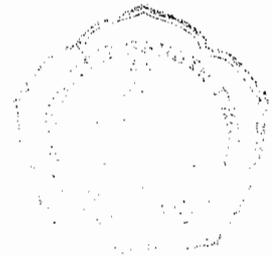


**PENGARUH PENGELASAN OTOGEN DAN TITIK  
TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN  
STRUKTUR MIKRO PELAT BODI MOBIL  
(0,8 mm)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Jurusan Teknik Mesin



**Disusun oleh :**

**Prio Cahyo Setyo Nugroho**  
**NIM : 985214078**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA  
2006**

**THE EFFECT OF ACETYLENE AND SPOT  
WELDING ON TENSILE STRENGTH,  
HARDNESS, AND MICRO STRUCTURE OF CAR  
BODY PLATE (0,8mm)**

**FINAL PROJECT**

Presented as Partial Fulfillment of the Requirments  
To Obtian then Sarjana Teknik Degree  
In Mechanical Engineering



By :

**PRIO CAHYO SETYO NUGROHO**  
Student Number : 985214078

MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
ENGINEERING FACULTY  
SANATA DHARMA UNIVERSITY  
YOGYAKARTA  
2006

## **TUGAS AKHIR**

### **PENGARUH LAS OTOGEN DAN TITIK TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO PADA PELAT BODI MOBIL (0,8 mm)**

Disusun oleh :

**Prio Cahyo Setyo Nugroho**

**NIM : 985214078**

Telah disetujui oleh :

Pembimbing I



Budi Setyahandana S.T., M.T.

Tanggal : Juli 2006

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Maret 2005

Prio Cahyo Setyo Nugroho

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH LAS OTOGEN DAN TITIK TERHADAP  
KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO  
PADA PELAT BODI MOBIL (0,8 mm)**

Disusun oleh :

**Nama : Prio Cahyo Setyo Nugroho**

**NIM : 985214078**

Telah dipertahankan didepan dewan penguji

Pada Tanggal : 26 Juli 2006

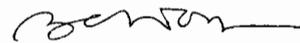
Susunan dewan penguji



Budi Setyahandana, S.T., M.T.  
Pembimbing Utama



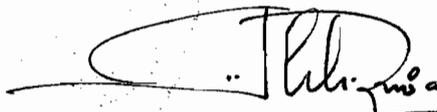
Ir. Rines, M.T.  
Ketua



Wibowo Kusbandono, S.T., M.T.  
Sekretaris

Tugas akhir ini telah diterima sebagai salah satu syarat  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta, 31 Juli 2006  
Fakultas Teknik  
Universitas Sanata Dharma  
Dekan



Ir. Greg. Heliarko, SJ., S.S., B.ST., MA. M.Sc.

\*\*\*

*Salam damai sejahtera selalu dan selamanya*

*Kapersembahkan*

*Tugas Akhir ini kepada*

*\*\*Tuhan Yesus Kristus\*\**

*Ayah dan ibu tersayang, Adik-adik tercinta*

*Kekasihku*

*Pertu*

*kawan-kawan semua*

\*\*\*

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, perlindungan serta karunia-Nya yang tiada batasnya dan memberikan ide-ide yang luar biasa, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan semaksimal mungkin walau masih terdapat kekurangannya.

Tugas Akhir merupakan salah satu syarat mata kuliah yang wajib ditempuh setiap mahasiswa guna menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.

Dalam Tugas Akhir ini, penulis membahas mengenai “Pengaruh pengelasan otogen dan titik terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro pelat bodi mobil dengan tebal 0,8 mm”.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih atas segala bantuan baik moril maupun materiil, saran dan fasilitas sehingga dapat terselesaikannya tugas ini kepada :

1. Romo Greg. Heliarko, SJ., S.S., B.S.T., MA., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak Budi Setyahandana, S.T., M.T. selaku Kaprodi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, merangkap sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

4. Bapak Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik angkatan 1998 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Sanata Dharma Yogyakarta.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, yang selama sekian tahun ini telah memberikan ilmu pengetahuan sebagai modal dasar yang sangat bermanfaat bagi penulis.
6. Segenap karyawan Universitas Sanata Dharma yang telah meluangkan waktu dan tenaga membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini.
7. Bapak, Ibu tercinta dan Adik-adikku tersayang, yang selalu memberi motivasi, bantuan moril maupun materiil yang sangat berguna dalam penyusunan naskah ini.
8. “Rani” yang tak henti-hentinya memberi semangat hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman Angkatan 1998 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta atas semua bantuannya selama ini.
10. Pihak-pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu yang juga telah memberikan dorongan dan semangat.

Penulis telah mempersembahkan yang terbaik, namun penulis menyadari bahwa dalam penyusunan naskah ini masih jauh dari sempurna. Penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan dikemudian hari.

Akhir kata teriring dengan harapan dari penulis semoga tugas akhir ini dapat berguna sebagai masukan bagi para pembaca dan semua pihak yang membutuhkan.

Yogyakarta

Penulis

## INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh las otogen dan las titik terhadap sifat fisis dan mekanis yang meliputi kekuatan tarik, kekerasan, struktur mikro pada pelat bodi mobil. Pelat yang digunakan pada mobil Daihatsu, Hyundai, Mercedes benz. Pelat A (Daihatsu) mempunyai kandungan unsur sebagai berikut : (C 0,18%, Mn 0,592%, P 0,018%, Si < 0,002%). Pelat B (Hyundai) (C 0,04%, Mn 0,025%, P 0,012%, Si < 0,001%). Pelat C (Mercy) (C 0,048%, Mn 0,198%, P 0,014%, Si < 0,002%). Material baja berupa pelat tipis dengan ketebalan 0,8 mm.

Penelitian sifat-sifat fisis dan mekanis pelat baja dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama pengujian sebelum pengelasan dan yang kedua pengujian setelah pengelasan. Pengelasan menggunakan las otogen dan titik. Uji tarik menggunakan Gotech Testing Machine dengan beban maksimal 1000 kg. Pada pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan Vickers Microhardness dengan pembebanan 1 kgf. Struktur mikro bahan diteliti dengan menggunakan mikroskop yang dilengkapi dengan kamera yang berguna untuk mengambil gambar struktur mikro bahan.

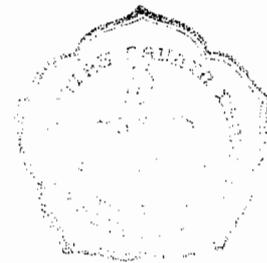
Terjadi penurunan pada pengujian tarik yang tidak cukup besar dari ketiga jenis pelat tersebut, setelah dilakukan pengujian tarik dikarenakan bahan tambah yang digunakan pada pengelasan otogen. Sebaliknya penurunan drastis terjadi pada hasil benda uji setelah pengelasan titik. Kenaikan nilai kekerasan karena adanya panas, udara sekitar dan bahan tambah yang digunakan. Selama proses pengelasan unsure C (karbon) yang terdapat diudara masuk kedalam logam cair dan ikut membeku pada saat pendinginan, sehingga pada daerah ini menjadi lebih keras. Struktur mikro yang terbentuk sangat rapat antara matrik ferit dan perlit dengan susunan butiran sangat halus dan batasan daerah yang tidak jelas. Pada daerah sambungan las masih banyak lubang-lubang hitam atau bopen-bopeng yang menyebabkan keropos, dikarenakan masih terdapat kotoran pada bagian yang akan dilas, atau masih ada unsur lain yang masuk selama proses pengelasan.

## ABSTRACT

This study was aimed to find out the effect asytiline and spot welding tower the physical and mechanical characteristic in example tensile strength, hardness, and micro structure of car body plate. Plate A had the following substances: (C 0,18%, Mn 0,592%,P0,018%, Si < 0,002%). Plate B (Hyundai) (C 0,04%, Mn 0,025%, P 0,012%, Si < 0,001%). Plate C (Mercy) (C 0,048%, Mn 0,198%, P 0,014%, Si < 0,002%).The steel material was in form of thin plate with 0.8 mm.

The study of physical and mechanical characterstic of steel plate was carried out in to stages. The first was tested before welding and the second stage was tested after welding. The welding was using asytiline and spot arc weld with constant variable. The tensile test was using Gotech testing Mechine with maximum burden of 1000 kg. The hardness testing was using Vickers Microhardness testing with burden of 1 kgf. The micro structure of the material observed was using a microscope and camera to take pictures of material's micro structure.

The result of the study showed increasing tensile strength (after the welding) The result of hardness testing showed an increase of hardness in all of the plate. In HAZ (Heat Affected Zone) area the micro structure formed was very dense between the ferrite matrix and pearlite matrix with very soft grain pattern and unclear HAZ area limit. IN the welding area, there were still black holes causing porous.



## DAFTAR ISI

KETERANGAN	HALAMAN
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>INTISARI</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR NOTASI / LAMBANG</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB I      PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah .....	1
1.3    Tujuan Penelitian .....	3
1.4    Batasan Masalah .....	3
1.5    Sistematika Penelitian .....	4
1.6    Tahap Penelitian .....	4
<b>BAB II     LANDASAN TEORI</b> .....	5
2.1    Pengertian Baja .....	5
2.2    Proses Produksi Baja .....	6
2.3    Struktur Mikro Besi Dan Baja .....	6
2.3.1    Diagram Fasa Besi Karbon .....	6

2.4	Klasifikasi baja .....	10
2.4.1	Baja Karbon Biasa .....	10
2.4.2	Baja Paduan Rendah .....	11
2.4.2.1	Pengaruh Unsur-unsur Paduan Baja .....	12
2.5	Karakteristik Fabrikasi Dari Baja Karbon Dan Baja Paduan .....	15
2.5.1	Mampu Mesin .....	15
2.5.2	Mampu Bentuk .....	15
2.5.3	Mampu Las .....	16
2.6	Pengelasan .....	18
2.6.1	Las Busur Nyala Listrik .....	21
2.6.2	Prinsip Kerja .....	22
2.6.3	Elektroda .....	23
2.6.4	Standarisasi Elektroda .....	23
2.6.5	Sifat-sifat Penutup Elektroda .....	24
2.7	Disain sambungan .....	28
2.7.1	Disain .....	28
2.8	Mesin Las .....	32
2.8.1	Mesin Las Otomatis .....	33
2.8.2	Mesin Las Arus Searah .....	34
2.8.3	Mesin Las Arus Bolak-balik .....	34
2.8.4	Mesin Las Titik .....	35
2.8.4.1	Kontrol Las Titik .....	36
2.8.5	Pesawat Las Roda .....	39
2.8.6	Mesin Las Otogen .....	40
2.8.7	Penyetelan Api Pada Las Karbit .....	41
2.8.8	Mesin Las TIG .....	44
2.8.9	Mesin Las MAG .....	45
2.9	Pengujian Baja .....	46
2.9.1	Pengujian Bersifat Merusak	

	Benda Uji .....	47
	2.9.1.1 Pengujian Tarik .....	47
2.9.2	Pengujian Bersifat Tidak Merusak	
	Benda Uji .....	50
	2.9.2.1 Pengujian Kekerasan Vickers ..	50
	2.9.2.2 Pengujian Struktur Mikro .....	53
<b>BAB III</b>	<b>PELAKSANAAN PENELITIAN .....</b>	<b>55</b>
3.1	Tahap Penelitian .....	55
3.2	Persiapan Bahan .....	55
3.3	Diagram Alir Penelitian .....	56
3.4	Pembuatan Spesimen Dan Proses Pengujian .....	57
	3.4.1 Persiapan Bnda Uji .....	57
	3.4.2 Pengelasan .....	57
	3.4.3 Uji Tarik .....	58
	3.4.4 Uji Kekerasan .....	59
	3.4.5 Uji Struktur mikro .....	60
	3.4.5.1 Pembuatan Sampel Uji .....	60
	3.4.5.2 Proses Pengujian .....	61
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>62</b>
4.1	Hasil Pengujian Tarik .....	62
	4.1.1 Spesimen Awal .....	63
	4.1.2 Spesimen Sambung Las Otogen .....	67
	4.1.3 Spesimen Sambung Las Titik/Tahan .....	70
4.2	Hasil Pengujian Kekerasan .....	72
	4.2.1 Spesimen Awal .....	72
	4.2.2 Spesimen Sambung Las Titik/Tahan .....	73
	4.2.3 Spesimen Sambung Las Otogen .....	73
4.3	Hasil Pengujian Struktur Mikro .....	75
	4.3.1 Spesimen Pelat A .....	75

	4.3.2	Spesimen Pelat B	77
	4.3.3	Spesimen Pelat C	78
4.4		Pembahasan	80
	4.4.1	Pengujian Tarik	80
	4.4.2	Pengujian Kekerasan	81
	4.4.3	Struktur Mikro	81
<b>BAB V</b>		<b>KESIMPULAN</b>	<b>83</b>
	5.1	Kesimpulan	83
	5.1.1	Uji Tarik	83
	5.1.2	Uji Kekerasan	83
	5.1.3	Struktur Mikro	84
	5.2	Penutup	85
	5.3	Saran	86
		<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>87</b>
		<b>LAMPIRAN</b>	<b>88</b>

## DAFTAR GAMBAR

No.	Keterangan	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	: Diagram fasa besi-karbon .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	: Struktur mikro baja karbon .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	: Skema proses las tempa .....	19
<b>Gambar 2.4</b>	: Peralatan busur nyala listrik .....	21
<b>Gambar 2.5</b>	: Berbagai bentuk sambungan .....	29
<b>Gambar 2.6</b>	: Lasan grove .....	30
<b>Gambar 2.7</b>	: Macam dan jenis kampuh penyambung ujung .....	32
<b>Gambar 2.8</b>	: Mesin las otomatis .....	33
<b>Gambar 2.9</b>	: Mesin las arus searah (DC) .....	21
<b>Gambar 2.10</b>	: Mesin las arus bolak-balik (AC) .....	35
<b>Gambar 2.11</b>	: Mesin las titik tetap .....	38
<b>Gambar 2.12</b>	: Mesin las titik yang dapat dipindah .....	39
<b>Gambar 2.13</b>	: Mesin las roda .....	40
<b>Gambar 2.14</b>	: Nyala api netral .....	41
<b>Gambar 2.15</b>	: Nyala api karburasi .....	42
<b>Gambar 2.16</b>	: Nyala api oksidasi .....	43
<b>Gambar 2.17</b>	: Tabung gas .....	43
<b>Gambar 2.18</b>	: Mesin las karbit .....	44
<b>Gambar 2.19</b>	: Skema las tungsten (TIG) .....	45
<b>Gambar 2.20</b>	: Skema las busur gas (MAG).....	46

<b>Gambar 2.21</b> : Diagram hubungan $\sigma$ dan $\varepsilon$ uji tarik benda liat .....	48
<b>Gambar 2.22</b> : Uji struktur mikro .....	53
<b>Gambar 3.1</b> : Diagram alir penelitian .....	56
<b>Gambar 3.2</b> : Spesimen uji tarik .....	57
<b>Gambar 3.3</b> : Spesimen uji kekerasan .....	59
<b>Gambar 3.4</b> : Spesimen uji struktur mikro .....	61
<b>Grafik 4.1</b> : Grafik pengujian tarik pelat baja .....	71
<b>Grafik 4.2</b> : Grafik pengujian kekerasan pelat baja .....	74
<b>Gambar 4.1</b> : Struktur mikro pelat A (awal) .....	75
<b>Gambar 4.2</b> : Struktur mikro pelat A (las titik) .....	76
<b>Gambar 4.3</b> : Struktur mikro pelat A (las otogen) .....	76
<b>Gambar 4.4</b> : Struktur mikro pelat B (awal) .....	77
<b>Gambar 4.5</b> : Struktur mikro pelat B (las titik) .....	77
<b>Gambar 4.6</b> : Struktur mikro pelat B (las otogen) .....	78
<b>Gambar 4.7</b> : Struktur mikro pelat C (awal) .....	78
<b>Gambar 4.8</b> : Struktur mikro pelat C (las titik) .....	79
<b>Gambar 4.9</b> : Struktur mikro pelat C (las otogen) .....	79

## DAFTAR NOTASI / LAMBANG

$\Delta L$	=	Pertambahan panjang, (mm)
$L$	=	Panjang benda uji, (mm)
$l$	=	Lebar spesimen, (mm)
$\varepsilon$	=	Regangan, (mm)
$\Psi$	=	Kontraksi, (mm <sup>2</sup> )
$A_0$	=	Luas penampang benda uji, (mm <sup>2</sup> )
$A_f/A_U$	=	Luas penampang akhir benda uji, (mm <sup>2</sup> )
$\sigma$	=	Tegangan, (kgf/ mm <sup>2</sup> )
$\sigma_p$	=	Tegangan proporsional, (kgf/ mm <sup>2</sup> )
$\sigma_y$	=	Yielding stress (tegangan elastis), (kgf/ mm <sup>2</sup> )
$\sigma_l$	=	Tegangan luluh, (kgf/ mm <sup>2</sup> )
$\sigma_t$	=	Tegangan tarik, (kgf/ mm <sup>2</sup> )
$\sigma_B$	=	Tegangan patah, (kgf/ mm <sup>2</sup> )
HB	=	Nilai kekerasan Brinell, (kgf/ mm <sup>2</sup> )
HV	=	Nilai kekerasan Vickers, (kgf/ mm <sup>2</sup> )
HRB	=	Nilai kekerasan Rockwell dengan peluru, (kgf/ mm <sup>2</sup> )
HRC	=	Nilai kekerasan Rockwell dengan kerucut, (kgf/ mm <sup>2</sup> )
F	=	Gaya desak intan, (kgf)

- d = Diameter bekas pijakan intan, ( $\mu$  m)
- P = Gaya desak intan pada spesimen, (kgf)

## DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
4.1	Penyimpangan data pelat A (bahan dasar)	64
4.2	Rasio deviasi terhadap deviasi standar	64
4.3	Penyimpangan data (baru)	65
4.4	Hasil pengujian tarik pelat A (bahan dasar)	65
4.5	Hasil pengujian tarik pelat A setelah dianalisa (bahan dasar)	66
4.6	Hasil pengujian tarik pelat B (awal)	66
4.7	Hasil pengujian tarik pelat C (awal)	66
4.8	Hasil pengujian tarik pelat A Sambung las Otogen	67
4.9	Hasil pengujian tarik pelat B Sambung las Otogen	67
4.10	Deviasi data sambungan pelat C Sambung las Otogen	67
4.11	Rasio deviasi terhadap deviasi standar	68
4.12	Penyimpangan data (baru)	68
4.13	Hasil pengujian tarik pelat C Sambung las Otogen	69
4.14	Hasil pengujian tarik pelat C Sambung las Otogen	69
4.15	Hasil pengujian tarik pelat A Sambung las Titik	70
4.16	Hasil pengujian tarik pelat B Sambung las Titik	70
4.17	Hasil pengujian tarik pelat C Sambung las Titik	70
4.18	Hasil uji kekerasan pelat (awal)	72
4.19	Hasil uji kekerasan dengan pengelasan Titik	73
4.20	Hasil uji kekerasan dengan pengelasan Otogen	73

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Semakin pesatnya perkembangan teknologi dewasa ini khususnya di bidang industri mengakibatkan banyak pula komponen-komponen logam yang dibutuhkan. Komponen-komponen logam yang diperlukan tersebut tentunya harus memiliki sifat-sifat yang baik. Kebutuhan akan bahan dengan sifat yang baik itulah yang mendorong penulis ingin mempelajari tentang keliatan, kekerasan dan struktur mikro suatu bahan. Dalam tugas akhir ini, penulis meneliti tiga jenis pelat pada kendaraan berbeda yang digunakan pada bodi kendaraan.

