71	0.76	0.8	0.82	0.88	0.99
240	0	0.46	0.58	0.7	0.72	0.77	0.81	0.83	0.9	1.03
270	0	0.48	0.61	0.72	0.73	0.78	0.82	0.84	0.92	1.06

- Penyimpangan pada spesimen 5 (32 Volt, 500/550 A, 60 cm/menit)

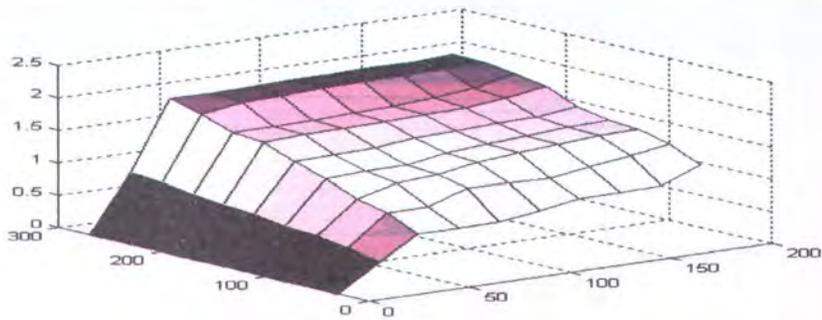
X,Y	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
30	0	0.35	0.54	0.58	0.65	0.67	0.88	1.05	1.22	1.34
60	0	0.38	0.55	0.62	0.68	0.72	0.9	1.08	1.25	1.36
90	0	0.42	0.58	0.65	0.7	0.75	0.92	1.16	1.3	1.48
120	0	0.43	0.6	0.72	0.74	0.82	0.96	1.28	1.39	1.52
150	0	0.45	0.62	0.74	0.75	0.86	1.14	1.33	1.47	1.54
180	0	0.46	0.68	0.82	0.84	0.88	1.16	1.39	1.5	1.58
210	0	0.47	0.75	0.86	0.923	0.85	1.25	1.42	1.68	1.72
240	0	0.48	0.86	0.96	1.05	1.3	1.46	1.58	1.75	1.86
270	0	0.49	0.91	1.03	1.26	1.43	1.54	1.62	1.84	2.04



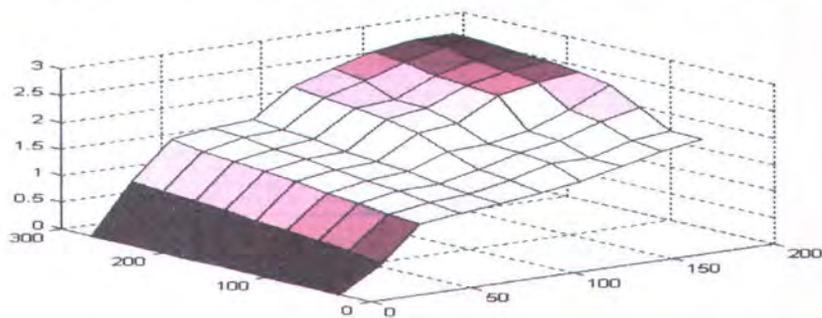
- Penyimpangan pada spesimen 6 (32 Volt, 600/650 A, 60 cm/menit)

X,Y	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
30	0	0.63	1.2	1.32	1.5	1.8	2.1	2.3	2.5	2.7
60	0	0.65	1.22	1.35	1.56	1.86	2.2	2.31	2.53	2.74
90	0	0.71	1.25	1.43	1.64	1.92	2.46	2.48	2.59	2.73
120	0	0.75	1.28	1.45	1.72	1.98	2.5	2.6	2.68	2.77
150	0	0.78	1.3	1.48	1.75	2.1	2.56	2.64	2.72	2.8
180	0	0.81	1.34	1.5	1.76	2.25	2.62	2.68	2.76	2.85
210	0	0.83	1.36	1.54	1.78	2.31	2.7	2.72	2.83	2.89
240	0	0.84	1.38	1.55	1.83	2.4	2.75	2.78	2.88	2.95
270	0	0.85	1.4	1.56	1.86	2.47	3.04	3.16	3.18	3.25

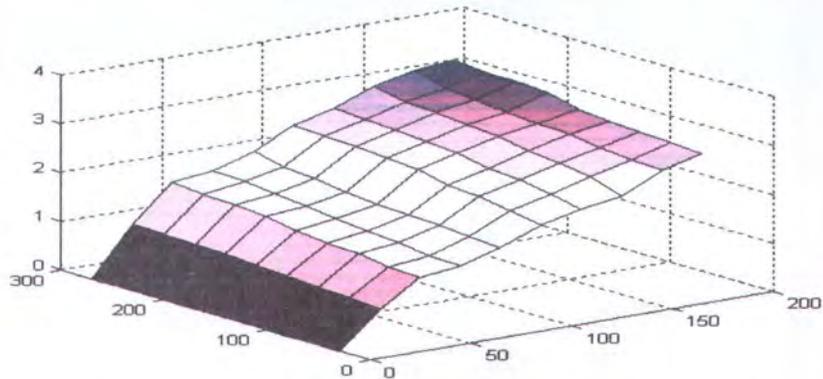
Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas pada bentuk angular distorsion pada masing-masing spesimen, maka digambarkan dalam bentuk pemodelan dengan menggunakan MATLAB.