Penggunaan baja dalam bidang teknik, sering mengalami suatu masalah. Sebagai contoh, jika baja tersebut berfungsi sebagai bodi kendaraan dalam hal ini mobil dan mengalami kerusakan akibat suatu benturan atau adanya korosi, terjadi kecenderungan untuk menyambung atau menempel pelat baru dengan cara mengelas. Hal tersebut terjadi karena biaya operasional untuk mereparasi hanya pada bagian yang rusak lebih murah dibanding membeli komponen bodi yang baru.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Pada umumnya baja yang telah diproduksi, khususnya yang diperdagangkan di Indonesia telah memiliki standar internasional khususnya hak paten, misalnya standard menurut AISI, JIS, DIN, AFNOR, ASSAB, ODS, dan lain-lain. Hal ini

dilakukan untuk memudahkan penentuan jenis dan golongan baja. Baja yang telah diproduksi tersebut mengalami suatu pengujian sebelum hasil produk dipatenkan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jenis komposisi kimia penyusun, tingkat kekerasan, kekuatan tarik, temperatur hardening dan sebagainya.

Sifat-sifat khas bahan industri dalam hal ini baja, perlu dikenal secara baik karena bahan tersebut dipergunakan untuk berbagai macam keperluan dalam berbagai kondisi. Sifat-sifat bahan yang diinginkan sangat banyak, termasuk dalam hal ini : sifat-sifat mekanik (kekuatan, kekerasan, kekakuan, keliatan, keuletan, kepekaan takikan atau kekuatan impak dan sebagainya), sifat-sifat listrik (hantaran listrik dielektrisitasnya dan sebagainya), sifat-sifat magnetnya (permeabilitas, koersivitas, histresis, dan sebagainya), sifat-sifat thermal (panas jenis, pemuaian, konduktivitas, dan sebagainya), sifat-sifat kimianya (reaksi kimia, kombinasi, segregasi, ketahanan korosi, dan sebagainya), sifat-sifat fisik (ukuran, massa jenis, struktur mikro, dan sebagainya), sifat-sifat teknologi (mampu mesin, mampu keras, mampu las, dan sebagainya) dan masih banyak lagi lainnya.

Kebanyakan sifat-sifat tersebut ditentukan oleh jenis dan perbandingan atom-atom yang membentuk bahan, yaitu unsur-unsur dan komposisinya. Sebagai contoh, kadar suatu unsur yang sangat rendah terabaikan dalam suatu ketakmurnian bahan memberikan pengaruh terhadap sifat-sifatnya, sifat-sifat mekanik yaitu kekuatannya demikian juga sifat ketahanan korosi termasuk reaksi kimianya, dipengaruhi oleh adanya sedikit ketakmurnian, inklusi atau cacat mikro.

Bertitik tolak dari permasalahan tersebut, dalam penulisan ini penulis akan mengulas, membahas dan membandingkan tiga jenis pelat pada kendaraan yang berbeda, yaitu pelat yang digunakan pada mobil *Daihatsu*, *Hyundai*, *Mercedes Benz*. Ketiga macam baja ini digunakan pada bagian bodi kendaraan. Pelat Daihatsu (pelat A) mempunyai kandungan unsur sebagai berikut : (C 0,18%, Mn 0,592%, P 0,018%, Si < 0,002%) . Pelat Mercy (pelat B) (C 0,048%, Mn 0,198%, P 0,014%, Si < 0,002%). Pelat Hyundai (pelat C) (C 0,04%, Mn 0,025%, P 0,012%, Si 0,001%). Mengingat bahwa tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik, disini arti mampu las yang baik yaitu apakah logam tersebut dapat dengan mudah disambung dengan las, atau harus mendapat perlakuan khusus dalam pengelasan, misalnya harus dipanaskan dahulu atau tidak.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pengelasan terhadap sifat fisis dan mekanis pelat baja pada bodi kendaraan. Sifat fisis dan mekanis yang diteliti meliputi :

- a. Struktur mikro
- b. Kekuatan tarik
- c. Kekerasan

### **1.4 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini tidak semua jenis sifat fisis dan mekanis diteliti. Penelitian sifat mekanis hanya meliputi: kekuatan tarik, kekerasan, sifat fisis

hanya struktur mikro. Pengujian-pengujian ini dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah pengelasan.

### **1.5 Sistematika Penelitian**

Dalam penyusunan ini sistematika (metode) penelitian yang dipakai adalah sebagai berikut:

- a) *Ovservasi*: Pengamatan dan percobaan di laboratorium.
- b) *Study Literatur*: Mengadakan studi kepustakaan untuk mempelajari literatur dan referensi yang berkaitan dengan penulisan skripsi ini.
- c) *Experimen*: Melakukan percobaan langsung.
- d) *Dokumentasi*: Mengambil data-data mengenai percobaan dan memotret struktur mikro.
- e) *Analisis*: menganalisa data serta mengambil keputusan terakhir.

### **1.6 Tahap Penelitian**

Penelitian sifat-sifat fisis dan mekanis plat baja dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama adalah pengujian tarik, kekerasan dan struktur mikro sebelum pengelasan. Tahap kedua adalah pengujian tarik, kekerasan dan struktur mikro sesudah pengelasan. Pada tahap pertama pengujian dilakukan untuk mengetahui kekerasan, keuletan dan struktur mikro dari plat baja sebelum dilakukan pengelasan, sedangkan pada tahap kedua merupakan tahap penyambungan bahan dengan cara pengelasan (pengelasan OTOGEN dan pengelasan TITIK).

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Pengertian Baja**

Baja merupakan paduan, yang terdiri dari besi (Fe), karbon (C) dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian atau penempaan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja.

Besi dan baja merupakan logam yang banyak dipakai dan digunakan dalam dunia teknik, dan meliputi 95% dari seluruh produksi logam dunia, baik dalam bentuk pelat, lembaran, pipa, batang profil dan sebagainya. Untuk penggunaan tertentu, besi dan baja merupakan satu-satunya logam yang memenuhi persyaratan teknis maupun ekonomis, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dan tajam sekalipun pisau potong dapat dibuat, atau apa saja dengan bentuk struktur logam dapat dibuat dengan metode pengecoran. Dari unsur besi (Fe) berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat, itulah sebabnya mengapa besi dan baja disebut bahan yang kaya dengan sifat-sifat. Namun di beberapa bidang lainnya logam ini mulai mendapat persaingan dari logam bukan besi. Diperkirakan bahwa besi telah dikenal manusia disekitar tahun 1200 SM.

## 2.2 Proses produksi baja

Untuk memproduksi baja dapat ditempuh dengan cara pengecoran (*casting*), atau cara metalurgi serbuk (*powder metalurgy*). Pengecoran dilakukan dengan cara melebur biji besi yang diperoleh dari tambang dalam dapur tinggi (*blast furnance*). Dengan cara metalurgi serbuk kembali baja *scraps* dalam dapur pengolahan baja (*steel furnance*) atau melebur kembali baja *scraps* dalam dapur pengolahan baja (*steel furnance*). Dengan cara metalurgi serbuk (*powder metalurgy*), baja diperoleh dengan cara memadatkan (*compacting*) campuran serbuk besi lainnya dalam suatu wadah tertentu dan selanjutnya dilakukan pemanasan (*sintering*) terhadap hasil *compacting*.

## 2.3 Struktur mikro besi dan baja

### 2.3.1 Diagram fasa besi karbon

Diagram besi-karbon disebut juga diagram fasa atau diagram keseimbangan antara dua fasa, yaitu: larutan padat  $\alpha$  yang disebut "*ferrit*" dan senyawa logam  $\text{Fe}_3\text{C}$  yang disebut "*cementite*". Paduan besi-karbon ini sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja. Selain karbon pada besi dan baja terkandung kira-kira 0,25%Si, 0,3-1,5%Mn dan unsur pengotor lain seperti P, S, dan sebagainya. Karena unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama pada diagram fasa, maka diagram tersebut dapat dipergunakan tanpa menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. Titik-titik penting pada diagram fasa ini adalah:

A : Titik cair besi

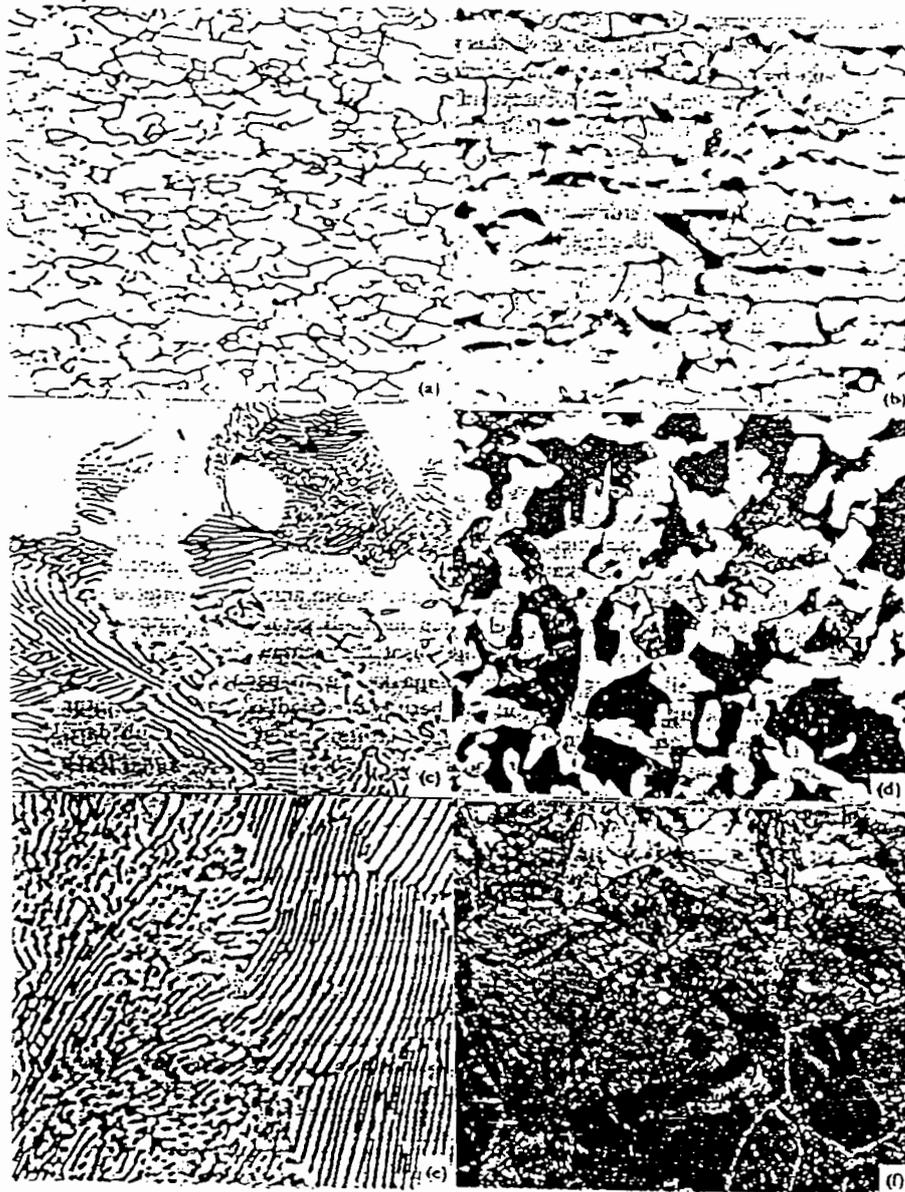
B : Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi peritektik



- J : Titik peritektik. Selama pendinginan austenit pada komposisi J, fasa  $\gamma$  terbentuk dari larutan padat  $\delta$  pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.
- N : Titik transformasi dari besi  $\delta$  dari dan ke besi  $\gamma$ , titik transformasi  $A_4$  dari besi murni.
- C : Titik autektik, selama pendinginan fasa  $\gamma$  dengan komposisi E dan sementit pada posisi F (6,67%C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa eutektik ini disebut ledeburit.
- E : Titik yang menyatakan fasa  $\gamma$ , ada hubungan dengan reaksi eutektik. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai pada posisi ini disebut baja.
- P : Titik yang menyatakan ferit, fasa  $\alpha$ , ada hubungan dengan reaksi eutektoid. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02%C.
- S : Titik eutektoid. Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi eutektoid ini dinamakan transformasi  $A_1$ , dan fasa eutektoid ini dinamakan perlit.
- GS : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dari austenit. Garis ini disebut garis  $A_3$ .
- ES : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk sementit dari austenit, dinamakan garis  $A_{cm}$ .
- $A_2$  : Titik transformasi magnetic untuk besi atau ferit.

$A_0$  : Titik transformasi magnetic untuk sementit.

Baja yang berkadar karbon sama dengan komposisi eutektoid dinamakan baja eutektoid, yang berkadar karbon kurang dari komposisi eutektoid disebut baja hypoeutektoid, dan yang berkadar karbon lebih rendah dari komposisi eutektoid disebut baja hypereutektoid.



**Gambar 2.2 : Struktur mikro baja karbon**  
(Surdia, T., Pengetahuan Bahan Teknik, hal 71)

## 2.4 Klasifikasi Baja

Baja merupakan paduan yang terdiri besi, karbon dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian atau penempaan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan keuletan baja. Berdasarkan unsur paduannya, klasifikasi baja mengikuti SAE (*Society of Automotive Engineers*) dan AISI (*American Iron and Steel Institute*), seperti tabel klasifikasi baja (terlampir).

Macam-macam kategori baja diantaranya sebagai berikut :

1. Baja karbon biasa (*plain-carbon steel*).
2. Baja paduan rendah (*hight-strength, low alloy steel*).
3. *Low-alloy steel structural steel*.
4. Baja tahan karat (*stainless steel*).
5. Baja tuang / cor (*cast steel*).
6. Baja perkakas (*tool steel*).
7. Baja penggunaan spesial / khusus (*special puspose steel*).

### 2.4.1 Baja karbon biasa

Baja karbon biasa merupakan jenis baja yang paling awal dikenal orang. Baja ini mempunyai komponen utama Fe dan C, baja ini dibedakan lagi menjadi :

1. Baja karbon rendah dengan kandungan karbon berkisar 0,05 – 0,30%.
2. Baja *karbon* sedang dengan kandungan karbon 0,30 – 0,50%.
3. Baja karbon tinggi dengan kandungan karbon lebih besar dari 0,5%.

Sifat umum baja karbon berdasarkan kadar % C :

1. Baja karbon rendah (0,05 – 0,3%)
  1. Kekuatan sedang, liat dan tangguh tapi lunak.
  2. Untuk komponen dengan tegangan rendah.
  3. Mudah dimesin dan dilas.
2. Baja karbon sedang (0,3 – 0,6%)
  1. Lebih keras dari pada baja karbon rendah.
  2. Lebih kuat dan tangguh.
  3. Sifat dapat dirubah dengan *heat treatment*.
3. Baja karbon tinggi (0,6 – 0,95%)
  1. Lebih keras tetapi kurang liat dan tangguh.
  2. Dapat di *heat-treatment* untuk memperkeras dan mempertinggi ketahanan aus.
  3. Untuk  $C > 0,96\%$  digunakan untuk *tool steel*.

#### **2.4.2 Baja paduan rendah**

Baja paduan rendah mengandung unsur-unsur paduan sebagai elemen tambahan pada Fe dan C. Unsur-unsur paduan tersebut dapat berupa : Mn (Mangan), Ni (Nickel), Cr (Kromium), Mo (Molibden), Si (Silikon) dan lain-lain. Umumnya kandungan masing-masing elemen paduan lebih kecil dari 5 %. Baja ini pada umumnya mendapat perlakuan panas (*heat treatment*) oleh pabrik pembuatnya.

Baja paduan dipisah menjadi :

1. Baja paduan rendah (jumlah unsur paduan khusus  $< 8,0\%$ )
2. Baja paduan tinggi (jumlah unsur paduan khusus  $> 8,0\%$ )

Pada umumnya baja paduan memiliki :

1. Keuletan yang tinggi tanpa pengurangan kekuatan tarik.
2. Kemampuan kekerasan sewaktu dicelup kedalam minyak atau udara, dan dengan demikian kemungkinan retak atau distorsinya kurang.
3. Tahan terhadap korosi dan keausan, tergantung pada jenis paduannya.
4. Tahan terhadap perubahan suhu, ini berarti sifat fisisnya tidak banyak berubah.
5. Memiliki kelebihan dalam sifat-sifat metalurgi, seperti butir yang halus.

Maksud penambahan unsur-unsur paduan :

1. Meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja.
2. Memperbaiki sifat-sifat baja.

#### **2.4.2.1 Pengaruh Unsur-unsur Paduan Baja**

Dibawah ini merupakan pengaruh unsur-unsur paduan pada baja antara lain :

1. Unsur paduan Karbon (C)

Karbon dengan unsur-unsur lain membentuk karbid kecuali dengan Ni dan Mn, yang bersifat keras tapi getas, tahan goresan dan tahan suhu.

2. Unsur paduan Molibden (Mo) dan Wolfram (W)

Molibden dan wolfram menambah kekerasan dan kekuatan terutama pada suhu tinggi serta menambah mampu keras.

### 3. Unsur paduan Sulfur (S) dan Phospor (P)

Semua baja mengandung unsur S dan P. Unsur-unsur ini sebagian berasal dari kotoran yang terbawa dari biji besi sebelum diolah dalam dapur tinggi. Kadar S dan P harus dibuat sekecil mungkin karena akan menurunkan kualitas dari baja. Kadar S dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu tinggi sedangkan unsur P menjadikan baja rapuh pada suhu rendah. Kadang-kadang unsur P perlu ditambahkan agar mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan juga untuk mendapatkan ukuran tatal lebih kecil ketika dikerjakan dengan mesin otomatis.

### 4. Unsur paduan Mangan (Mn)

Semua baja mengandung unsur mangan, kaarena Mn sangat diperlukan dalam pembuatan baja. Kadar Mn lebih kecil dari 0,6% tidak dianggap sebagai unsur paduan sebab tidak mempengaruhi sifat baja secara menyolok. Bila kadar Mn rendah dapat juga menurunkan kecepatan pendinginan kritis.

### 5. Unsur paduan Silikon (Si)

Unsur Si selalu terdapat dalam baja walaupun dalam jumlah yang sangat kecil. Si memberikan sifat mampu las dan mampu tempa. Silikon dapat menurunkan laju perkembangan gas sehingga mengurangi pori-pori baja. Unsur Si dapat juga menaikkan tegangan tarik, menurunkan kecepatan pendinginan kritis.

Unsur-unsur paduan pada baja dapat digolongkan menjadi :

1. Membuat baja lebih kuat dan ulet yang bereaksi dengan Fe seperti Ni, Mn, Cr dan Mo.
2. Membuat baja lebih keras jika bereaksi dengan C seperti Cr, W, Mo, V.