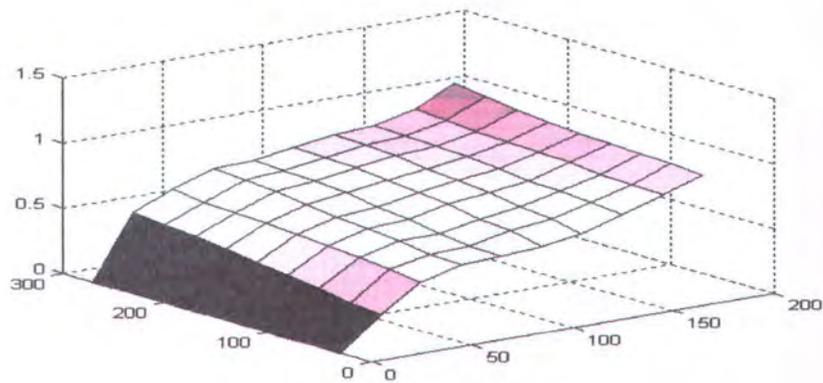
Grafik 4.1: Penyimpangan spesimen 1 (32 Volt, 400/450 A, 60 cm/menit)



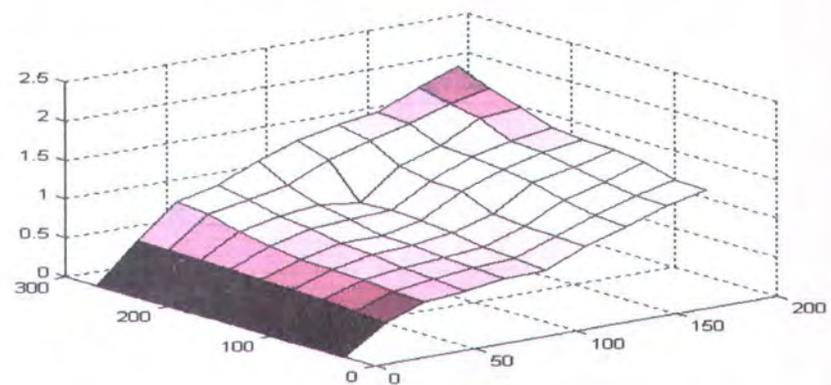
Grafik 4.2: Penyimpangan spesimen 2 (32 Volt, 500/550 A, 60 cm/menit)



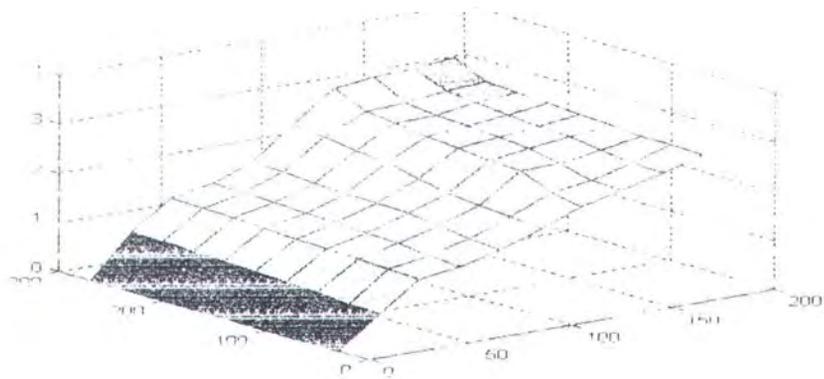
Grafik 4.3: Penyimpangan spesimen 3 (32 Volt, 600/650 A, 60 cm/menit)



Grafik 4.4: Penyimpangan spesimen 4 (32 Volt, 400/450 A, 60 cm/menit)



Grafik 4.5: Penyimpangan spesimen 5 (32 Volt, 500/550 A, 60 cm/menit)

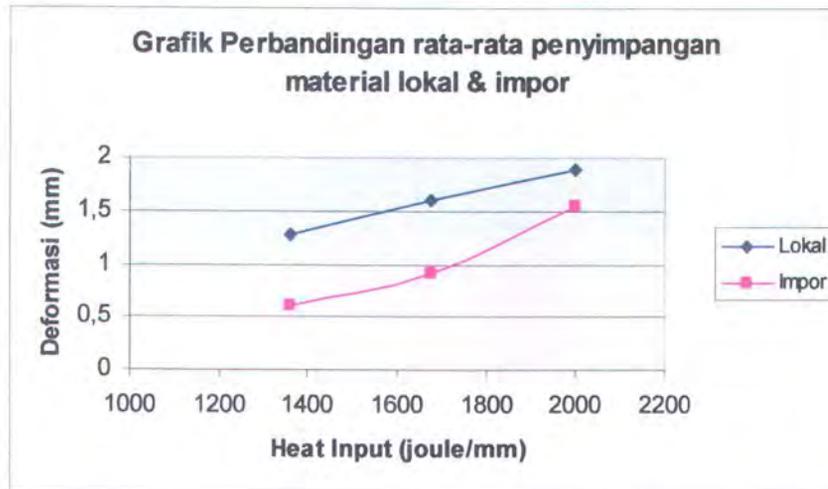


Grafik 4.6: Penyimpangan spesimen 6 (32 Volt, 600/650 A, 60 cm/menit)

Untuk mengetahui bagaimana perbandingan penyimpangan rata-rata dari material lokal dan impor dapat dilihat tabel berikut :

Tabel 4.2: Penyimpangan rata-rata material lokal dan impor

Jenis Material	Spec. No	Heat Input (joule/mm)	Rata-rata Penyimpangan	% Kenaikkan
Lokal	1	1360	1.28	-
	2	1675	1.61	25,78
	3	2000	1.88	16,77
Impor	4	1360	0.62	-
	5	1675	0.92	48,38
	6	2000	1.55	68,47



Grafik 4.7: Perbandingan rata-rata penyimpangan material lokal & impor

Dari grafik 4.7 dapat dilihat tren yang terjadi adalah semakin tinggi heat input maka angular distortion yang terjadi pada masing-masing spesimen semakin besar.