Penggolongan 1 terutama digunakan untuk baja konstruksi, sedang 2 terutama digunakan untuk baja perkakas dan baja pembentuk seperti pembentuk huruf nama.

Dari segi ilmu bahan, unsur-unsur paduan pada baja akan memberi pengaruh dalam hal :

1. Perubahan struktur fcc – bcc, suhu kritis akan berpindah ke atas (Cr, W, Mo, Si) atau ke bawah (Ni, Mn). Penyimpangan diagram sebanding dengan kadar unsur-unsur paduan yang terdapat pada baja. Peningkatan cukup banyak kadar Mn dan Ni (12 – 14%) dapat mengubah suhu kritis bawah, di bawah suhu kamar.
2. Titik eutektik (titik dimana suhu kritis atas dan bawah berada pada tempat yang sama) akan bergeser ke kiri pada diagram Fe-C.
3. Kecepatan pendinginan kritis akan lambat.

Pengaruh spesifik unsur paduan pada baja dapat dilihat pada tabel pengaruh unsur-unsur paduan pada baja (lampiran).

## **2.5 Karakteristik fabrikasi dari baja karbon dan baja paduan.**

### **2.5.1 Mampu mesin**

#### 1. Baja karbon rendah (0,05 – 0,3%)

*Machinability rating* 55% - 60% dari C1112 (AISI), hal ini dikarenakan baja jenis ini memiliki sifat lunak dan ulet selama dipotong baja ini timbul panas yang perlu diperhatikan karena bisa menimbulkan kecenderungan untuk terjadinya *built up* disisi potong dari pahat. Sehingga pemotongan menjadi tidak efesiensi.

#### 2. Baja karbon sedang (0,3% - 0,6%)

*Machinability rating* 55% - 70% dari B1112 (AISI). Baja dengan karbon sedang dapat dpotong lebih baik/mudah dibandingkan baja karbon rendah, tetapi gaya potong lebih besar.

#### 3. Baja karbon tinggi (0,6% - 0,95%)

*Machinability rating* sedikit lebih rendah dibandingkan baja karbon sedang. Baja ini keras, tetapi jika dibutuhkan permukaan yang halus dan dimensi yang akurat dipergunakan baja ini.

### **2.5.2 Mampu bentuk**

Mampu bentuk dari baja karbon rendah bagus. Semakin rendah kadar karbon dari suatu baja, maka semakin baik mampu bentuk dari baja tersebut. Untuk baja karbon sedang yang dibentuk dengan pengerolan dingin, memiliki keuletan rendah.

### 2.5.3 Mampu las

Konstruksi baja biasanya dibuat dengan jalan mengelas. Tidak dapat dihindari bahwa adanya perubahan sifat bahan disebabkan karena panas pada waktu pengelasan. Jadi di daerah pengelasan atau di daerah yang dipengaruhi oleh panas bisa terjadi pengerasan atau retakan. Derajat dari kesukaran, apakah sambungan dari lasan dapat memuaskan dan apakah konstruksi yang dibuat dengan jalan pengelasan dapat memenuhi maksud yang diinginkan, dinamakan mampu las. Hal yang terpenting, terutama terjadinya retakan atau terjadinya pengerasan atau turunnya keuletan pada sambungan las.

Antar muka antara logam penyambung dan logam induk pada daerah pengelasan dinamakan bagian pengikat, selanjutnya daerah yang dipengaruhi panas dari logam induk adalah daerah terpanaskan pada temperatur yang tinggi terdinginkan secara cepat yang menyebabkan daerah itu menjadi lebih keras. Baja karbon mempunyai mampu las yang baik, hanya jika presentase karbon dinaikkan, akan cenderung akan timbul *crack* (retak) dan mengeras pada saat dilas. Untuk menghindari terjadinya retak dan pengerasan, setelah pengelasan, maka untuk pengelasan medium dan high carbon steel perlu dilakukan *preheating* antara 500 - 600 °F dan *preheating* antara 1100 - 1200 °F, sehingga pembekuan yang cepat dapat dihindari.

Ada beberapa cara untuk mencegah retaknya lasan baja campuran. Pertama adalah pemanasan awal untuk menurunkan kecepatan pendinginan. Pemanasan awal biasanya sekitar 260 °C yang dilakukan sepanjang pengelasan. Cara lain adalah meniadakan adanya kontak kawah dengan hidrogen. Pada las

elektroda terbungkus, hendaknya memakai elektroda dengan kadar hidrogen rendah.

Proses pengelasan bebas hidrogen bisa diperoleh melalui las busur terpendam dan las busur-gas. Pemakaian gas pelindung seperti argon, helium atau  $\text{CO}_2$  dapat membatasi kontak hidrogen terhadap kawah lasan.

Dapat disimpulkan bahwa pada pengelasan baja campuran hendaknya dihindari pendinginan cepat. Bila pendinginan berlangsung cepat akan terbentuk martensite dengan struktur kristal yang getas (brittle). Lasan atau daerah cair benda kerja mudah retak atau getas. Disain sambungan, dimensi benda kerja dan komposisi campuran juga mempengaruhi kecepatan pendinginan. Konstruksi benda kerja secara keseluruhan berpengaruh terhadap timbulnya beban dalam.

Klasifikasi baja mampu las :

1. Baja yang berubah hampir seluruhnya pada suhu tinggi menjadi ferrite dan cementite pada waktu pendinginan biasanya berubah saat dilas. Kelompok ini adalah baja karbon rendah dan sedang serta plain karbon. Biasanya baja ini tidak memerlukan pemanasan awal, apalagi bila menggunakan elektroda dengan kadar hidrogen rendah. Untuk benda kerja besar dan tebal diperlukan pemanasan awal antara 93 s/d  $120^\circ\text{C}$ .
2. Baja yang menjadi martensite pada waktu pendinginan biasanya berubah pada pengelasan benda besar bila tidak diberi pemanasan awal. Pemanasan awal sampai  $240^\circ\text{C}$  sudah cukup untuk menurunkan kecepatan pendinginan sehingga terjadi transformasi sebagian ke ferrite dan cementite. Kelompok ini adalah baja yang mengandung karbon antara 0,30 s/d 0,40% dan mangan 1 s/d

2%, baja campuran chromium s/d 1% dan molybdenum serta nickel kurang dari 1%.

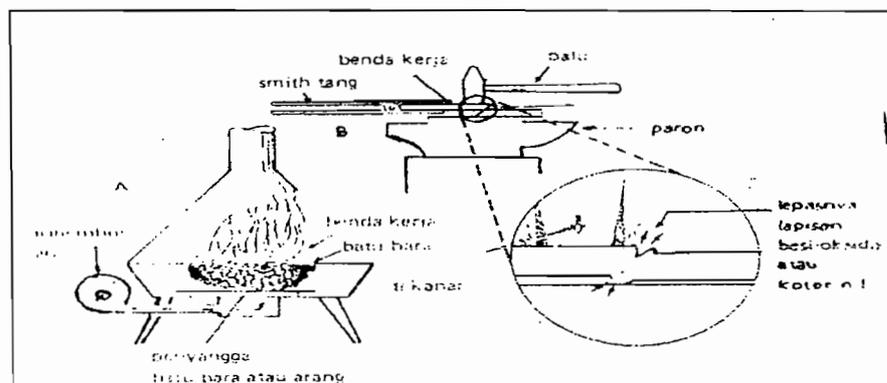
3. Baja yang hampir seluruhnya berubah menjadi martensite setelah pengelasan. Kekerasannya naik karena pendinginan yang cepat dan transformasi parsial kecuali diberi pemanasan awal. Pada pengelasan benda besar dengan restraint yang tinggi diperlukan pemanasan awal dan akhir. Masuk kelompok ini adalah baja yang mengandung Cr 2 s/d 9% Mo s/d 1%, baja chromium, baja martensite tahan karat, baja karbon tinggi dengan unsur campuran Ni – Cr - Mo, dan *high strength* Mn – Mo – V.
4. Baja campuran kadar tinggi dengan unsur campuran Cr – Ni, Cr – Ni – Mo, atau Cr – Ni – Mn austenic tahan karat. Pendinginan setelah pengelasan hampir tidak berpengaruh terhadap kualitas lasan. Retak mungkin timbul bila terjadi kesalahan kimiawi atau struktur kristalnya terlalu besar.

## 2.6 Pengelasan

Asal mula dipakainya las untuk menyambung logam berada jauh di abad perunggu dan sulit dilacak kapan istilah “LAS” (*WELD*) mulai dipakai. Pada tahun 3000 SM bangsa Mesopotamia telah menerapkan proses solder lunak. Tanduk rusa disolderkan sebagai relief hiasan. Dua ratus kemudian, 2800 SM, solder perak dipakai dalam proses pembuatan vas bunga di Entemena.

Beberapa ahli sependapat bahwa 4000 tahun yang lalu bangsa Mesir sudah mengenal cara menyambung logam dengan cara proses pemanasan dan penekanan. Salah satu bukti ditemukannya dilembah daerah kerajaan pada tahun

1922 yang mengisyaratkan bahwa peti jenazah Raja Tutankhaman diperkirakan dibuat sekitar tahun 1360 SM dengan melibatkan proses pengelasan. Contoh lain adalah patung raksasa Rhoudes setinggi 35 meter yang kini termasuk salah satu dari tujuh keajaiban dunia dibuat sekitar tahun 290 SM ternyata kerangkanya dibuat dari besi dengan konstruksi las. Satu lagi, sebuah pedang baja yang diperkirakan dibuat sekitar 1200 tahun yang lalu di Ukraina dan hingga kini masih baik juga merepkan proses las. Era awal perkembangan peradaban teknologi las diawali dengan diketemukannya proses las tempa.



**Gambar 2.3 : Skema proses las tempa**  
(Alip, M., Teori dan Praktek Las, hal 2)

Dari tahun ke tahun pengelasan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari pertumbuhan dan peningkatan industri, karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Hampir tidak mungkin menyebut pembangunan suatu pabrik atau mereparasi suatu komponen permesinan tanpa

melibatkan unsur pengelasan. Peran las dalam produksi pun semakin hari semakin meningkat. Sebagai contoh, dalam proses produksi sarana transportasi, hampir semua orang mau tak mau pernah atau harus memakai sarana transportasi, las berperan sebagai proses penyambungan logam yang paling handal dalam dunia industri.

Prinsip daripada proses pengelasan dibagi dua yaitu :

1. Las penggabungan
2. Las bukan penggabungan

Las penggabungan dibagi menjadi dua yaitu :

1. Yang dibangkitkan secara listrik, jenis dan macam dari las dengan metode ini, diantaranya, seperti : *electron beam, inert gas, submerged arc, fluxcored arc, shielded metal arc, carbon arc, electro gas, plasma arc, atomoc hydrogen, laser beam* dan *stud welding*.
2. Yang dibangkitkan dengan energi kimia, jenis dan macam dari yang menggunakan metode ini, diantaranya seperti : *thermit welding, oxyacetylene*.

Las yang bukan penggabungan dibagi menjadi :

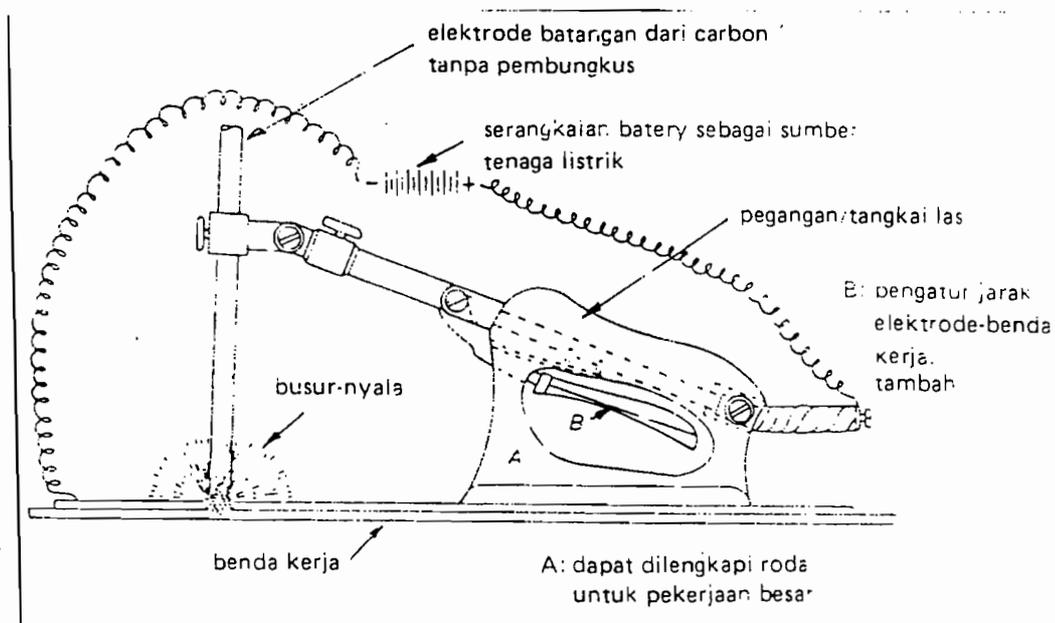
1. *Brazing*, jenis las dengan metode ini seperti : *torch, induction, resistance* dan *dip brazing*.
2. *Force welding*, jenis las dengan metode ini, dibagi lagi menurut sumber yang dipakai :
  - a. Pembangkit energi kimia, seperti *black smith, explosive, water gas* dan *pressure gas welding*.

- b. Pembangkit energi mekanik, seperti : *friction, ultrasonic, cold* dan *pressure welding*.
- c. Pembangkit energi listrik, seperti : *resistance, flash* dan *electro slag welding*.

Namun untuk membatasi permasalahan penulis hanya akan membahas mengenai las listrik, sesuai dengan dalam pelaksanaan penelitian.

### 2.6.1 Las busur nyala listrik

Las busur nyala listrik ini, ditemukan sekitar awal abad 19, dengan memperkenalkan metode baru, yaitu las busur-nyala listrik (*Electric Arc Welding*) dengan elektroda karbon batangan tanpa pembungkus dengan menggunakan battery sebagai sumber tenaga listrik. Disain peralatannya pun masih sederhana. Kelemahan utama proses las listrik- karbon adalah oksidasi yang sangat tinggi pada lasan (lasan mudah karatan) sehingga las ini belum banyak dipakai.



**Gambar 2.4** Peralatan las busur nyala listrik, th 1885  
(copy of British patent, 1885)

Namun jenis las elektroda busur nyala api ini mampu bertahan cukup lama. Selama beberapa dekade las busur elektroda batangan mendominasi pasaran menggeser las oxy-acetylene karena kemampuannya lebih besar dan prosesnya lebih cepat. Terutama untuk benda-benda tebal. Keterbatasan las busur elektroda batangan adalah panjang elektroda relatif terbatas, sehingga setiap periode tertentu pengelasan harus berhenti mengganti elektroda. Efisiensi bahan tambah jauh dari 100% karena mesti ada keuntungannya.

### **2.6.2 Prinsip kerja**

Pada dasarnya instalasi pengelasan busur logam terdiri dari bagian-bagian penting sebagai berikut :

1. Sumber daya, menggunakan arus bolak-balik (ac) atau arus searah (dc)
2. Kabel timbel las dan pemegang elektroda
3. Kabel balik las (bukan timbel hubungan ke tanah) dan penjepit
4. Hubungan ke tanah

Dua tipe arus las yang digunakan : a.c yang mengubah dari negatif menjadi positif pada frekuensi jaringan dan d.c yang mengalir hanya dalam satu arah.

Sumber jaringan a.c tidak sesuai dengan pengelasan karena voltase terlalu tinggi dan arus terlalu rendah. Transformator digunakan untuk mengubah ini ke nilai yang sesuai untuk pengelasan, yakni voltase rendah, kekuatan arus (ampere) tinggi, tapi masih merupakan arus bola-balik.

### **2.6.3 Elektroda**

Pada dasarnya bila ditinjau dari logam yang dilas, kawat elektroda dibedakan menjadi lima grup besar, yaitu :

1. Elektroda untuk baja lunak.
2. Elektroda untuk baja karbon tinggi.
3. Elektroda untuk baja paduan.
4. Elektroda untuk besi tuang.
5. Elektroda untuk logam non ferro.

Karena filler metal harus mempunyai kesamaan dengan logam induk, berarti tidak ada elektroda yang dapat dipakai untuk semua jenis pengelasan. Demikian pula untuk ukuran diameternya. Didalam kenyataannya pemilihan ukuran diameter tergantung pada perencanaan, ukuran las, posisi pengelasan, input panas serta pengalaman tukang las. Atau dengan kata lain bahwa tiap ukuran diameter elektroda mempunyai kaitan dengan besarnya amper yang harus lewat pada elektroda tersebut.

### **2.6.4 Standarisasi elektroda**

Biasanya pabrik yang memproduksi elektroda untuk pengelasan, telah mengategorikan produk elektroda tersebut sesuai dengan kebutuhan, missal untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan dan lain-lain. Elektroda-elektroda tersebut sebelum dipatenkan terlebih dahulu, dicek apakah suatu produk elektroda tersebut telah sesuai standar secara nasional maupun internasional. Banyak sertifikat standarisasi secara internasional, seperti standarisasi menurut :

ASME, AWS, BS, DIN, ISO, NBN, NEN, NF dan lain sebagainya. Namun yang umum beredar dipasaran khususnya di Indonesia, standarisasinya menurut AWS (American Welding Society) dan BS (British Standart). Standarisasi ini dimaksudkan untuk memperlihatkan apakah pabrik telah memenuhi standar yang telah dikeluarkan untuk pekerjaan yang khusus. Bagian pertama pemberian kode adalah wajib (sampai dengan huruf penutup). Selebihnya dapat ditambahkan pada kebijaksanaan pabrik.

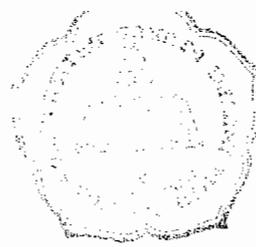
Sebagai contoh : kode lengkap E5133B16020(H)

Bagian wajib E5133B

Keterangan kode selengkapnya diberikan dalam tabel keterangan kode elektroda (lampiran).

### **2.6.5 Sifat-sifat penutup elektroda**

*Kode huruf A.* Elektroda-elektroda tipe asam mempunyai penutup sedang atau tebal dan menghasilkan oksidasi besi/oksida mangan/terak silika, yang sifat metalurginya asam. Penutup terdiri dari, selain oksida besi atau mangan, suatu presentase besi mangan yang agak tinggi dan atau pereduksi. Terak mengeras dalam struktur sarang madu yang khas dan mudah terlepas. Tipe elektroda ini biasanya mempunyai tingkat peleburan yang tinggi dan dapat digunakan dengan intensitas arus yang tinggi. Penetrasi akan baik khususnya, jika penutup tebal. Elektroda ini paling cocok untuk pengelasan dalam posisi mendatar akan tetapi dapat juga dipergunakan dalam posisi lain. Baik arus searah maupun bolak-balik dapat dipakai. Dengan elektroda tipe ini kemampuan las induk harus baik, karena



jika tidak peretakan akibat pembekuan dapat terjadi. Kepekaan terhadap peretakan pembekuan terutama lebih ditandai dalam las horizontal vertikal atau las sudut tegak bila kadar karbon sebenarnya melampaui kira-kira 0,24%, baja yang dipukul lebih peka daripada baja yang dirim, dan bila kadar sulfur melampaui 0,05% pada baja yang dipukul dan 0,06% pada baja yang dirim.

*Kode huruf AR.* Elektroda tipe ini asam rutile biasa mempunyai suatu penutup yang tebal, yang menghasilkan suatu terak yang sangat menyerupai terak yang diuraikan dalam tipe A. Biasanya terak ini agak bersifat sulfida. Sifat-sifat tipe AR umumnya sangat menyerupai tipe A dalam semua aspek, keadaan yang berbeda adalah penutup yang mengandung titanium oksida, jumlahnya tidak lebih dari 35%. Diantara kedua tipe A dan AR, beberapa campuran mungkin terjadi, akan tetapi bila jumlah oksida lebih besar daripada jumlah total besi dan atau oksida mangan, penutup dianggap tipe AR. Jika sebagai ganti campuran oksida besi dan oksida titanium, ilmenit yang dipergunakan, aturan yang sama dikenakan.

*Kode huruf B.* Elektroda tipe dasar yang biasanya mempunyai penutup yang tebal yang mengandung jumlah kalsium yang banyak atau karbonat dasar lainnya dan fluorspar, sehingga secara metalurgi merupakan sifat dasarnya. Terdapat terak sedang tebal, yang sering kali berwarna coklat sampai coklat tua dan mempunyai rupa yang megkilap. Mudah terlepas, dan karena dengan cepat ke permukaan las, termasuknya terak tidak mungkin terjadi. Tipe elektroda jenis ini menghasilkan suatu busur api untuk penetrasi rata-rata, dan secara umum cocok untuk pengelasan dalam segala posisi. Tipe ini sering dipergunakan untuk arus

searah, elektroda positif, akan tetapi ada elektroda yang dapat digunakan pada arus bolak-balik.

Karena logam yang mengendap bersifat melawan terhadap pembekuan dan peretakan dingin, elektroda ini khususnya cocok untuk pengelasan bagian-bagian berat dan struktur baja yang sangat kaku. Juga dianjurkan untuk pengelasan baja tarik sedang dan baja kadar karbon dan sulfurnya lebih tinggi daripada baja karbon yang berkualitas mampu las baik. Penutup elektroda dasar haruslah sangat kering, karenanya elektroda ini perlu disimpan didalam tempat yang sangat kering atau, jika elektroda ini sudah menghisap air, dikeringkan sebelum digunakan, sesuai dengan rekomendasi pabrik. Ini menjamin logam yang mengendap akan memiliki kadar hydrogen yang rendah, dan berkurangnya resiko keretakan lapisan bawah pada waktu pengelasan baja mungkin memperlihatkan suatu pengerasan yang nyata didaerah yang dipengaruhi panas.

*Kode huruf C.* Elektroda dari tipe ini selulosa yang mempunyai suatu penutup yang mengandung sejumlah besar bahan-bahan organik yang mampu bakar, sehingga endapan yang terakhir pada busur api menghasilkan perisai gas yang trbal. Jumlah terak yang diproduksi kecil dan terak mudah terlepas. Tipe elektroda ini ditandai dengan busur berpenetrasi tinggi dan kadar peleburan yang agak tinggi. Kehilangan percikan agak besar dan permukaan las agak kasar, dengan kerutan yang jaraknya tidak sama. Elektroda ini biasanya cocok untuk pengelasan segala posisi.

*Kode huruf O.* Elektroda dari tipe oksidasi yang mempunyai suatu penutup yang tebal yang terutama dari oksida besi dengan atau tanpa oksida

mangan. Penutup menimbulkan suatu terak oksidasi sehingga logam yang mengendap mengandung hanya sejumlah kecil karbon dan mangan. Terak berat, padat dan sering terlepas sendiri. Tipe elektroda ini menghasilkan penetrasi yang tidak baik dan genangan fluida cair, dan terutama cocok apabila dibutuhkan suatu las yang kecil. Biasanya kegunaan terbatas pada pengelasan posisi las sudut horisontal vertikal dan posisi las sudut. Elektroda ini dipergunakan terutama untuk pengelasan baja bila rupa las lebih penting daripada kekuatan mekanik sambungan.

*Kode huruf R dan RR.* Elektroda tipe rutil yang mempunyai suatu penutup yang terdiri dari sejumlah besar rutil atau komponen-komponen yang diterima dari oksida titanium. Biasanya jumlah ini sampai 50% per kelompok (dengan tidak memperhitungkan jumlah selulosanya). Tipe R dapat dibedakan dari tipe AR melalui teraknya yang lebih berat. Kadang-kadang perbedaan ini tidak dapat dengan mudah dikenali, terutama elektroda yang mempunyai penutup sedang, akan tetapi jumlah rutil pada penutup yang baik adalah diatas 45%.

Karena perbedaan aplikasi dan juga sifat-sifat mekanik, sub bagian sebagai berikut :

- a. R penutup dengan ketebalan sedang. Sejumlah kecil bahan selulosa, sampai dengan maksimum sebesar 15% mungkin ada pada penutup. Elektroda ini khususnya cocok untuk pengelasan pada posisi vertikal dan diatas kepala.

- b. RR penutup dengan ketebalan berat. Sejumlah kecil bahan selulosa, sampai dengan maksimum sebesar 5%, kadang-kadang ada pada penutup. Terak berat, padat dan biasanya terlepas sendiri.

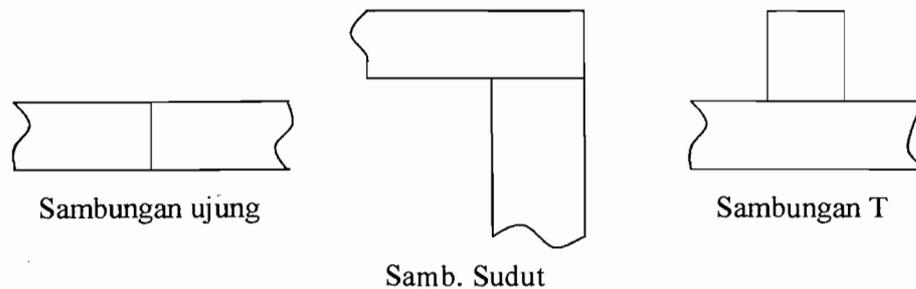
## **2.7 Disain sambungan**

Berbagai macam bentuk kampuh atau cara penyambungan lasan, sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dalam pengelasan. Cara metode penyambungan tersebut, telah distandarisasikan yang dibuat oleh berbagai kelompok profesional antara lain American Welding Society (AWS), American Society of Mechanical Engineers (ASME), dan American Petroleum Institute (API). Ketiganya merupakan kelompok profesional di Amerika yang bersifat non pemerintah, tetapi dipatuhi bersama antara produsen dan konsumen. Untuk standar Jepang ada Japan Industri Standart (JIS) dan di Indonesia ada Standart Industri Indonesia (SII). Namun dalam bahasan ini, hanya akan diurai mengenai disain dan simbol menurut standar AWS.

### **2.7.1 Disain**

Geometris sambungan lebih banyak ditentukan oleh hubungan antar bagian struktur benda kerja yang akan disambung. Geometris lasan ditentukan oleh geometris sambungan, ketebalan bagian yang disambung, efisiensi pengelasan dan kekuatan yang diharapkan. Konfigurasi bentuk sambungan dibedakan menjadi lima, yaitu : sambungan ujung (bult), sambungan T,

sambungan sudut, sambungan tumpang dan sambungan tepi, seperti tampak pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5 : Berbagai bentuk sambungan**  
(Alip, M., Teori dan Praktek Las, hal 142)

Sambungan ujung dipakai bila :

- a. Kerataan permukaan kedua bagian yang disambung merupakan persyaratan atau dikehendaki, misal sambungan gelagar, rangka lantai dan sebagainya.
- b. Penembusan bisa sempurna sehingga kekuatan bisa disamakan dengan benda asli.
- c. Kekuatan mekanis yang diminta tidak terlalu besar atau sudah memenuhi syarat.

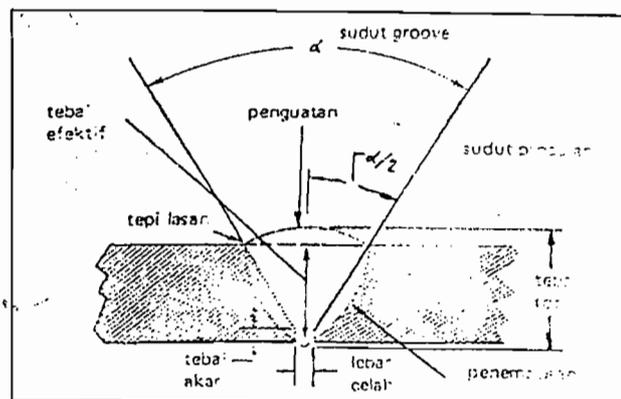
Sambungan T dan sambungan sudut sudah cukup jelas. Dibuat untuk menyambung dua bagian benda yang berpotongan ditengah atau diujungnya. Kedua bagian benda relatif tebal sehingga diperhitungkan mampu menumpu beban mekanis yang ada. Sambungan tumpang dipakai untuk menyambung dua bagian benda dengan karakteristik :

- a. Kedua bagian relatif tipis untuk dibuat sambungan ujung.

- b. Bila dibuat sambungan, ujung diperhitungkan lasan tidak mampu menahan beban mekanis yang ada.
- c. Kerataan permukaan sambungan tidak dipersoalkan.

Sambungan tepi dibuat sebagai bentuk lain dari sambungan ujung, T atau sambungan sudut. Salah satu atau kedua bagian benda kerja terlalu tipis sehingga diperhitungkan kurang kuat bila dilas dengan salah satu dari tiga bentuk sambungan tersebut. Tepi plat ditekuk sebelum dilas. Tekukan tersebut menambah ketegaran sambungan disamping menahan atau menghindari timbulnya defleksi yang sering timbul pada lasan pelat tipis.

Konfigurasi lasan dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu *grove* dari *fillet*, tampak seperti gambar 2.6.



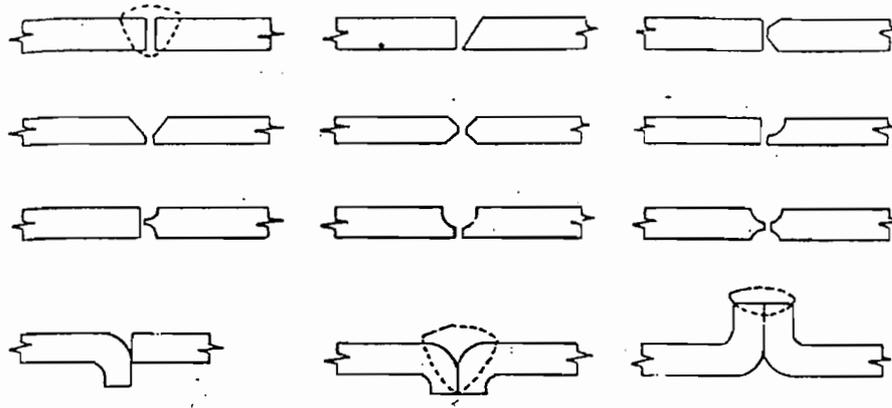
**Gambar 2.6 : Lasan groove**  
(Alip, M., Teori dan Praktek Las, hal 144)

Lasan *grove* dapat dijumpai pada sambungan ujung dan tepi. Lasan fillet dipakai pada sambungan T, tumpang dan tepi. Untuk memenuhi kekuatan mekanis lasan, lasan *grove* sering dikombinasikan dengan fillet. Lasan kombinasi dapat dipakai bersama pada sambungan tepi. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam pengelasan. Untuk *grove* meliputi tebal efektif, penguatan, tebal total, tebal akar, lebar celah, sudut pinggul (sudut *grove*), penembusan dan tepinya. Komponen-komponen lasan fillet yang perlu diperhatikan meliputi tebal riil terhadap tebal teoritis, penembusan, akar, kaki (tegak dan datar), penguatan dan permukaan lasan.

Untuk meningkatkan tercapainya penembusan, sebagai salah satu faktor utama kekuatan lasan, pada berbagai tebal benda kerja, maka dikembangkan berbagai bentuk *grove*. *Grove* dapat dibedakan menjadi bentuk :

1. Bentuk I.
2. Setengah I (bentuk T).
3. Bentuk V.
4. V ganda (bentuk X).
4. Setengah V.
5. Setengah V ganda (bentuk K).
6. Bentuk U.
7. U ganda.
8. Bentuk J (setengah U).
9. J ganda.

Kombinasi berbagai bentuk lasan pada berbagai bentuk sambungan untuk berbagai tebal bahan dapat dilihat seperti pada gambar 2.7 berikut :



**Gambar 2.7 : Macam dan jenis kampuh penyambungan ujung**  
(Alip, M., Teori dan Praktek Las, hal 147)

Untuk menentukan bentuk lasan berdasar tebal benda kerja, bukanlah pekerjaan mudah, untuk memudahkan hal tersebut terdapat standarisasi dari metode pengelasan yang tepat, seperti pada tabel hubungan antara bentuk sambungan, lasan dan tebal bahan serta dimensi lasan (lampiran).

## 2.8 Mesin las

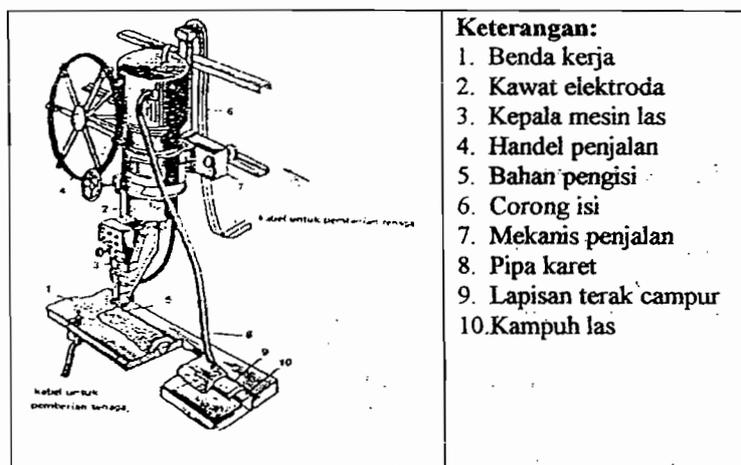
Mesin las digunakan untuk membagi tegangan untuk dapatkan busur nyala yang memberikan panas untuk digunakan mencairkan/melumerkan logam-logam yang dilas/disambung.

Mesin las memperoleh sumber tenaga atau dinamo las digerakan oleh :

1. Aliran listrik dari gardu listrik (jaringan kabel) dimana arus listrik dari gardu listrik masih mempunyai tegangan listrik yang tinggi yang belum dapat digunakan arus las, sehingga arus listrik ini harus diubah dulu menjadi arus las/searah melalui transformator.
2. Motor listrik, motor bensin atau motor diesel melalui generator.

### 2.8.1 Mesin las otomatis

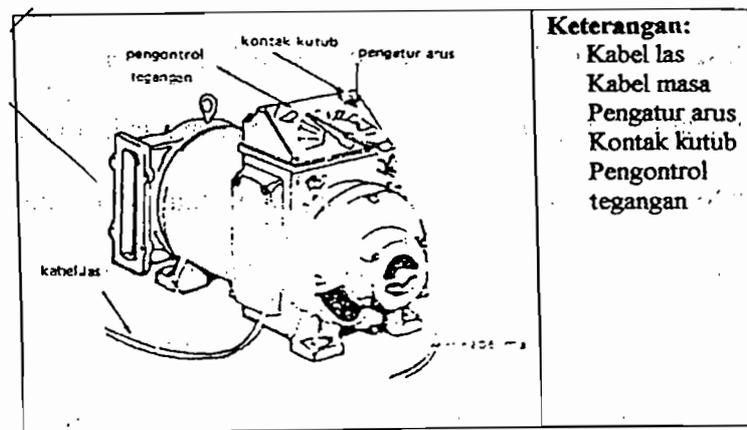
Mesin las otomatis memberikan busur nyala dari pengisian kampuh las sewaktu mengelas dilakukan dengan pengaturan mekanik-mekanik spesial yang terdapat pada unit mesin las tersebut. Mesin las otomatis ini dapat menyelesaikan pengelasan secara produksi (massal) dan dapat mengelas benda kerja dan mesin-mesin berat yang berguna dalam industri.



**Gambar 2.8 : Mesin las otomatis**  
(Alip, M., Teori Dan Praktek Las, hal 13)

### 2.8.2 Mesin Las Arus Searah

Pesawat las arus searah (DC) dapat berupa pesawat transformator rectifier, pembangkit listrik motor diesel atau motor bensin maupun pesawat pembangkit listrik yang digerakan oleh motor listrik. Salah satu jenis dari pesawat las ini adalah yang digerakan oleh motor listrik.

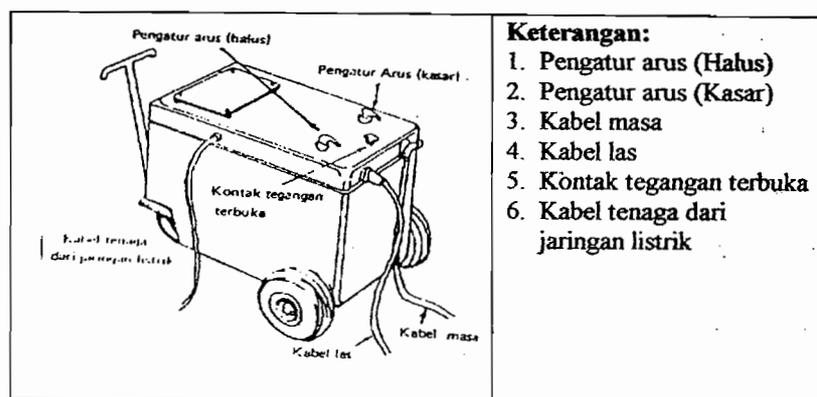


**Gambar 2.9 : Mesin las Arus searah**

### 2.8.3 Mesin Las Arus Bolak-balik (AC)

Mesin las arus AC memperoleh busur nyala dari transformator dimana didalam pesawat ini arus dari jaring-jaring listrik diubah menjadi arus bolak-balik oleh transformator yang sesuai dengan arus yang digunakan untuk mengelas sehingga mesin las ini disebut juga mesin transformator. Transformator las mempunyai dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder dimana kumparan primer dililit oleh kawat tembaga yang berukuran kecil dengan jumlah yang banyak, sedangkan kumparan sekunder dililit oleh kawat tembaga

yang berukuran lebih besar dengan jumlah yang lebih sedikit dan dalam transformator terdapat sebuah inti besi (regulator) yang dapat digerakan untuk mengatur besarnya arus listrik dalam pengelasan. Dalam penelitian pengelasan jenis pengelasan yang digunakan adalah : las titik dan otogen/karbit.