Dari data diatas dapat diketahui bahwa pada spesimen lokal (spesimen 1 sampai 3) penyimpangan terkecil adalah 1,28 mm itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm penyimpangannya naik 25,78 % menjadi 1,61 mm, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm penyimpangannya menjadi 1,88 mm atau naik 16,77 %. Sedangkan pada spesimen impor (spesimen 4 sampai 6) penyimpangan terkecil adalah 0,62 mm itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm penyimpangannya naik 48,38 % menjadi 0,92 mm, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm penyimpangannya menjadi 1,55 mm atau naik 68,47 %.

Hal ini dapat terjadi karena pada pengelasan dengan heat input yang tinggi maka energi panas yang diterima material besar, hal ini menyebabkan



perubahan besaran mekanik dan penyimpangan sudut (angular distortion) menjadi lebih besar. Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa besarnya penyimpangan sudut untuk material lokal lebih besar dibandingkan dengan material impor.

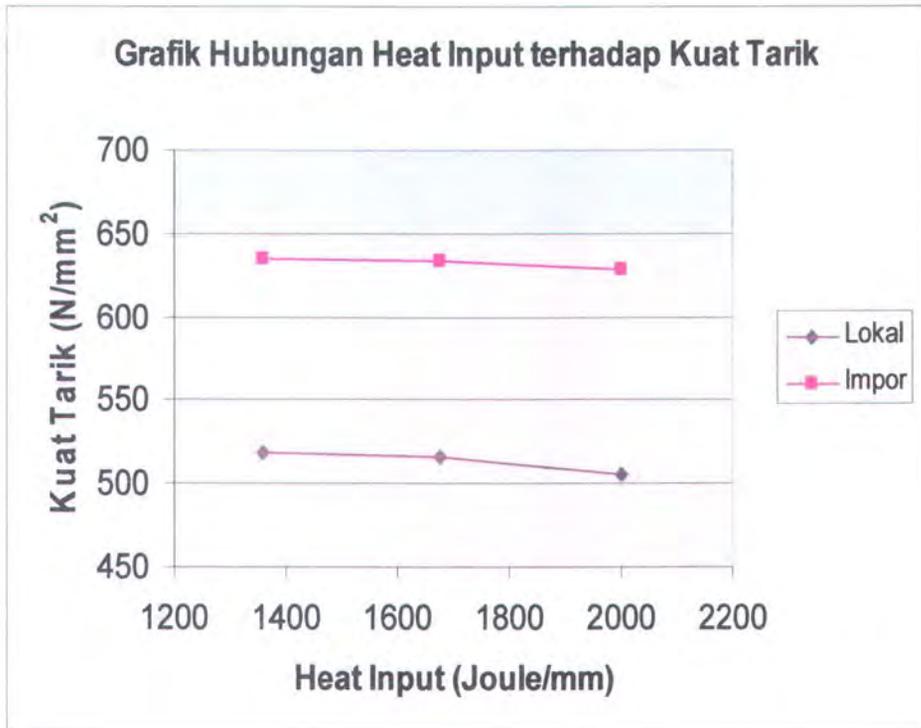
### IV.3. ANALISA HASIL UJI TARIK

Dari pengujian tarik yang telah dilakukan maka diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.3: Hasil Uji Tarik

Jenis material	Spec. No	Heat Input (Joule/mm <sup>2</sup> )	F ultimate (KN)	Area (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ ultimate (N/mm <sup>2</sup> )	% Penurunan
Lokal	1	1360	83.75	161.6	518.25	-
	2	1675	83.5	160.8	516.71	0.29
	3	2000	82	162.4	504.92	2.28
Impor	4	1360	103.25	162.4	635.77	-
	5	1675	102.5	161.6	634.28	0.23
	6	2000	101.75	162	628.08	0.97

Sehingga dari tabel tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara besarnya heat input dengan besarnya kuat tarik sebagai berikut



Grafik 4.8: Hasil Uji Tarik

Dari data pengujian diatas dapat diketahui tren yang terjadi bahwa semakin besar heat input maka kuat tarik material turun. Hal itu dapat dilihat pada grafik diatas yang menunjukkan penurunan besarnya kuat tarik pada saat heat input semakin naik.