**Gambar 2.10 : Mesin las arus bolak-balik (AC)**  
(Alip, M., Teori Dan Praktek Las, hal 11)

#### 2.8.4 Mesin las titik/tahanan

Pengelasan titik ( spot welding ) adalah suatu bentuk tahanan dimana suatu las dihasilkan pada suatu titik pada benda kerja diantara elektroda-elektroda pembawa arus, luas pengelasan tersebut sama degan luas ujung elektrodanya, elektroda yang digunakan adalah elektroda paduan tembaga

yang mempunyai tahanan terhadap aliran listrik yang lebih kecil dari pada bahan yang akan dilas. Gaya yang dikenakan terhadap titik, yang biasanya melalui elektroda, secara kontinu di seluruh proses ( tidak ada busur api yang dibentuk ).

Pesawat las titik hanya digunakan untuk mengelas sambungan pada pelat tipis dimana benda kerja yang akan dilas dijepit diantara dua elektroda yang bentuknya runcing, elektroda ini dihubungkan dengan sumber arus, biasanya sebuah transformator yang dapat memberikan arus yang besar dengan tegangan yang sangat rendah. Untuk benda-benda yang kecil dipakai las titik yang tetap sedangkan untuk benda-benda kerja yang besar dipakai las titik yang dapat dipindah-pindahkan.

Las titik diklasifikasikan menjadi 3 ( tiga ) :

1. Spot resistance welding.
2. Seam resistance welding.
3. Projection resistance welding.

#### **2.8.4.1 kontrol las titik**

Aktivitas las titik menyangkut squeeze, weld, hold dan oof time. Ini membutuhkan ketepatan, untuk itu maka perlu dikontrol untuk menjaga kualitas las-lasan tersebut. Control las titik ada tiga macam yaitu dengan cara mekanis, thyritron dan ignitron.

Pada dasarnya kontrol ini bekerja atas dasar pengaturan waktu squeeze, weld, hold dan off time guna memutus dan menghubungkan

rangkaiannya listrik. Pada cara mekanis putus hubungannya kontaktor itu dilakukan oleh kontaktor jenis mekanis. Pada cara thyritron dengan menggunakan : anode, grid dan cathoda di dalam tabung hampa yang berisikan air raksa yang masih juga dibantu oleh kontaktor mekanis.

Sedang ignitron adalah merupakan anoda dan cathoda didalam tabung yang hampa berisikan air raksa cair.

Pada kontaktor terakhir bila temperatur tinggi terjadi pada tabung ignitron, maka air raksa menguap, hingga level air raksa memutuskan hubungan dengan Thycontactor sehingga sirkit listrik putus. Karena begitu panasnya pada tabung ignitron, dan agar tabung tidak lumer diperlukan pendinginan. Mesin las ini dilengkapi dengan beberapa alat pengatur seperti

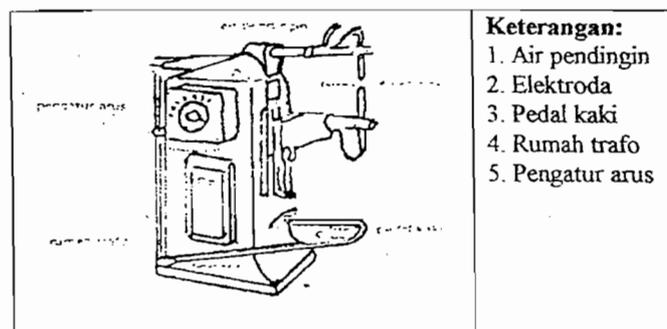
1. Pengatur arus
2. Pengatur waktu
3. Pengatur kuatnya penekanan elektroda

Pemilihan bentuk elektroda yang tepat, sangat tergantung pada bentuk dan ukuran benda yang akan dikerjakan. Jadi setiap mesin las titik dilengkapi dengan beberapa elektroda yang dapat dipasang sesuai dengan keperluan untuk mengelas bahan.

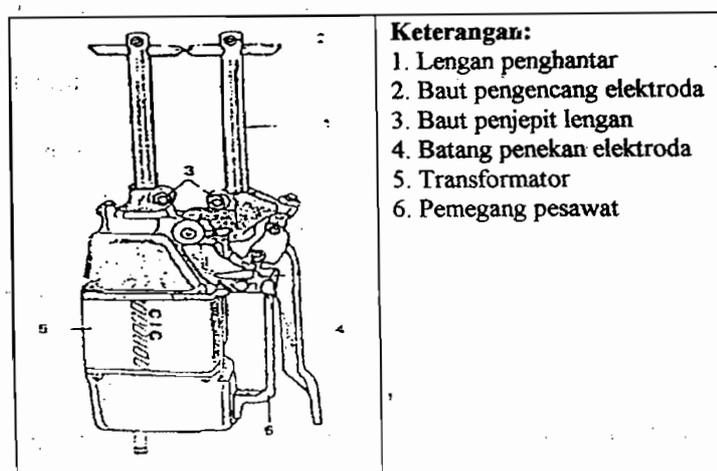
Dalam pengaturan arus las, yang harus diperhatikan adalah data-data yang ada pada mesin. Untuk tiap tebal bahan maka arus yang digunakan juga berbeda-beda, aturlah arus sesuai keperluan dengan cara menggabungkan kontak sumbat (shorting plug) sesuai dengan petunjuk pada data-data pengaturan.

Lamanya waktu penekanan juga mempengaruhi kualitas hasil pengelasan, oleh karena itu harus disesuaikan antara tebal bahan dengan lamanya penekanan.

Elektroda yang digunakan dari bahan tembaga, paduan-paduan tembaga atau bahan lain yang lebih keras. Pada mesin las-titik yang besar, pada saat bekerja, elektroda-elektrodanya didinginkan dengan air. Permukaan pada ujung-ujung elektroda harus rata dan memiliki ukuran antara 3/16" sampai dengan 3/8", bila pada ujung elektroda mengalami kerusakan dapat diperbaiki dengan cara mengikirnya. Elektroda-elektroda yang dibuat dalam berbagai bentuk disesuaikan dengan keperluan pengelasan.



**Gambar 2.11 : Mesin las titik tetap**  
(Alip, M., Teori Dan Praktek Las, hal 6)

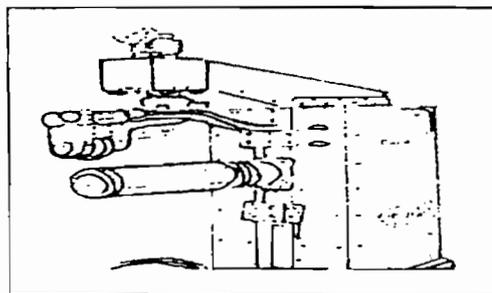
**Keterangan:**

1. Lengan penghantar
2. Baut pengencang elektroda
3. Baut penjepit lengan
4. Batang penekan elektroda
5. Transformator
6. Pemegang pesawat

**Gambar 2.12 : Mesin las titik yang dapat dipindah**  
(Alip, M., Teori Dan Praktek Las, hal 7)

### 2.8.5 Pesawat Las Roda

Prinsip kerjanya sama dengan pesawat las titik, hanya perbedaannya terletak pada ujung elektroda yang berbentuk roda yang dapat berputar dimana hasil pengelasannya adalah pada benda kerja pada penyambungan kampuh secara memanjang.



**Gambar 2.13 : Mesin las roda**  
(Alip, M., Teori Dan Praktek Las, hal 20)

### 2.8.7 Mesin Las Otogen/Karbit

Pengelasan ini merupakan pengelasan dengan oxy-acetylene dimana proses pengelasan secara manual pada permukaan logam yang akan disambung mengalami pemanasan hingga mencair oleh nyala gas acetylene melalui pembakaran  $C_2 H_2$  dan  $O_2$  dengan atau tanpa logam pengisi dimana proses penyambungannya tanpa tekanan.

Pemakaiannya antara lain untuk keperluan produksi, kerja lapangan dan reparasi. Pada umumnya pengelasan ini sangat memuaskan bila dipergunakan untuk pengelasan baja karbon, terutama lembaran logam serta pipa-pipa berdinding tipis. Namun hampir semua jenis logam baik ferro

maupun non ferro dapat dilas dengan las otogen/karbit ini baik dengan flux atau tanpa flux. Di samping gas acetylene, juga digunakan gas hydrogen, gas alam, propane, butane, yang dipakai untuk logam-logam dengan titik cair rendah.

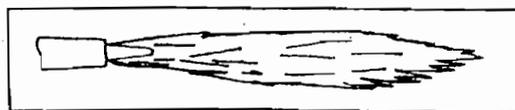
Pada proses pembakaran gas-gas diperlukan adanya oxygen ( 21% ) juga mengandung nitrogen ( 78% ), argon (0,9 %), neon, helium, hydrogen, carbon dioksida, serta unsur-unsur lainnya.

### 2.8.8 Penyetelan Api pada Las Karbit

Dalam pengelasan karbit ada tiga jenis penyetelan api dan kegunaannya masing-masing antara lain ;

#### 1. Api Netral

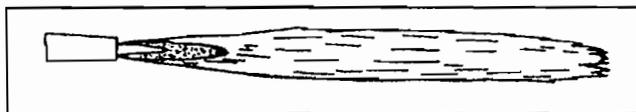
Api ini membakar jumlah oksigen dan asetilin yang sama. Penyetelan api ini digunakan untuk pengelasan baja, besi tuang, baja tahan karat, tembaga dan aluminium.



**Gambar 2.14 : Nyala api netral**  
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, hal 56)

## 2. Api Karburasi

Api ini mempunyai kelebihan asetilin yang mengakibatkan suatu daerah kaya dengan karbon yang memencar ke sekeliling dan diluar kerucut. Penyetelan api ini digunakan untuk permukaan yang keras serta batang-batang dengan permukaan yang keras, api karburasi ini sangat jarang digunakan untuk logam yang tidak mengandung besi dimana jumlah oksigen yang terkecil pun tidak diinginkan.



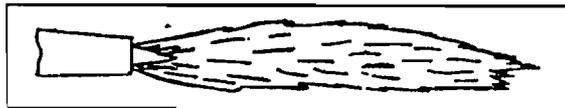
**Gambar 2.15 : Nyala api karburasi**

(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, hal 56)

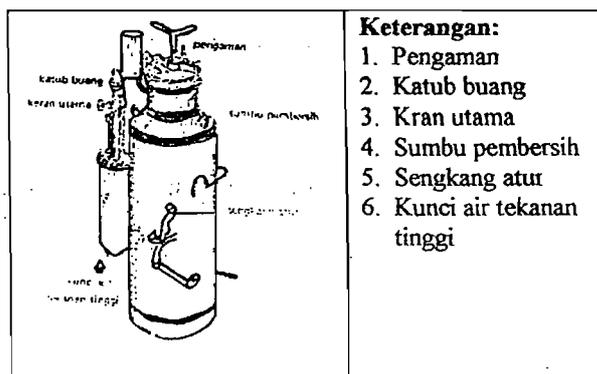
## 3. Api Oksidasi

Api ini mempunyai kelebihan oksigen yang mengakibatkan daerah yang kaya dengan oksigen tepat diluar kerucut. Api ini diperoleh dengan penyetelan secara netral dan kemudian memperkecil gas bahan bakar. Penyetelan api ini tidak dikehendaki bilamana oksidasi sangat kuat, kecuali untuk

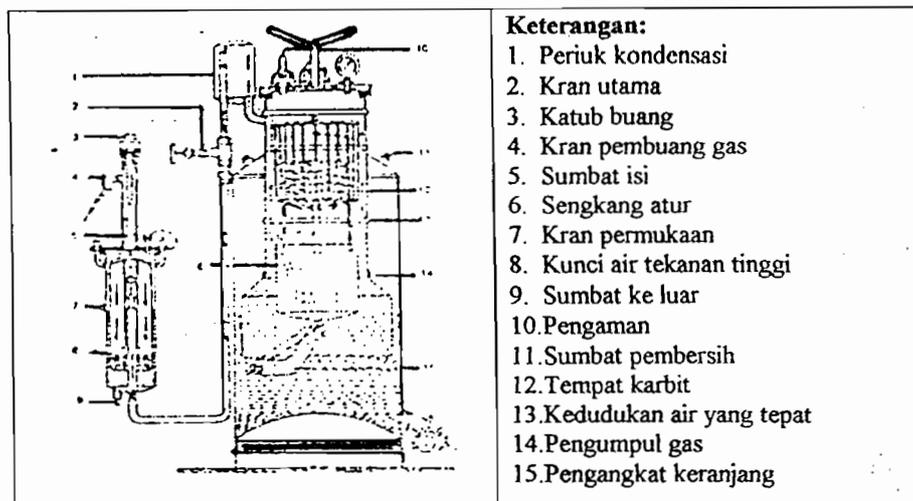
pengelasan kuningan. Sedangkan oksidasi yang kecil digunakan kalau mematri lembaran berlapis seng.



**Gambar 2.16 : Nyala api oksidasi**  
(Sumber: Dasar-dasar Pengelasan, D.Ginting, hal 56).



**Gambar 2.17 : Tabung gas**  
(Alip, M., Teori Dan Praktek Las, hal 10)

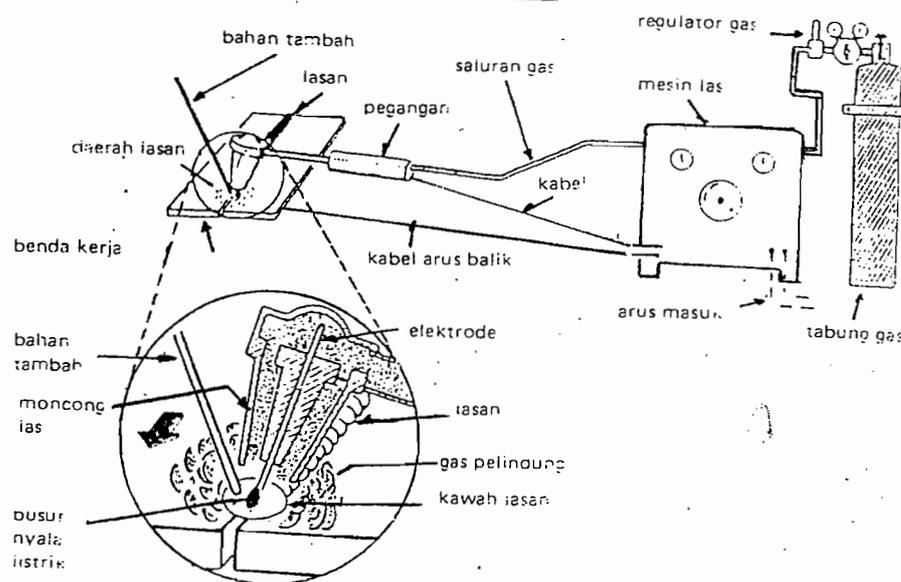


**Gambar 2.18 : Mesin las karbit**  
(Alip, M., Teori Dan Praktek Las, hal 10)

### 2.8.9 Las TIG (Tungsten Inert Gas)

TIG adalah singkatan dari Tungsten Inert Gas, dimana pada pengelasan ini busur menyala diantara tungsten/wolfram elektroda (yang tidak mencair) dengan benda kerja. Sebagai gas pelindung dipakai gas mulia (Inert) yang berarti tidak bereaksi kimia dengan sekitarnya, misalnya : Argon, Helium. Pada panas yang tinggi dapat dihindarkan terjadinya proses oksidasi antara elektroda, benda kerja dengan udara sekitarnya. Fungsi gas pelindung sama dengan mantel pada las busur elektroda yaitu menjauhkan pengaruh buruk udara luar terhadap kampuh las. Didalam busur listrik akan dibangkitkan temperatur yang sangat tinggi yang

melampaui titik cair logamnya, busur akan mencairkan sisi kampuh dan menyatu satu sama lainnya, yang akhirnya membeku tanpa halangan menjadi kampuh las. Untuk mengisi kampuh las atau menambal diperlukan bahan tambahan yang digerakan dengan tangan seperti halnya pada gas welding, akan tetapi dapat pula digerakan secara otomatis.

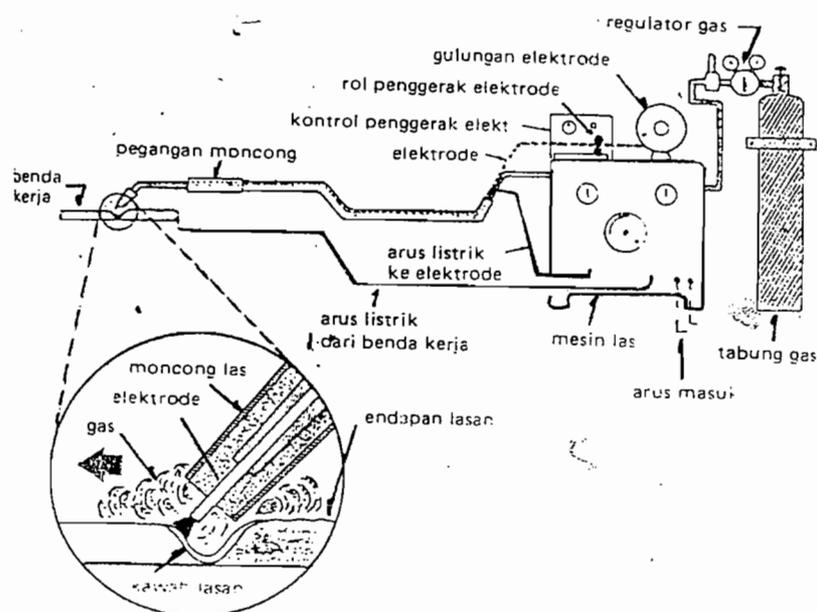


**Gambar 2.19 : Skema las tungsten (TIG)**  
(Alip, M., Teori Dan Praktek Las, hal 14)

### 2.8.10 Las MAG (Metal Active Gas)

Las dengan gas pelindung adalah jenis pengelasan tingkat lanjut. Aliran gas pelindung digunakan untuk melindungi daerah pengelasan dari pengaruh buruk udara sekitarnya. Busur listrik di dalam jenis pengelasan ini digunakan sebagai sumber panas pengelasan. Busur listrik menyala diantara ujung kawat

elektroda dan benda kerja. Kawat elektroda juga berfungsi sebagai bahan tambahan. Ia berbentuk gulungan dan bergerak diarah busur listriknya. Disitulah kawat elektroda mencair menjadi satu dengan bahan induknya. Gas pelindung yang digunakan mempengaruhi reaksi kimia selama pengelasan, sehingga ia disebut aktif. Yang digunakan sebagai gas pelindung adalah  $\text{CO}_2$  atau campuran dari Argon,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$ , sehingga baja murni, baja paduan rendah, dan baja paduan tinggi dapat dilas.



**Gambar 2.20 : Skema las busur-gas (MAG)**  
(Alip, M., Teori Dan Praktek Las, hal 15)

## 2.9 Pengujian Baja

Sifat-sifat mekanik suatu logam, dapat ditentukan dengan dilakukannya eksperimen-eksperimen terhadap benda uji. Secara garis besarnya pengujian terhadap material dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu :

1. Pengujian dengan merusak bahan atau benda kerja.
2. Pengujian tanpa merusak bahan atau benda kerja.

Pengujian mekanik logam dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut :

- a. *Static* bila benda uji dikenai beban konstan atau beban ditambah secara perlahan.
- b. *Dynamic*, bila beban bertambah sesaat, misalnya dalam pengujian impak.
- c. Berulang, bila beban secara berulang berubah arah dan besarnya.