Dari data diatas dapat diketahui bahwa pada spesimen lokal (spesimen 1 sampai 3) kuat tarik terbesar adalah  $518,25 \text{ N/mm}^2$  itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm kuat tariknya turun 0,29 % menjadi  $516,71 \text{ N/mm}^2$ , sedangkan pada heat input 2000 joule/mm kuat tariknya menjadi  $504,92 \text{ N/mm}^2$  atau turun 2,28 %. Sedangkan pada spesimen impor (spesimen 4 sampai 6) kuat tarik terbesar adalah  $635,77 \text{ N/mm}^2$  itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675



joule/mm kuat tariknya turun 0,23 % menjadi 634,28 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm kuat tariknya menjadi 628,08 N/mm<sup>2</sup> atau turun 0,97 %. Hal ini disebabkan karena pada pengelasan dengan memvariasi masukan panas (heat input) dimana arus dinaikkan, sedangkan tegangan dan kecepatan pengelasannya tetap menyebabkan energi panas yang diterima material menjadi besar dan proses pendinginannya menjadi lama, hal ini menyebabkan kekerasan material menurun dan kuat tariknya juga ikut turun. Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa besarnya kuat tarik untuk material impor lebih besar dibandingkan dengan material lokal.

#### IV.4. Analisa Hasil Uji Kekerasan

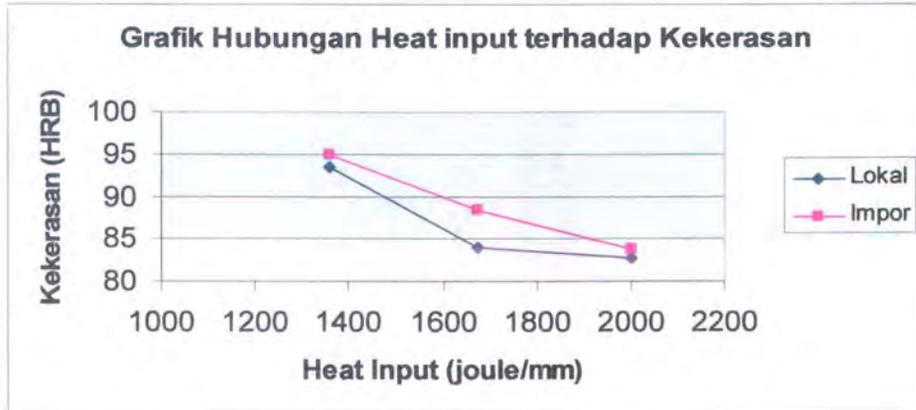
Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mencari tingkat kekerasan dari material. Dari pengujian kekerasan yang telah dilakukan maka diperoleh data sebagai berikut :

*Tabel 4.4: Hasil Uji Kekerasan*

Jenis material	Spec No	HeatInput (joule/mm <sup>2</sup> )	Nilai Kekerasan	% Penurunan
Lokal	1	1360	93,5	-
	2	1675	84,1	10,05
	3	2000	82,7	1,6
Impor	4	1360	95	-
	5	1675	88,4	6,94
	6	2000	83,7	5,31



Dari tabel tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara besarnya heat input dengan nilai kekerasan dari material sebagai berikut :



Grafik 4.9: Hasil Uji Kekerasan

Dari data pengujian diatas dapat diketahui tren yang terjadi bahwa semakin besar heat input maka tingkat kekerasan material turun. Hal itu dapat dilihat pada grafik diatas yang menunjukkan penurunan besarnya tingkat kekerasan pada saat heat input semakin naik.

Dari data diatas dapat diketahui bahwa pada spesimen lokal (spesimen 1 sampai 3) nilai kekerasan terbesar adalah 93,5 itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm nilai kekerasannya turun 10,05 % menjadi 84,1, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm nilai kekerasannya menjadi 82,7 atau turun 1,6 %. Sedangkan pada spesimen impor (spesimen 4 sampai 6) nilai kekerasan terbesar adalah 95 itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm nilai kekerasannya turun 6,94 % menjadi 88,4, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm nilai kekerasannya menjadi 83,7 atau turun 5,31 %. Hal ini disebabkan karena pada pengelasan dengan memvariasi masukan panas





(heat input) dimana arus dinaikkan, sedangkan tegangan dan kecepatan pengeilasannya tetap menyebabkan energi panas yang diterima material menjadi besar dan proses pendinginannya menjadi lama, hal ini menyebabkan kekerasan material menurun. Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa besarnya nilai kekerasan untuk material impor lebih besar dibandingkan dengan material lokal.

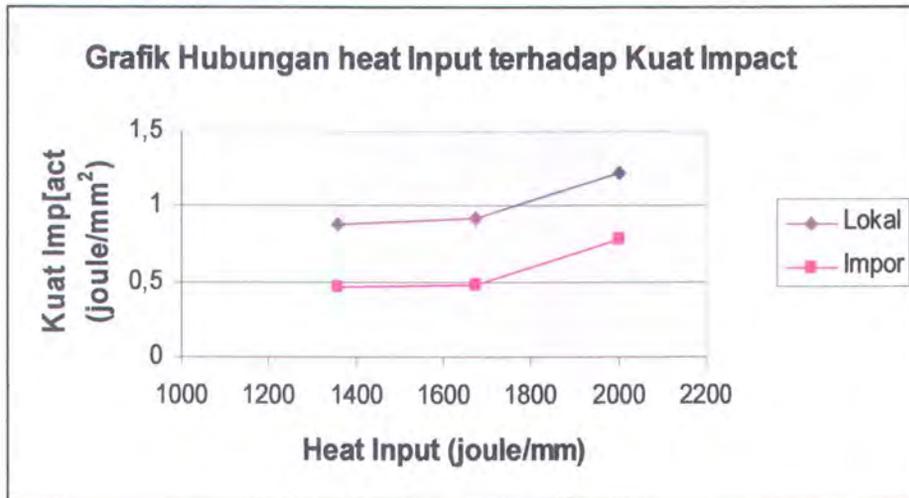
#### IV.5. Analisa Hasil Uji Impact

Pada pengujian impact ini didapatkan data-data berupa kuat impact, dimana kuat impact ini dapat digunakan sebagai pembanding sifat ketangguhan (toughness) material yang satu dengan material yang lain. Dari pengujian impact didapatkan data-data sebagai berikut :

*Tabel 4.5: Hasil Uji Impact*

Jenis Material	Spec. No	Heat Input (joule/mm <sup>2</sup> )	CSA (mm <sup>2</sup> )	Joule (J)	Kuat Impact (J/mm <sup>2</sup> )	% Kenaikkan
Lokal	1	1360	40.4	35.37	0.88	-
	2	1675	41.2	38	0.92	4.54
	3	2000	40.8	50	1.22	32.6
Impor	4	1360	40.4	19	0.47	-
	5	1675	41.2	20	0.48	2.12
	6	2000	41.6	33	0.79	64.58

Dari tabel tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara besarnya heat input dengan nilai kekerasan dari material sebagai berikut :



Grafik 4.9: Hasil Uji Impact

Dari data pengujian diatas dapat diketahui tren yang terjadi bahwa semakin besar heat input maka kuat impact material naik. Hal itu dapat dilihat pada grafik diatas yang menunjukkan kenaikan besarnya impact pada saat heat input semakin naik.

Dari data diatas dapat diketahui bahwa pada spesimen lokal (spesimen 1 sampai 3) kuat impact terkecil adalah  $0,88 \text{ J/mm}^2$  itu terjadi pada heat input  $1360 \text{ joule/mm}$ , pada heat input  $1675 \text{ joule/mm}$  kuat impactnya naik  $5,45 \%$  menjadi  $0.92 \text{ J/mm}^2$ , sedangkan pada heat input  $2000 \text{ joule/mm}$  kuat impactnya menjadi  $1,22 \text{ J/mm}^2$  atau naik  $32,6 \%$ . Sedangkan pada spesimen impor (spesimen 4 sampai 6) kuat impact terkecil adalah  $0,47 \text{ J/mm}^2$  itu terjadi pada heat input  $1360 \text{ joule/mm}$ , pada heat input  $1675 \text{ joule/mm}$  kuat impactnya naik  $2,12 \%$  menjadi  $0,48 \text{ J/mm}^2$ , sedangkan pada heat input  $2000 \text{ joule/mm}$  kuat impactnya menjadi  $0,79 \text{ J/mm}^2$  atau naik  $64,58 \%$ . Hal ini disebabkan karena pada pengelasan dengan memvariasi masukan panas (heat input) dimana arus dinaikkan, sedangkan tegangan dan



kecepatan pengelasannya tetap menyebabkan energi panas yang diterima material menjadi besar dan proses pendinginannya menjadi lama, hal ini menyebabkan kekerasan material menurun tetapi kuat impact naik. Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa besarnya kuat impact untuk material lokal lebih besar dibandingkan dengan material impor.



**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN**  
**SARAN**



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1. Kesimpulan

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan, mulai dari proses pengelasan dengan variasi heat input sampai dengan pengukuran dan pengujian hasil, maka dapat diambil kesimpulan:

- 1) Penambahan besarnya heat input (masukan panas) dengan cara menaikkan besarnya arus dengan tegangan dan kecepatan las tetap akan menyebabkan kuat tarik material turun. Pada spesimen lokal (spesimen 1 sampai 3) kuat tarik terbesar adalah  $518,25 \text{ N/mm}^2$  itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm kuat tariknya turun 0,29 %, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm kuat tariknya turun 2,28 %. Sedangkan pada spesimen impor (spesimen 4 sampai 6) kuat tarik terbesar adalah  $635,77 \text{ N/mm}^2$  itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm kuat tariknya turun 0,23 %, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm kuat tariknya turun 0,97 %.
- 2) Penambahan besarnya heat input (masukan panas) dengan cara menaikkan besarnya arus dengan tegangan dan kecepatan las tetap akan menyebabkan nilai kekerasan material turun. Pada spesimen lokal (spesimen 1 sampai 3) nilai kekerasan terbesar adalah 93,5 itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675



joule/mm nilai kekerasannya turun 10,05 % sedangkan pada heat input 2000 joule/mm nilai kekerasannya turun 1,6 %. Sedangkan pada spesimen impor (spesimen 4 sampai 6) nilai kekerasan terbesar adalah 95 itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm nilai kekerasannya turun 6,94 %, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm nilai kekerasannya turun 5,31 %.

- 3) Penambahan besarnya heat input (masukan panas) dengan cara menaikkan besarnya arus dengan tegangan dan kecepatan las tetap akan menyebabkan nilai impact material naik. Pada spesimen lokal (spesimen 1 sampai 3) kuat impact terkecil adalah  $0,88 \text{ J/mm}^2$  itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm kuat impactnya naik 5,45 %, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm kuat impactnya naik 32,6 %. Sedangkan pada spesimen impor (spesimen 4 sampai 6) kuat impact terkecil adalah  $0,47 \text{ J/mm}^2$  itu terjadi pada heat input 1360 joule/mm, pada heat input 1675 joule/mm kuat impactnya naik 2,12 %, sedangkan pada heat input 2000 joule/mm kuat impactnya naik 64,58 %.
- 4) Besarnya nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan material impor lebih tinggi dibandingkan material lokal, sedangkan nilai kuat impactnya lebih rendah material impor dibandingkan material lokal.