## **2.9.1 Pengujian Bersifat Merusak Benda Uji**

### **2.9.1.1 Pengujian Tarik**

Kekuatan tarik suatu benda uji, dapat ditentukan dengan menarik sebuah benda sampai putus. Keterangan-keterangan yang diperoleh pada penarikan sampai putus itu, dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran-ukuran benda uji itu. Untuk memperoleh nilai-nilai yang dapat dibandingkan, adalah perlu untuk membuat ketentuan-ketentuan mengenai ukuran-ukuran dan bentuk dari benda uji itu, yaitu batang uji tarik. Ketentuan-ketentuan itu ditetapkan dalam norma-norma ini. Norma-norma ini mengulas bagaimana bentuknya batang uji tarik itu untuk berbagai bahan, dan bagaimana keterangan-keterangan yang bersangkutan harus diukur.

Batang uji tarik yang dipakai merupakan sebuah batang yang bundar atau pelat, dengan ujung-ujung tebal untuk pemasangan pada mesin uji tarik.

Benda uji dijepit pada mesin dengan pembebanan secara perlahan, dan terus meningkat sampai suatu beban tertentu dan akhirnya benda uji patah. Beban

tarik yang bekerja pada benda uji menimbulkan pertambahan panjang disertai pengecilan diameter atau lebar pada tengah benda uji. Perbandingan antara pertambahan panjang ( $\Delta L$ ) dengan panjang benda uji ( $L$ ) disebut regangan ( $\varepsilon$ ).

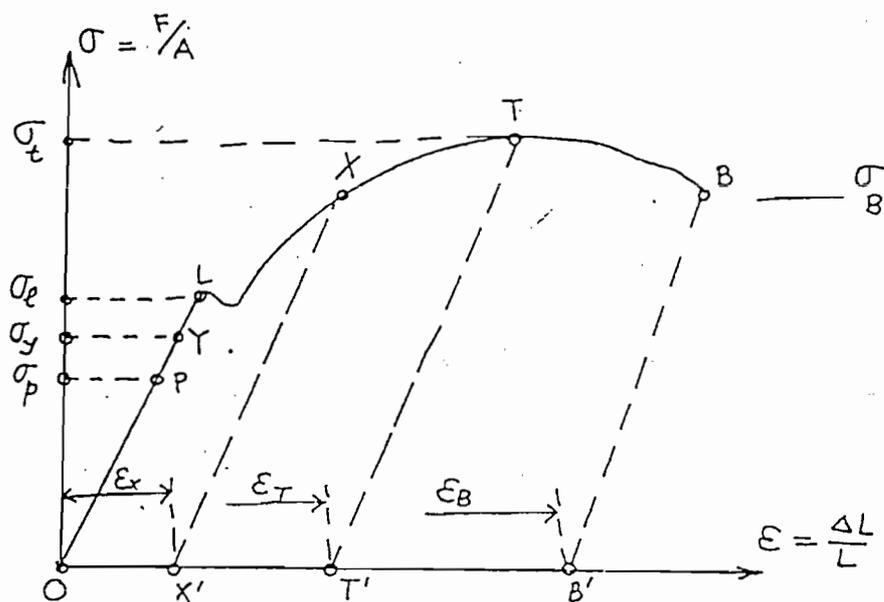
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Perbandingan antara perubahan penampang setelah pengujian dan penampang awal (sebelum pengujian) disebut kontraksi ( $\Psi$ ) atau pelentikan.

$$\Psi = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \quad \text{atau} \quad Z = \frac{A_0 - A_U}{A_0} \times 100\%$$

dengan :  $A_0$  : luas penampang awal benda uji

$A_f/A_U$  : luas penampang akhir benda uji



**Gambar 2.21 : Diagram hubungan  $\sigma$  dan  $\varepsilon$  uji tarik benda liat**  
(Setyahandana, B., Diktat kuliah Bahan Teknik Manufaktur, hal 47)

Hubungan antara tegangan yang timbul  $\sigma$  ( $\sigma = F/A$ ) dan regangan yang timbul ( $\varepsilon$ ) selama pengujian digambarkan seperti gambar 2.17.

Dengan :

$\sigma_p$  : tegangan proporsional

$\sigma_y$  : yielding stress (tegangan elastis)

$\sigma_l$  : tegangan luluh

$\sigma_t$  : tegangan tarik

$\sigma_B$  : tegangan patah

$\varepsilon_x$ ,  $\sigma_t$ ,  $\sigma_B$  : masing-masing merupakan regangan pada saat pembebanan berada pada titik-titik X, T, B (XX', //TT', //BB', PO').

Tegangan pada titik P disebut tegangan batas proporsional ( $\sigma_p$ ) yaitu tegangan tertinggi dimana hukum Hooke berlaku/dipenuhi.

Hukum Hooke :

$$\Delta L = \frac{1}{E} \frac{F.L}{A} = \frac{F.L}{E.A}$$

dengan mengambil  $\sigma = \frac{F}{A}$  dan  $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ , maka hukum Hooke diatas dapat

dinyatakan dalam bentuk  $\sigma = \varepsilon.E$ .

Apabila beban tarik diperbesar sampai titik y (ada pertambahan panjang  $\Delta L$ ), kemudian beban diturunkan sampai titik O (beban ditiadakan), maka benda uji akan kembali ke panjang semula (L). Tetapi bila pembebanan berada diatas titik Y (dengan pertambahan panjang tertentu), kemudian diturunkan sampai titik O (beban ditiadakan), maka benda uji tidak akan kembali ke panjang semula.



Dalam hal ini benda uji telah mempunyai regangan plastis. Dalam kondisi ini dapat disimpulkan bahwa titik Y merupakan titik batas elastis benda uji dan tegangan pada titik Y disebut tegangan elastis bahan ( $\sigma_y$ ).

Tegangan maksimum  $\sigma_t$  disebut juga tegangan tarik (tensile strength = ultimate stress) merupakan tegangan tertinggi yang dimiliki benda uji sebagai reaksi terhadap beban yang diberikan. Tegangan tarik adalah nilai yang paling sering dituliskan sebagai hasil uji tarik, tetapi pada kenyataannya nilai tersebut kurang bersifat mendasar dalam kaitannya dengan kekuatan bahan. Untuk logam-logam yang liat kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban maksimum, dimana logam dapat menahan beban sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas. Setelah titik T, tegangan turun dan akhirnya benda uji putus pada saat tegangan  $\sigma_B$ . Selama pembebanan berlangsung dari titik O sampai titik T, diameter atau lebar benda uji mengecil secara seragam (terjadi pertambahan panjang). Selama pembebanan berlangsung dari titik T sampai titik B, diameter atau lebar benda uji berubah tidak seragam, melainkan terjadi pengecilan setempat lebih cepat dibandingkan dengan tempat-tempat lainnya. Pengecilan diameter setempat disebut "necking" dan pada akhirnya benda uji putus pada daerah *necking* tersebut.

## **2.9.2 Pengujian bersifat tidak merusak benda uji**

### **2.9.2.1 Pengujian kekerasan Vickers**

Uji kekerasan adalah tahanan yang dilakukan oleh bahan terhadap desakan ke dalam yang tetap, disebabkan oleh sebuah alat pendesak dengan bentuk

tertentu di bawah pengaruh gaya tertentu. Suatu desakan kecil (atau tidak dalam) menunjukkan kekerasan yang besar. Terdapat beberapa metode kekerasan yang sering dipakai, seperti :

- a. Menurut Brinnel, dinyatakan dengan HB.
- b. Menurut Vickers, dinyatakan dengan HV.
- c. Menurut Rockwell :
  - a. Dengan peluru, dinyatakan dengan HRB.
  - b. Dengan kerucut, dinyatakan dengan HRC.

Namun untuk memudahkan dalam pembahasan, penulis hanya akan mengurai untuk uji kekerasan menurut Vickers, sesuai dengan metode yang dipakai dalam penelitian.

Pada pengujian kekerasan menurut Vickers sebuah intan yang berbentuk limas (piramid) yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan sudut puncak  $136^{\circ}$  ditekan pada bahan uji, dengan suatu gaya tertentu. Maka pada bahannya terdapat cetakan (afdruk) dari intan. Bekas injakan intan tersebut bertambah besar, kalau bahannya bertambah lunak, dan kalau bebannya bertambah besar. Beban itu biasanya dipilih 30 kgf (= 294 N), dengan asumsi 1 kgf = 9,8 N. Kekerasan Vickers dihitung dari perbandingan antara gaya dan luas yang dihitung dari pendesakan berbentuk limas sebagai berikut :

$$HV = \frac{0,102.F}{A} \quad (F \text{ dalam kgf})$$

Atau :

$$HV = \frac{F}{A} \quad (F \text{ dalam kgf})$$

Dengan :

- HV = nilai kekerasan menurut Vickers
- F = gaya pendesakan masing-masing dalam N dan kgf
- A = luas pendesakan berbentuk limas dalam  $\text{mm}^2$
- 0,102 = faktor perhitungan yang diperlukan, oleh karena untuk satuan gaya, beralih dari kgf ke N.s.

Keuntungan-keuntungan dari metode Vickers adalah :

1. Dengan benda pendesak yang sama, baik kekerasan bahan yang keras maupun yang lunak dapat ditentukan.
2. Pendesakan yang kecil (kira-kira 0,5 mm) pada benda kerja yang harus diukur, hanya menyebabkan kerusakan kecil.
3. Pengukuran kekerasan adalah teliti.
4. Kekerasan benda uji yang amat tipis atau lapisan permukaan yang tipis dapat diukur dengan memilih gaya yang kecil.
5. Penentuan kekerasan pada benda-benda tipis adalah mungkin dengan memilih gaya yang kecil.

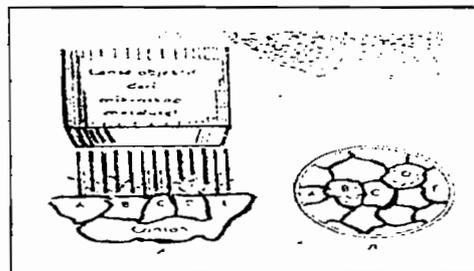
Kerugian-kerugian dari metode ini adalah :

1. Bahan-bahan tidak homogen, seperti besi tuang dan perunggu tidak dapat dipertanggung jawabkan untuk diukur dengan metode Vickers.
2. Dibandingkan dengan pengukuran kekerasan menurut Rockwel, metode ini cukup memakan waktu lama karena adanya dua penanganan yang terpisah.

3. Permukaan harus dikerjakan licin, sehubungan dengan pendesakan yang sangat kecil.

### 2.9.2.2 Pengujian struktur mikro

Sifat-sifat suatu logam dan paduannya dapat dipelajari dari struktur mikronya. Kita dapat melihat Struktur mikro dengan sebuah mikroskop, untuk itu logam perlu dietsa. Dengan cara memoles logam sampai terbentuk permukaan yang halus seperti cermin. Kemudian diberi zat kimia tertentu untuk beberapa detik. Atom-atom didaerah transisi diantara butiran akan lebih mudah larut dibandingkan atom-atom lainnya, dan akan meninggalkan gambar, seperti dibawah ini.



**Gambar 2.22 : Uji struktur mikro**  
(Panduan Praktikum Proses Produksi II, hal 11)

Keterangan :

- A- contoh yang sedang dietsa sedang diperiksa dengan mikroskop
- B- penampilan contoh melalui mikroskop.

Batas butir yang dietsa tidak lagi merupakan permukaan yang halus sebagai bagian lainnya dari butiran, tapi pori dari struktur baja tersebut akan terbuka.

## **BAB III**

### **PELAKSANAAN PENELITIAN**

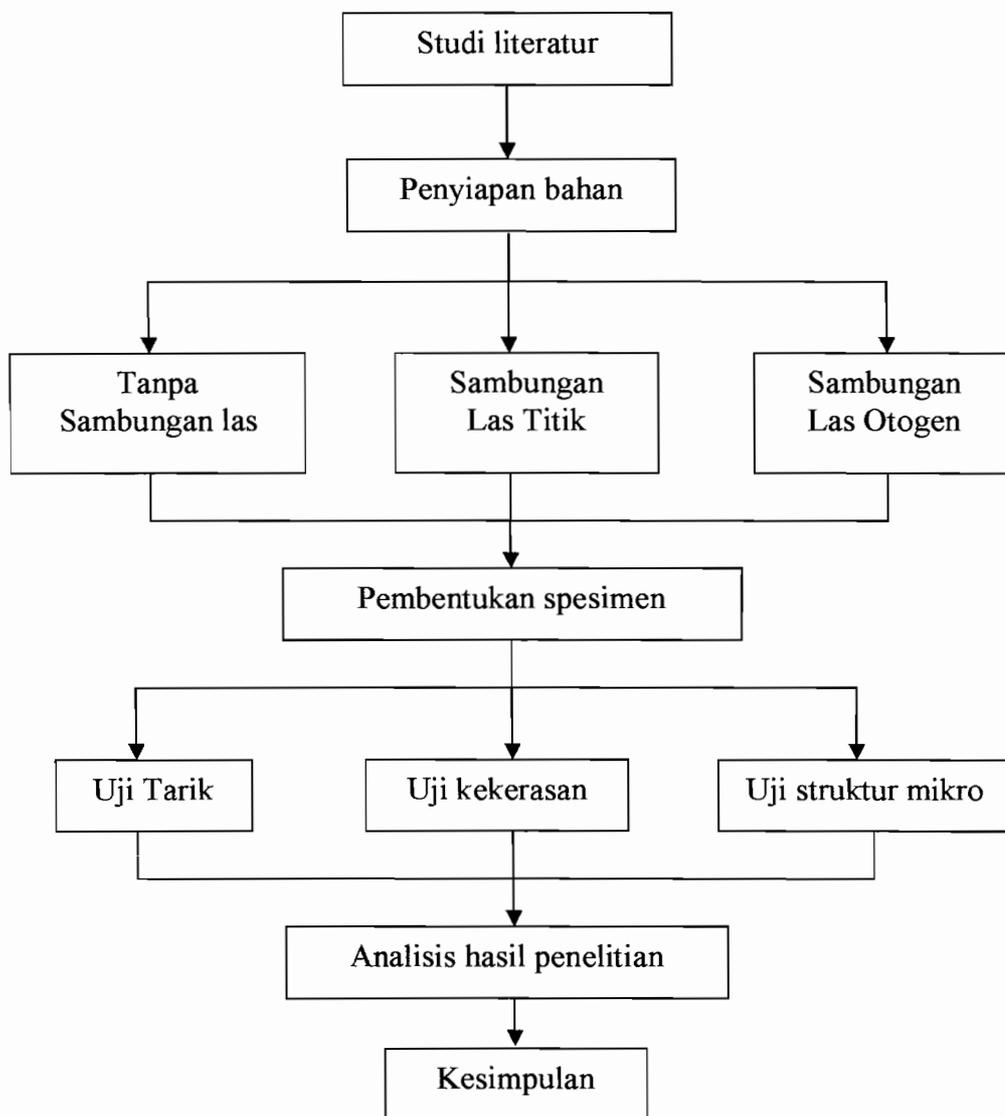
#### **3.1 Tahap Penelitian**

Penelitian sifat-sifat fisis dan mekanis plat baja dilakukan dengan dua tahap. Tahap I adalah pengujian tarik, kekerasan dan struktur mikro sebelum pengelasan. Tahap kedua adalah pengujian tarik, kekerasan dan struktur mikro sesudah pengelasan. Pada tahap I, pengujian dilakukan untuk mengetahui kekerasan, keuletan dan struktur mikro dari pelat baja sebelum dilakukan pengelasan. Sedangkan pada tahap kedua merupakan tahap pengujian untuk mengetahui kekerasan, keuletan dan struktur mikro dari pelat baja setelah penyambungan atau penggabungan bahan dengan cara pengelasan (pengelasan titik dan otogen).

#### **3.2 Persiapan Bahan**

Bahan yang akan diuji adalah pelat baja tipis yang digunakan untuk bodi kendaraan dengan tiga merek yang berbeda. Masing-masing pelat mempunyai kandungan unsur paduan yang hampir sama, pelat A mempunyai kandungan unsur sebagai berikut : (C 0,18 %, Mn 0,592 %, P 0,018 %, Si < 0,002 %) . Pelat B(C 0,048 %, Mn 0,198 %, P 0,014 %, Si < 0,002 %). Pelat C (C 0,04 %, Mn 0,025 %, P 0,012 %, Si 0,001 %). Material baja berupa pelat tipis dengan ketebalan 0,8 mm.

### 3.3 Diagram alir penelitian

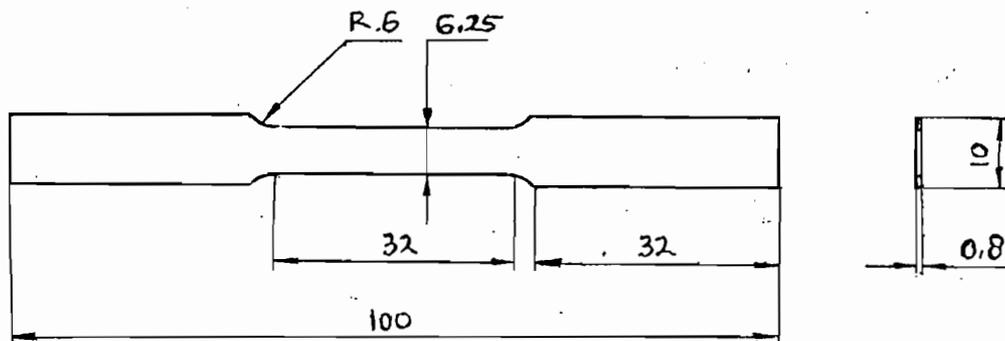


**Gambar 3.1 Diagram alir penelitian**

### 3.4 Pembuatan spesimen dan proses pengujian

#### 3.4.1 Persiapan benda uji

Pembuatan spesimen dilakukan dengan menggunakan mesin Frais (Milling machine) yang ada di Laboratorium Teknologi Mekanik FT-USD. Jumlah spesimen yang akan direncanakan sebanyak 45 buah. Terdapat banyak standarisasi pengujian tarik, karena keterbatasan bahan dan banyaknya spesimen yang akan dibuat maka penulis memilih dengan asumsi dan pendekatan ukuran yang sesuai



**Gambar 3.2 Spesimen uji tarik**

#### 3.4.2 Pengelasan

Untuk uji sambung las digunakan metode sebagai berikut :

1. Benda uji dipotong sepanjang 100 mm dengan menggunakan pemotong pelat.
2. Benda uji tersebut dibagi dua dengan potongan yang sama panjang. Dilakukan pembuatan kampuh penyambungan, dalam penelitian ini penulis menggunakan kampuh I, untuk membentuk kampuh I dilakukan pemotongan pada tengah-

tengah spesimen yaitu berjarak 50 mm dari ujung tiap spesimen. Hasil potongan diratakan permukaannya dengan kikir.

### 3. Pelaksanaan pengelasan.

Dalam pengelasan pelat baja dengan kadar karbon (0,05%-0,30% C), termasuk baja karbon rendah. Pengelasan menggunakan jenis elektroda

#### 3.4.3 Uji tarik

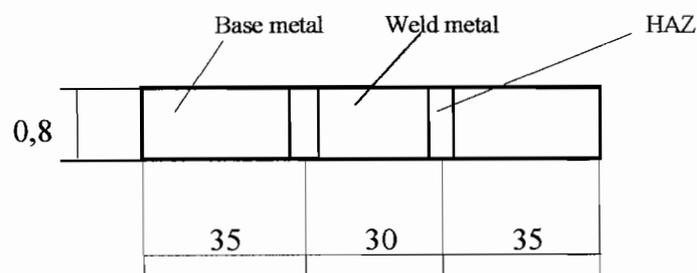
Dalam pengujian ini, menggunakan mesin uji tarik Gotech Testing Machine di Laboratorium Ilmu Logam, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, prosesnya sebagai berikut :

1. Benda uji dipasang pada penjepit spesimen, dengan bantuan kaca yang diberi garis lurus untuk menyenter spesimen. Dengan mengatur tombol pada *control panel* agar kedudukan spesimen betul-betuk vertikal. Jika tampilan indikator pada panel penjepit menunjukkan angka mendekati 0,0 berarti spesimen sudah terjepit secara tepat.
2. Kertas milimeter dipasang pada alat ukur pencatat grafik.
3. Mesin diset pada beban 1000 kg.
4. Kemudian tombol pembebanan dihidupkan, dan pembebanan akan berlangsung sampai benda uji putus.
5. Indikator dicatat pada mesin, disaat spesimen putus.

#### 3.4.4 Uji kekerasan

Dalam pengujian kekerasan ini, penulis menggunakan alat uji kekerasan Vickers mikro pada Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada. Proses pengujian sebagai berikut :

1. Spesimen diletakan pada dudukan pada mesin, posisi spesimen diusahakan benar-benar rata.
2. Setelah posisi spesimen benar-benar sesuai yang diinginkan, pembebanan disetting dengan memutar panel pada beban hingga menunjuk ke angka 1000 g atau 1 kgf.
3. Tombol pembebanan (load) ditekan, maka mesin akan bekerja, selama pembebanan berlangsung lampu indikator pada (load) akan menyala merah, ditunggu sampai lampu berwarna hijau (pembebanan selesai).
4. Pada mesin, panel diputar maka berganti dengan mikroskop, sehingga bekas injakan dapat dilihat.
5. Panel pengukuran diputar pada posisi mendatar untuk melihat diagonal bekas injakan



**Gambar 3.3 : Spesimen uji kekerasan**

### **3.4.5 Uji struktur mikro**

Untuk pengujian struktur mikro, penyiapan spesimen sama dengan proses penyiapan untuk pengujian kekerasan.

#### **3.4.5.1 Pembuatan sampel uji**

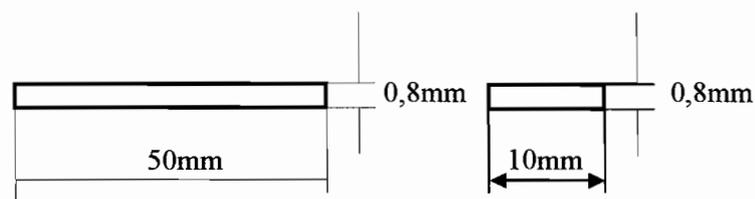
Langkah-langkah pembuatan sampel uji untuk pengujian struktur mikro, yaitu:

1. Baik untuk yang kondisi normal maupun sambungan las, dilakukan pengampelasan, pada satu sisi yang akan difoto, ampelas yang digunakan dari yang paling kasar sampai yang paling halus (Ampelas duko dengan urutan nomor 1000 dan 1200), mulai pengampelasan dengan ampelas 1000 menggunakan bantuan air, hal ini untuk menghilangkan kotoran supaya larut dan tidak menggores pada spesimen.
2. Setelah permukaan sudah nampak halus dan tidak ada goresan, maka dilakukan proses penggosokan dengan menggunakan Autosol, supaya diperoleh permukaan yang halus dan mengkilap seperti cermin. Tujuan pemakaian Autosol untuk menghilangkan kotoran, serta mengkilapkan spesimen. Penggosokan dengan autosol dilakukan satu arah dengan alas kain berserat halus.
3. Spesimen dietsa dengan menggunakan campuran larutan  $\text{HNO}_3$  5% + Alkohol 95%.

### 3.4.5.2 Proses pengujian

Dalam pengujian struktur mikro ini, penulis menggunakan mikroskop metalografi pada laboratorium ilmu logam di Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. Prosesnya sebagai berikut :

1. Setelah dietsa, spesimen ditempatkan pada dudukan mikroskop, spesimen diusahakan dalam kondisi benar-benar rata.
2. Dengan menggunakan mikroskop, gambar yang fokus dicari dengan pembesaran yang sesuai, pencahayaan diatur dengan memutar panel pencahayaan.
3. Setelah fokus diperoleh dan pencahayaan tepat, spesimen dilihat pula dengan menggunakan kamera yang dirangkai satu dengan mikroskop, dengan kamera pencahayaan dicek ulang, jika lampu menunjukan tanda (-) berarti pencahayaan kurang, jika menunjuk tanda (+) berarti pencahayaan berlebihan, jika menunjuk tanda (0) berwarna hijau, pencahayaan tepat.
4. Untuk menghindari kaburnya gambar diusahakan waktu terjadi pemotretan kondisi alat setenang mungkin.



**Gambar 3.4 : Spesimen uji struktur mikro**

## BAB IV

### HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil pengujian tarik

Pada pengujian tarik benda awal yang pertama, diperoleh data-data sebagai berikut :

$$\text{Beban maximum, } F_{\max} = 189,9 \text{ kg}$$

$$\text{Tebal, } t = 0,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lebar, } w = 6,25 \text{ mm}$$

$$A = 6,25 \times 0,8$$

Besarnya harga  $\Delta L$  (pertambahan panjang benda uji) diperoleh melalui perbandingan antara beban maksimum dengan beban patah pada diagram hubungan  $\sigma$  dan  $\varepsilon$  pengujian tarik benda uji.

Sehingga diperoleh hasil :

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F}{A} = \frac{189,8}{5} \\ &= 37,96 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{6,58}{32} \\ &= 0,2 \\ &= 20\%\end{aligned}$$

Untuk perhitungan mencari  $\sigma$  dan  $\varepsilon$  yang lain menggunakan cara yang sama dan untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel hasil pengujian tarik, seperti berikut :

#### 4.1.1 Benda Uji Awal

Hasil pengujian tarik pelat tanpa pengelasan terdapat data yang terlalu besar penyimpangan, oleh karena itu untuk mendapatkan data yang konsisten pada pembahasan dilakukan analisa statistik data eksperimen.

Analisa data :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n - 1}}$$

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$d_i = x_i - x_m$$

Keterangan :

$\sigma$  = deviasi standar sampel

$x_i$  = hasil dari setiap pengujian

$n$  = jumlah data

$x_m$  = purata aritmetik

$d_i$  = deviasi atau penyimpangan

Analisa data hasil pengujian tarik, karena dicurigai ada data yang tak konsisten

**Tabel 4.1 Penyimpangan data eksperimen pelat A**

No.	$x_i$	$d_i$	$(x_i - x_m)^2$
1	37,96	-3,81	14,52
2	37,58	-4,19	17,56
3	40,68	-1,09	1,19
4	35,44	-6,33	40,07
5	57,18	15,40	237,16
$\Sigma$			<b>310,50</b>

$$x_m = \frac{1}{5}(208,84) = 41,77 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{5-1}(310,50)}$$

$$\sigma = \frac{1}{2}(17,621) = 8,810 \text{ kg/mm}^2$$

**Tabel 4.2 Rasio deviasi terhadap deviasi standar**

No.	$d_i / \sigma$
1	0,432
2	0,475
3	0,123
4	0,715
5	1,74

Sesuai dengan Tabel 11 (lampiran), jika jumlah bacaan atau data adalah 5 maka harga deviasi maksimum yang dapat diterima terhadap deviasi standar adalah 1,65. Berdasarkan harga tersebut maka data nomor 5 yang harus ditolak. Setelah data nomor 5 dihilangkan, nilai purata baru adalah

$$x_m = \frac{1}{4}(151,56) = 37,92 \text{ kg/mm}^2$$

**Tabel 4.3 Penyimpangan data eksperimen (baru)**

No	$d_i = x_i - x_m$	$(x_i - x_m)^2$
1	0,04	0,0016
2	-0,34	0,12
3	2,76	7,62
4	-2,48	6,15

Deviasi standar sampel baru adalah

$$\sigma = \sqrt{\frac{1 \times (13,892)}{4 - 1}} = 2,15 \text{ kg/mm}^2$$

Jadi, dengan dihilangkan satu titik, deviasi standar berkurang dari 8,81 menjadi 2,15 kg/mm<sup>2</sup>. Hal ini berarti terjadi penurunan 75,60 persen.

**Tabel 4.4 Hasil pengujian tarik pelat A (awal)**

No	w (mm)	Lo (mm)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>mak</sub> (kg)	$\epsilon$	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	6,25	32	6,58	5	189,8	0,20	37,96
2	6,20	32	9,40	4,96	187,9	0,29	37,58
3	6,35	32	7,26	5,08	203,4	0,22	40,68
4	6,10	32	7,33	4,88	177,2	0,22	35,44
5	6,25	32	5,33	5	285,9	0,16	57,18
Rata-rata						0,21	41,77
Deviasi Standar Sampel							±8,06

Setelah data-data  $\sigma$  Pelat A (awal) dihitung menggunakan analisis statistik data eksperimen, maka diperoleh hasil sesuai tabel

**Tabel 4.5 Hasil pengujian tarik pelat A Setelah Dianalisa (awal)**

No	w (mm)	Lo (mm)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>mak</sub> (kg)	$\epsilon$	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	6,25	32	6,58	5	189,8	0,20	37,96
2	6,20	32	9,40	4,96	187,9	0,29	37,58
3	6,35	32	7,26	5,08	203,4	0,22	40,68
4	6,10	32	7,33	4,88	177,2	0,22	35,44
Rata-rata						0,23	37,92
Deviasi Standar Sampel							2,15

Untuk perhitungan  $\sigma$  yang lain menggunakan cara yang sama dan untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel hasil pengujian tarik, seperti berikut :

**Tabel 4.6 Hasil pengujian tarik pelat B (awal)**

No	w (mm)	Lo (mm)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>mak</sub> (kg)	$\epsilon$	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	6,20	32	4,62	4,96	273,6	0,14	55,72
2	6,25	32	4,32	5	283,4	0,13	56,68
3	6,35	32	6,68	5,08	318	0,20	63,60
4	6,30	32	4,87	5,04	298,6	0,15	59,72
5	6,25	32	8,14	5	295,1	0,25	59,02
Rata-rata						0,17	58,75

**Tabel 4.7 Hasil pengujian tarik pelat C (awal)**

No	w (mm)	Lo (mm)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>mak</sub> (kg)	$\epsilon$	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	6,15	32	8,74	4,92	189,2	0,27	38,45
2	6,30	32	7,59	5,04	229,1	0,23	45,45
3	6,15	32	8,14	4,92	183,5	0,25	37,29
4	6,20	32	7,8	4,96	209,3	0,22	42,19
5	6,25	32	7,59	5	216,4	0,23	43,28
Rata-rata						0,24	41,33

#### 4.1.2 Spesimen dengan sambungan las Otogen

**Tabel 4.8 Hasil pengujian tarik pelat A (las Otogen)**

No	w (mm)	t (mm)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>mak</sub> (kg)	$\epsilon$	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	6,25	0,8	3,67	5,00	136,2	0,11	27,24
2	6,10	0,8	3,61	4,88	174,3	0,11	35,71
3	6,20	0,8	3,27	4,96	162,6	0,10	32,78
4	6,15	0,8	3,47	4,92	155,7	0,10	31,64
5	6,20	0,8	3,58	4,96	179,6	0,11	36,20
Rata-rata						0,10	32,71

**Tabel 4.9 Hasil pengujian tarik pelat B (las Otogen)**

No	w (mm)	t (mm)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>mak</sub> (kg)	$\epsilon$	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	6,25	0,8	2,80	5,00	217,3	0,08	43,46
2	6,10	0,8	3,21	4,88	230,4	0,10	47,21
3	6,15	0,8	2,79	4,92	225,9	0,08	45,91
4	6,10	0,8	3,19	4,88	199,6	0,09	40,90
5	6,20	0,8	3,15	4,96	200,8	0,09	40,48
Rata-rata						0,08	43,59

Analisa data uji tarik pelat C sambungan las Otogen.

**Tabel 4.10 Deviasi data sambungan pelat C Otogen**

No	$x_i$	$d_i$	$(x_i - x_m)^2$
1	38,08	-5,98	35,76
2	40,52	-3,54	12,53
3	57,90	13,84	191,54
4	44,30	0,24	0,05
5	40,36	-3,7	13,69
$\Sigma$	<b>220,34</b>		<b>253,57</b>

$$x_m = \frac{1}{5}(220,34) = 44,06 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{5-1}(253,57)}$$

$$\sigma = \frac{1}{2}(15,92) = 7,96 \text{ kg/mm}^2$$

**Tabel 4.2 Rasio deviasi terhadap deviasi standar**

No	$d_i / \sigma$
1	0,75
2	0,44
3	1,73
4	0,03
5	0,46

Sesuai dengan Tabel 11 (lampiran), jika jumlah bacaan atau data adalah 5 maka harga deviasi maksimum yang dapat diterima terhadap deviasi standar adalah 1,65. Berdasarkan harga tersebut maka data nomor 3 yang harus ditolak. Setelah data nomor 3 dihilangkan, nilai purata baru adalah

$$x_m = \frac{1}{4}(162,44) = 40,61 \text{ kg/mm}^2$$

**Tabel 4.3 Penyimpangan data eksperimen (baru)**

No	$d_i = x_i - x_m$	$(x_i - x_m)^2$
1	-2,53	6,40
2	-0,09	0,008
3	3,69	13,61
4	-0,25	0,062
$\Sigma$		<b>20,08</b>

Deviasi standar sampel baru adalah

$$\sigma = \sqrt{\frac{1 \times (20,08)}{4-1}} = 2,58 \text{ kg/mm}^2$$

Jadi, dengan dihilangkan satu titik, deviasi standar berkurang dari 7,96 menjadi

2,58 kg/mm<sup>2</sup>. Hal ini berarti terjadi penurunan ? persen.

**Tabel 4.13 Hasil pengujian tarik pelat C (las Otogen)**

No	w (mm)	t (mm)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>mak</sub> (kg)	$\epsilon$	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	6,20	0,8	4,84	4,96	188,9	0,15	38,08
2	6,15	0,8	3,72	4,92	199,4	0,11	40,52
3	6,15	0,8	3,76	4,92	284,9	0,11	57,90
4	6,10	0,8	4,51	4,88	212,2	0,14	43,48
5	6,25	0,8	3,98	5,00	201,8	0,12	40,36
<b>Rata-rata</b>						<b>0,12</b>	<b>44,06</b>
<b>Deviasi standar sampel</b>							<b>7,96</b>

**Tabel 4.14 Hasil pengujian tarik pelat C (las Otogen)**

No	w (mm)	t (mm)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>mak</sub> (kg)	$\epsilon$	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )
1	6,20	0,8	4,84	4,96	188,9	0,15	38,08
2	6,15	0,8	3,72	4,92	199,4	0,11	40,52
3	6,10	0,8	4,51	4,88	212,2	0,14	43,48
4	6,25	0,8	3,98	5,00	201,8	0,12	40,36
<b>Rata-rata</b>						<b>0,13</b>	<b>40,61</b>
<b>Deviasi standar sampel</b>							<b>2,58</b>

### 4.1.3 Spesimen dengan sambungan Las Titik

Tabel 4.9 Hasil pengujian tarik pelat A (Las Titik)

No	Waktu (dtk)	F mak (kg)	$\phi$ Nugget (mm)	Luas Nugget (mm <sup>2</sup> )	Kekuatan geser (kg/mm <sup>2</sup> )
1	5	183,6	5,95	27,80	6,60
2	5	133,6	6,20	30,19	4,42
3	5	115,8	6,25	30,67	3,77
4	5	127,5	6,20	30,19	4,42
<b>Rata-rata</b>					<b>4,80</b>

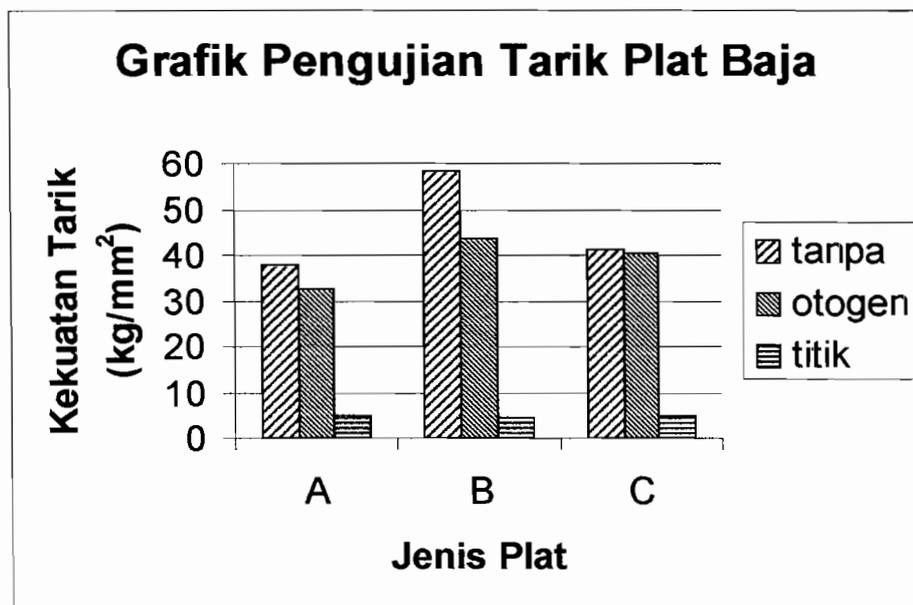
Tabel 4.10 Hasil pengujian tarik pelat B (las Titik)

No	Waktu (dtk)	F mak (kg)	$\phi$ Nugget (mm)	Luas Nugget (mm <sup>2</sup> )	Kekuatan geser (kg/mm <sup>2</sup> )
1	5	111,9	6,30	31,17	3,58
2	5	113,1	6,55	33,69	3,35
3	5	139,4	5,75	25,96	5,36
4	5	129,8	5,65	25,07	5,17
<b>Rata-rata</b>					<b>4,35</b>

Tabel 4.11 Hasil pengujian tarik pelat C (las Titik)

No	Waktu (dtk)	F mak (kg)	$\phi$ Nugget (mm)	Luas Nugget (mm <sup>2</sup> )	Kekuatan geser (kg/mm <sup>2</sup> )
1	5	119,5	6,25	30,67	3,89
2	5	132,4	5,50	23,75	5,57
3	5	132,1	5,60	24,63	5,36
4	5	122,6	6,10	29,22	4,19
<b>Rata-rata</b>					<b>4,75</b>

### Diagram hasil pengujian tarik



**Grafik 4.1 : Grafik pengujian tarik pelat baja**

#### Keterangan :

- A. Hasil pengujian tarik pelat A sebelum dan sesudah pengelasan, pada kondisi sebelum pengelasan  $37,92 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Otogen  $32,71 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Titik  $4,80 \text{ kg/mm}^2$ .
- B. Hasil pengujian tarik pelat B sebelum dan sesudah pengelasan, pada kondisi sebelum pengelasan  $58,75 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Otogen  $43,59 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Titik  $4,35 \text{ kg/mm}^2$ .
- C. Hasil pengujian tarik pelat C sebelum dan sesudah pengelasan, pada kondisi sebelum pengelasan  $41,33 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Otogen  $40,61 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Titik  $4,75 \text{ kg/mm}^2$ .