### V.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian di atas maka penulis dapat memberikan saran-saran:

- 1) Untuk mengaplikasikan hasil penelitian ini maka persiapan pelat sebelum pengelasan harus diperhatikan, terutama penyimpangan akibat *tack weld* semaksimal mungkin harus dihindari.
- 2) Penelitian lanjutan dapat dilakukan pada harga tegangan dan kuat arus yang lain untuk selanjutnya dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan.
- 3) Untuk mendapatkan hasil yang akurat dalam penelitian maka setiap material mengalami proses yang melibatkan panas maka penyimpangannya harus diukur sebagai bahan koreksi perhitungan.

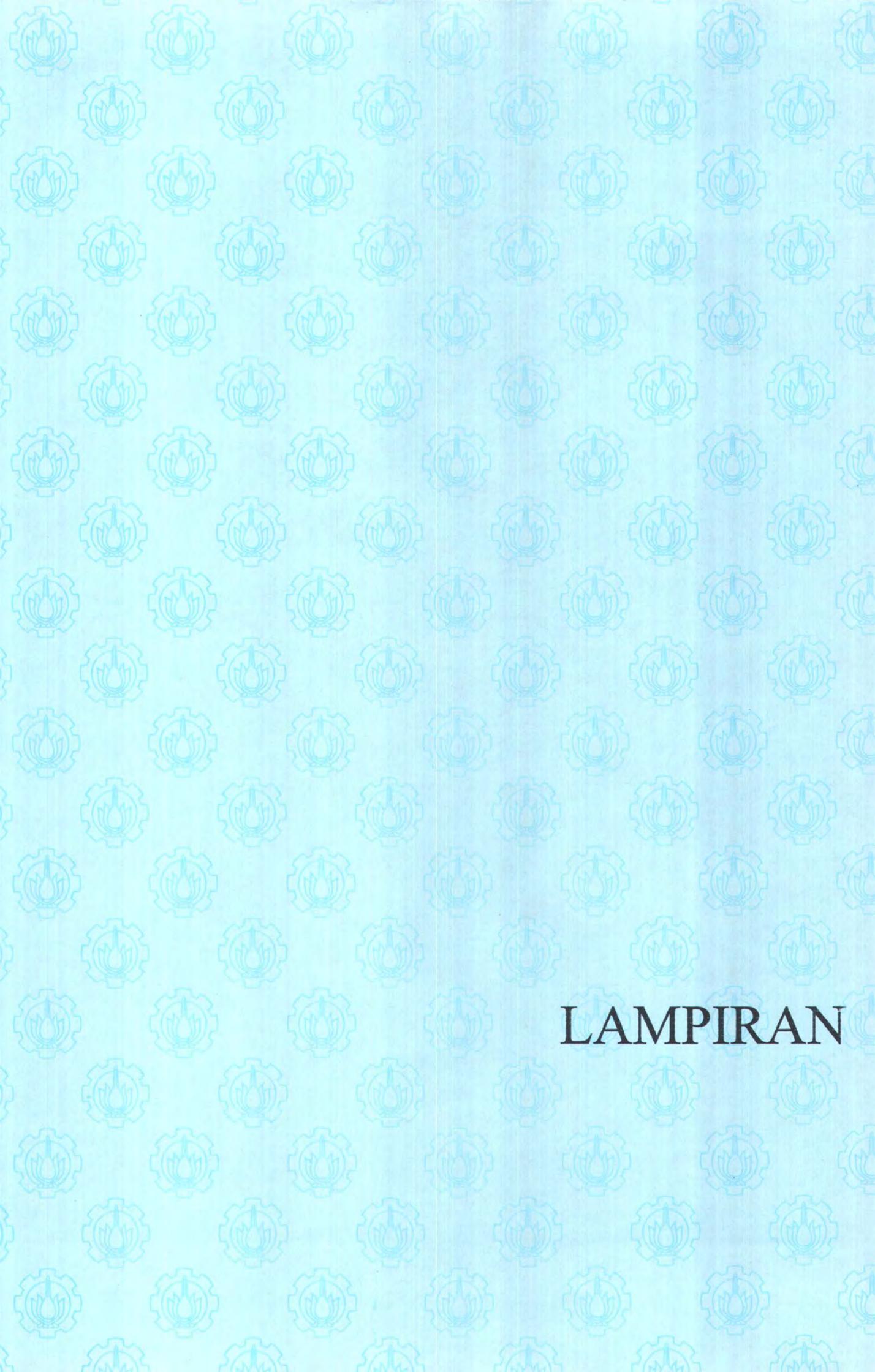


# DAFTAR PUSTAKA



## DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society D1.1. 2000. *Structural Welding Code-Steel*.
- Fierliyanto, Sterie. 1996. *Analisa Pengelasan Tanpa Persiapan Sisi dengan Las SAW pada Baja SS-41*. Surabaya: Teknik Perkapalan.
- Gourd, L.M. 1980. *Principles of Welding Technology*. London: Edward Arnold Ltd.
- Gray, T.G.F., J. Spence. 1980. *Rational Welding Design*. London: Butterworth & co.
- Houlcroft, P.T. 1989. *Submerged arc welding*. Cambridge: Abington Publishing.
- Kenyon, W. 1985. *Dasar-dasar Pengelasan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Levi, Elia E. 2005. *Weld-Macro: Understanding and Learning (Solution with Effective, Powerful Advice)*. [www.welding-advisers.com](http://www.welding-advisers.com).
- Suherman, Ir. Wahid. 1987. *Pengetahuan Bahan*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri - ITS.
- The Lincoln Electric Company. 1973. *The Procedure Handbook of Arc Welding*.
- TWI Ltd. 2003. *A General Review of Geometric Shape Imperfections-Types and Causes*. [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk).
- TWI Ltd. 2004. *Defect Imperfections in Weld-Porosity*. [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk).
- TWI Ltd. 2004. *Weld Defects/ imperfections-Incomplete Root Fusion or Penetration*. [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk).
- Wiryosumarto, Prof. Dr. Ir. Harsono, Prof. Dr. Toshie Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.



LAMPIRAN



Mital Steel Calati S.A.  
1700000 (2004) S.A.S.  
V. I. Gherdin Street, Galati  
Postal Code 600202  
Romania

6mm x 8' x 33"  
7mm x 6' x 33"



Proyekt RoRo -  
DCU

9133 (b)

MITTAL

INSPECTION CERTIFICATE 0061240

ACCORDING TO : EN 10204 (3.1) C

CONTAINER / CLIENT TO KNOW IT HAS CONCERN

ORDER / COMANDA 800593 / 5090217

DATE / DATA 15.08.2008

DISPATCH / AVIZ EXPEDITIONE 5685749

PRODUCED / PRODUS IN THE UNITED STATES OF AMERICA

Tracking: 551140002

MARK / MARCA ASTM A618/02

EXTERNAL ASPECT / ASPECT EXTERIOR EN 10204 (3.1) CLASS A (CORROSION)

CURRENT STATE / STADIUL DE LUCRARE AS FINISH

TOTAL NUMBER OF PIECES / TOTAL NUMAR DE PIESE 12 / TOTAL WEIGHT / TOTAL GREUTATE 19.406.00 KG

MECHANICAL TESTS

NO	ITEM	HEAT NO	QUALITY	DIMENSIONS	PC TEST NO	Re	Re	A		
						Min	Max	mm		
1	284028	100	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	354	200	26
2	284028	101	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	341	200	26
3	284028	102	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	341	200	26
4	284028	103	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	341	200	26
5	284028	104	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	341	200	26
6	284028	105	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	341	200	26
7	284028	106	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	341	200	26
8	284028	107	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	341	200	26
9	284028	108	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	341	200	26
10	284028	109	899465	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	463	341	200	26
11	877407	101	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
12	877407	102	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
13	877407	103	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
14	877407	104	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
15	877407	105	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
16	877407	106	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
17	877407	107	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
18	877407	108	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
19	877407	109	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
20	877407	110	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
21	877407	111	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
22	877407	112	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
23	877407	113	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
24	877407	114	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
25	877407	115	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
26	877407	116	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
27	877407	117	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
28	877407	118	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
29	877407	119	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27
30	877407	120	928170	Grade A 8.30x1825x9144	1	A2209	459	320	200	27

ATTACHMENT No 11  
TO REPORT BCC b05246  
DATED 24/01/09

BOGDAN  
LETINU  
BUCHAREST-ROU

CHEMICAL ANALYSIS

HEAT NO	C	Mn	P	S	Al	Si	Ti	Nb	Co	As	Cr	Mo	Ni	B	ED	N2	Er	CEV
877407	0.250	0.0100	0.008	0.004	0.0005	0.0100	0.0040	0.0040	0.0010	0.0150	0.0100	0.0150	0.0040	0.0050	0.0001			0.2450
899465	0.240	0.0090	0.0080	0.0040	0.0005	0.0100	0.0040	0.0040	0.0010	0.0150	0.0100	0.0150	0.0040	0.0050	0.0001			0.2320
928170	0.240	0.0090	0.0080	0.0040	0.0005	0.0100	0.0040	0.0040	0.0010	0.0150	0.0100	0.0150	0.0040	0.0050	0.0001			0.2200
899465	0.240	0.0090	0.0080	0.0040	0.0005	0.0100	0.0040	0.0040	0.0010	0.0150	0.0100	0.0150	0.0040	0.0050	0.0001			0.2162

MITTAL STEEL CALATI S.A.  
TEL : +40236407115  
FAX : +40236407129  
www.mittalsteel.com



Purchaser : PT. PAL INDONESIA  
 Purchaser's Order No. : JL. UJUNG, SURABAYA  
 D - 168 - 2004  
 Material : Ship Building Plates  
 Specification : Bureau Veritas Grade - A

**PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL**  
 Surabaya - Indonesia  
**MILL CERTIFICATE**

HEAD OFFICE :  
 Jl. Margomulyo No. 29 A PO. Box. 1978  
 Tandes - Surabaya 60183  
 Phone : (62-31) 7490598 (Hunting)  
 Fax : (62-31) 7490581  
 E-mail : gunawan@gds.co.id



ISO 9001 : 2000  
 Certified Company



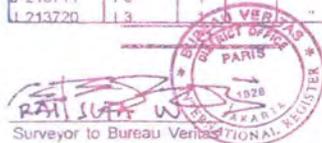
Cert. No. : 945177

Certificate No. : GDS/QC/2005/0044  
 Date : 14th January 2005  
 Despatch Advice No. : 055/LDO/01/2005

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions			Weight (MT)	Test No.	Ladle Analysis (%)					Tensile Test			Bend Test 180°/3T	Impact Value in Joule				Reference							
			T mm	W mm	L mm			C	Si	Mn	P	S	Y.S N/mm <sup>2</sup>	T.S N/mm <sup>2</sup>	EL % 200mm <math>g_{0.5V50}</math>		°C											
																	I	II	III	AV								
J 113958	H 31	1	8	2400	12000	1.809	H2	0.15	0.25	0.75	0.027	0.030	335	473	25					04-01-05								
	H 41	1	"	"	"	1.809	"	"	"	"	"	"									"	"	"	"	"	"	"	
J 114000	G 31	1	"	"	"	1.809	H1	0.17	0.17	0.70	0.017	0.022	326	456	26					04-01-05								
	G 41	1	"	"	"	1.809	"	"	"	"	"	"									"	"	"	"	"	"		
	H 21	1	"	"	"	1.809	"	"	"	"	"	"									"	"	"	"	"	"	"	
	H 31	1	"	"	"	1.809	"	"	"	"	"	"									"	"	"	"	"	"	"	"
	H 41	1	"	"	"	1.809	"	"	"	"	"	"									"	"	"	"	"	"	"	"
J 313640	H 41	1	"	"	"	1.809	H3	0.16	0.24	0.73	0.028	0.028	336	483	25					06-01-05								
J 113838	G 11	1	9	2400	12000	2.035	G1	0.15	0.24	0.77	0.033	0.030	328	465	25					04-01-05								
J 113958	H 11	1	"	"	"	2.035	H2	0.15	0.25	0.75	0.027	0.030	335	473	25					04-01-05								
J 114000	G 11	1	"	"	"	2.035	H1	0.17	0.17	0.70	0.017	0.022	326	456	26					04-01-05								
	G 21	1	"	"	"	2.035	"	"	"	"	"	"									"	"	"	"	"	"		
J 213798	G 41	1	"	"	"	2.035	G4	0.15	0.22	0.75	0.030	0.033	331	464	23					06-01-05								
J 313640	H 31	1	"	"	"	2.035	H3	0.16	0.24	0.73	0.028	0.028	336	483	25					06-01-05								
J 113825	G 11	1	"	"	"	2.035	G1	0.14	0.18	0.91	0.026	0.032	319	457	25					04-01-05								
J 410259	G 11	1	"	"	"	2.035	G1	0.17	0.23	0.73	0.012	0.023	323	462	22					06-01-05								
J 113776	I 3	1	24	1820	12000	4.115	G3	0.18	0.23	0.81	0.030	0.034	376	477	27					04-01-05								
J 113783	M 3	1	"	"	"	4.115	K4	0.15	0.19	0.77	0.033	0.028	359	490	24					04-01-05								
J 113834	I 3	1	"	"	"	4.115	H3	0.18	0.24	0.72	0.026	0.028	321	450	23					04-01-05								
J 213711	I 3	1	"	"	"	4.115	F1	0.15	0.26	0.87	0.015	0.031	279	446	28					06-01-05								
L 213720	I 3	1	"	"	"	4.115	I3	0.15	0.27	0.71	0.014	0.032	300	470	23					14-01-05								

51.327

This is to certify that the materials enumerated above have been manufactured in conformity with the requirements of BUREAU VERITAS Rules and in accordance with the processes approved by it.



*[Signature]*  
 Ir. Poltak H. Panjaitan  
 Manager Quality Control

Herys Setia Budi [4199100040]  
 Teknik Perkapalan-ITS



**PT. YUDHA SATRIA**

TECHNICAL TESTING & INSPECTION

**RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT**

Principal : INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA				Report No. : 001/WPS-RT/YS-VI/06				
				Date : Juni 02 '2006				
Name of Equipment : PLAT I				O/C : -				
User : -				Serial No. : -				
Drawing No. : -				Location : SURABAYA				
Examination Procedure : ASME V - Art. 2				Acc. Criteria : ASME Sec. IX				
Part or Weld Identification	Diameter Inch	Thickness mm	Interest Area	Interpretation		Evaluation		Remarks
				Indication	Size mm/in	Accepted	Rejected	
<b>PLAT I</b>								
400A/450A	-	8	A - B	-	-	Acc	-	PASSED
500A/550A		8	A - B	-	-	Acc	-	PASSED
600A/650A		8	A - B	-	-	Acc	-	PASSED
						Acc	-	
=====oO=====								
Indication Code : RC = Root Concavity CP = Clustered Porosity CR = Cracks RUC = Root Under Cut SI = Slag Inclusion LIC = Under Cut IP = Incomplete Penetration SL = Slag In Line CL = Clot P = Porosity LOF = Lack Of Fusion G = Gas Technique Code : SWSV = Single Wall Single Viewing DWSV = Double Wall Single Viewing DWDV = Double Wall Double Viewing Total Film : 03 Sheets ( 4 x 10 )"								
Radiation Source : Ir - 192			IQI Type : ASTM 1 B		Screen : Pb. 0,125 mm			
Focal Spot Size : 3 x 3 mm			IQI Placement : Film side		Technique : SWSV			
Activity : 12 Ci			Film Type : Medium Speed		Density : 2.0 - 4.0			
SFD : 12 Inchi			Film Brand : Kodak AA 400		Sensitivity : 2 %			
Reviewed by		Approved by		Witnessed by		Radiographer		
								