## 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan benda uji awal diperoleh data-data, sebagai berikut :

$$P = 1 \text{ kg}$$

$$D = 113,15 \text{ } \mu\text{m}$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} HV &= 1,854 \frac{P}{(D)^2} \\ &= 1,854 \frac{1}{(0,1131)^2} = 145,98 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan HV yang lain menggunakan cara yang sama dan untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel hasil pengujian kekerasan, seperti berikut :

### 4.2.1 Benda Uji Awal

4.2.2 Tabel 4.10 Hasil pengujian Kekerasan Pelat Awal

No	Jenis spesimen	Titik	P (kgf)	d ( $\mu\text{m}$ )	HV ( $\text{kg/mm}^2$ )
1	A	I	1	113.15	145
		II	1	116.75	136
		III	1	116.8	136
<b>Rata-rata</b>					<b>139</b>
2	B	I	1	118.5	132
		II	1	117.75	134
		III	1	116.65	136
<b>Rata-rata</b>					<b>134</b>
3	C	I	1	135,85	100
		II	1	136,65	99,2
		III	1	138,20	97,1
<b>Rata-rata</b>					<b>98,77</b>

#### 4.2.2 Benda Uji dengan Sambungan Las Titik

**Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kekerasan Pelat (Las Titik)**

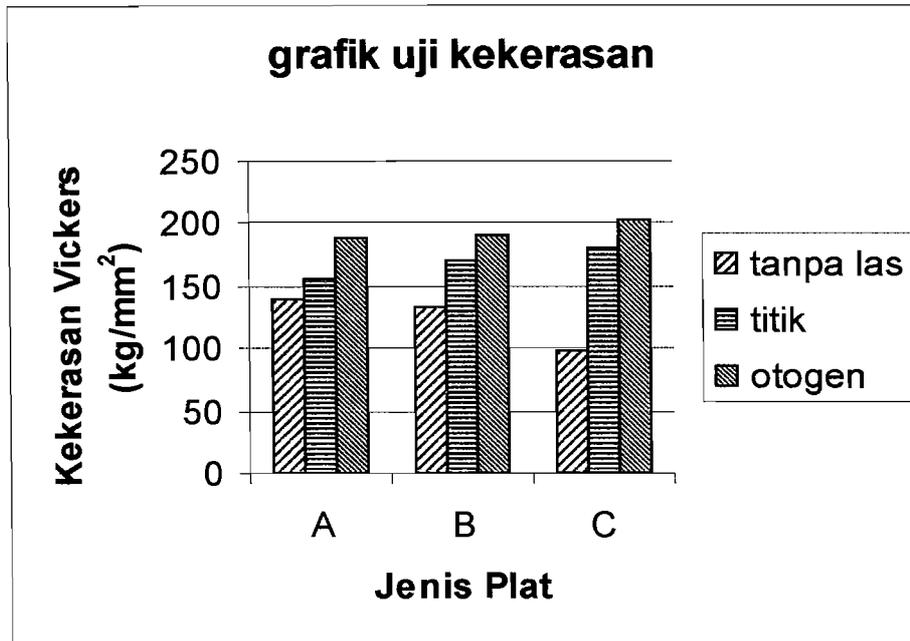
No	Jenis spesimen	Titik	P (kgf)	d ( $\mu$ m)	HV ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )
1	A	I	1	109,75	154
		II	1	109,15	155
		III	1	108,35	158
<b>Rata-rata</b>					<b>155,67</b>
2	B	I	1	104,35	170
		II	1	103,9	171
		III	1	105,25	167
<b>Rata-rata</b>					<b>169,33</b>
3	C	I	1	103,75	172
		II	1	98,55	191
		III	1	101,85	178
<b>Rata-rata</b>					<b>180,33</b>

#### 4.2.3 Benda Uji dengan Sambungan Las Otogen

**Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kekerasan Pelat (Las Otogen)**

No	Jenis spesimen	Titik	P (kgf)	d ( $\mu$ m)	HV ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )
1	A	I	1	97,35	195
		II	1	101,15	181
		III	1	98,25	192
<b>Rata-rata</b>					<b>189,33</b>
2	B	I	1	99,55	187
		II	1	98,85	189
		III	1	97,1	196
<b>Rata-rata</b>					<b>190,67</b>
3	C	I	1	95,35	204
		II	1	96,7	198
		III	1	94,9	205
<b>Rata-rata</b>					<b>202,33</b>

### Diagram hasil pengujian kekerasan



**Grafik 4.2 : Grafik pengujian kekerasan pelat baja**

Keterangan :

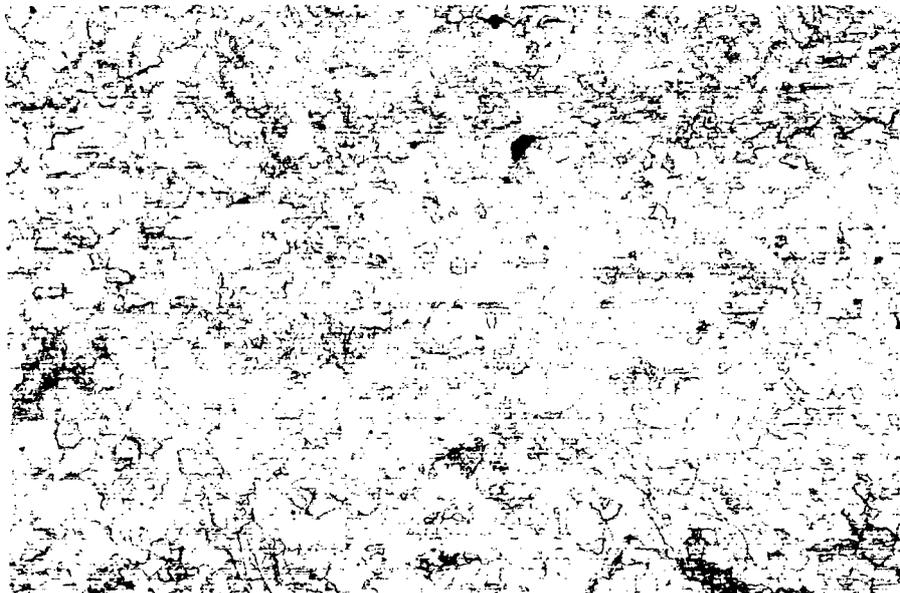
- A. Hasil pengujian kekerasan pelat A pada kondisi sebelum dan sesudah pengelasan, angka kekerasan kondisi awal  $139 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Titik  $155,67 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Otogen  $189,33 \text{ kg/mm}^2$ .
- B. Hasil pengujian kekerasan pelat B pada kondisi sebelum dan sesudah pengelasan, angka kekerasan kondisi awal  $134 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Titik  $169,33 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Otogen  $190,67 \text{ kg/mm}^2$ .

- C. Hasil pengujian kekerasan pelat C pada kondisi sebelum dan sesudah pengelasan, angka kekerasan kondisi awal  $98,77 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Titik  $180,33 \text{ kg/mm}^2$ , dengan pengelasan Otogen  $202,33 \text{ kg/mm}^2$ .

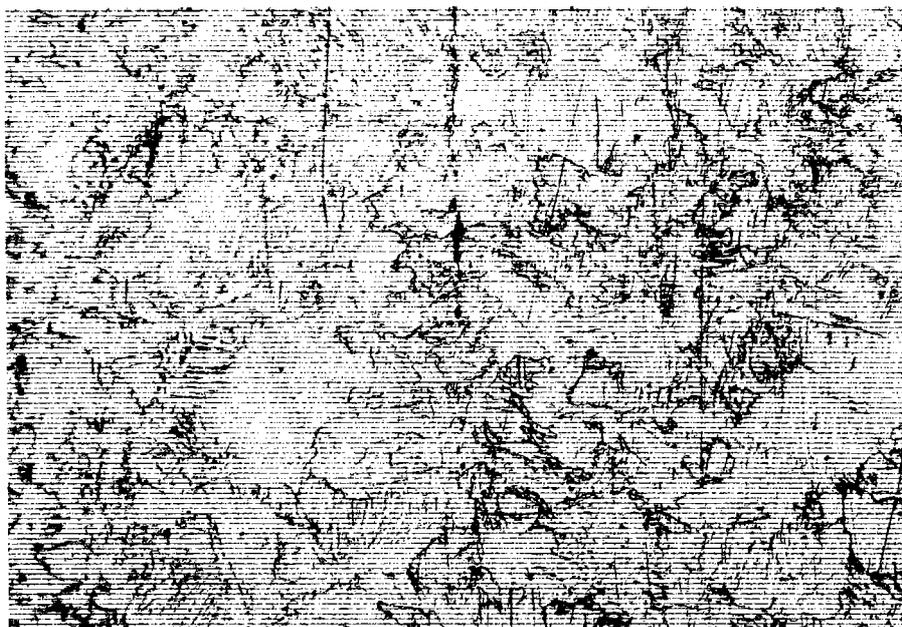


### **4.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro**

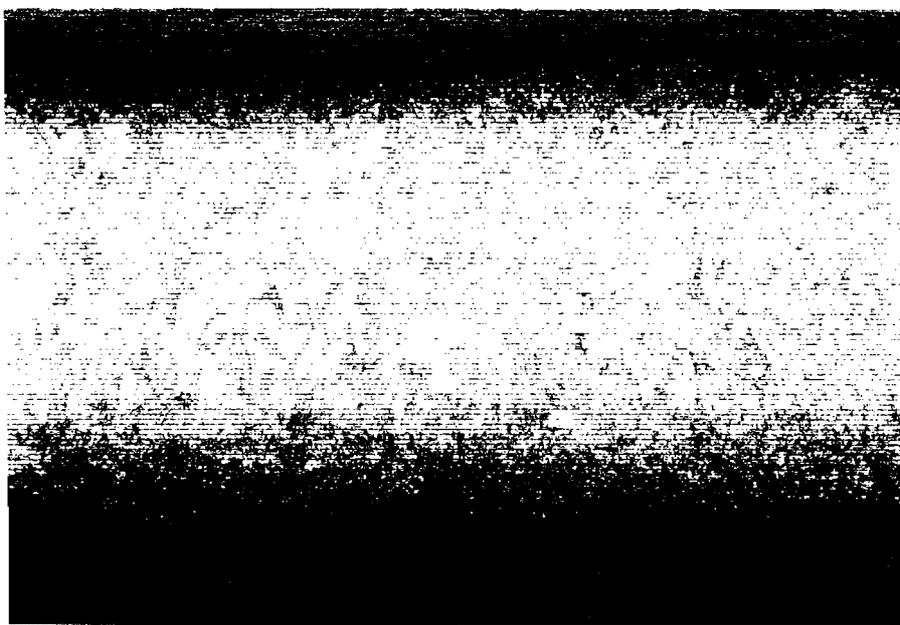
#### **4.3.1 Struktur Mikro Spesimen Pelat A**



**Gambar 4.1 : Struktur Mikro Pelat A (Awal)**

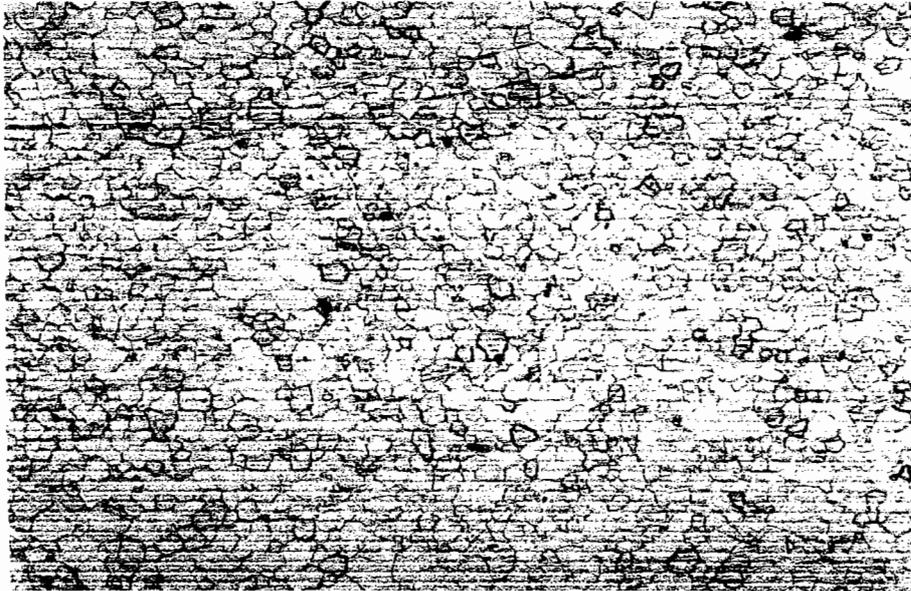


**Gambar 4.2 : Struktur Mikro Pelat A (Las Titik)**

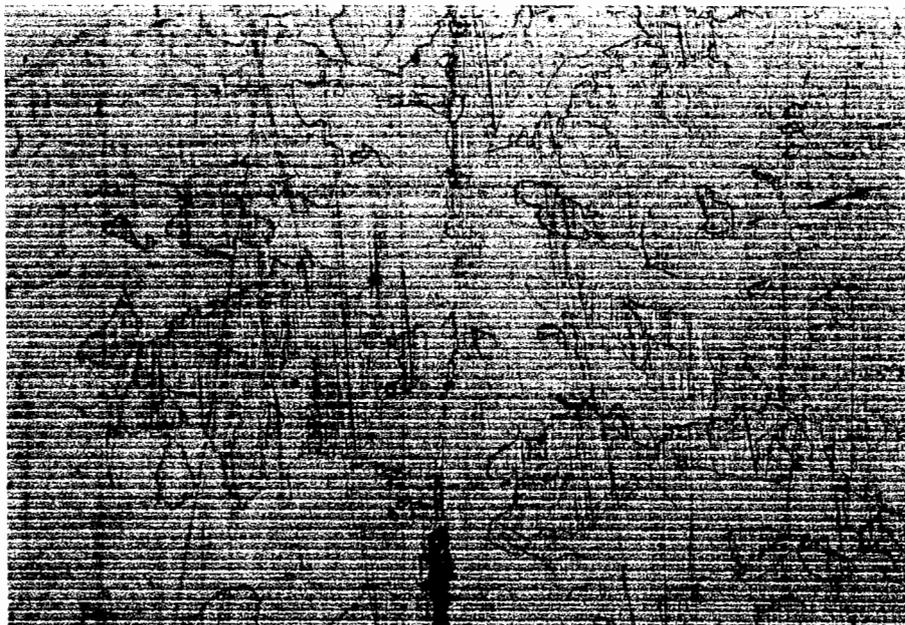


**Gambar 4.3 : Struktur Mikro Pelat A (Las Otogen)**

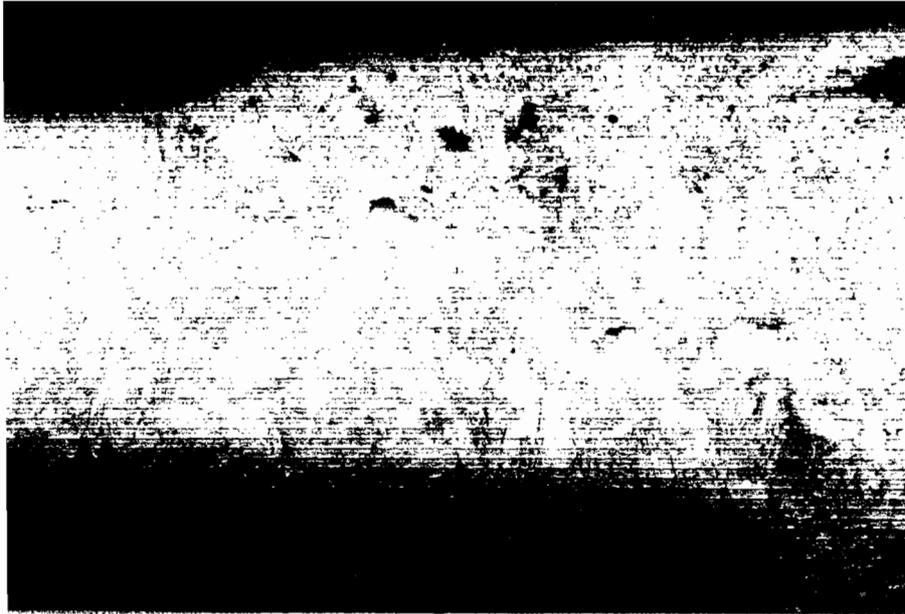
### 4.3.2 Struktur Mikro Spesimen Pelat B



**Gambar 4.4 : Struktur Mikro Pelat B (Awal)**

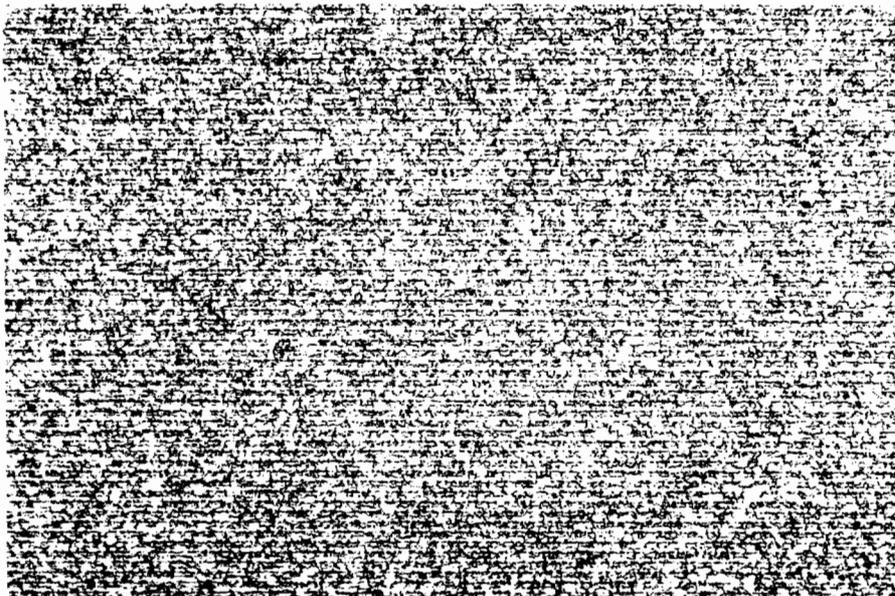


**Gambar 4.5 : Struktur Mikro Pelat B (Las Titik)**

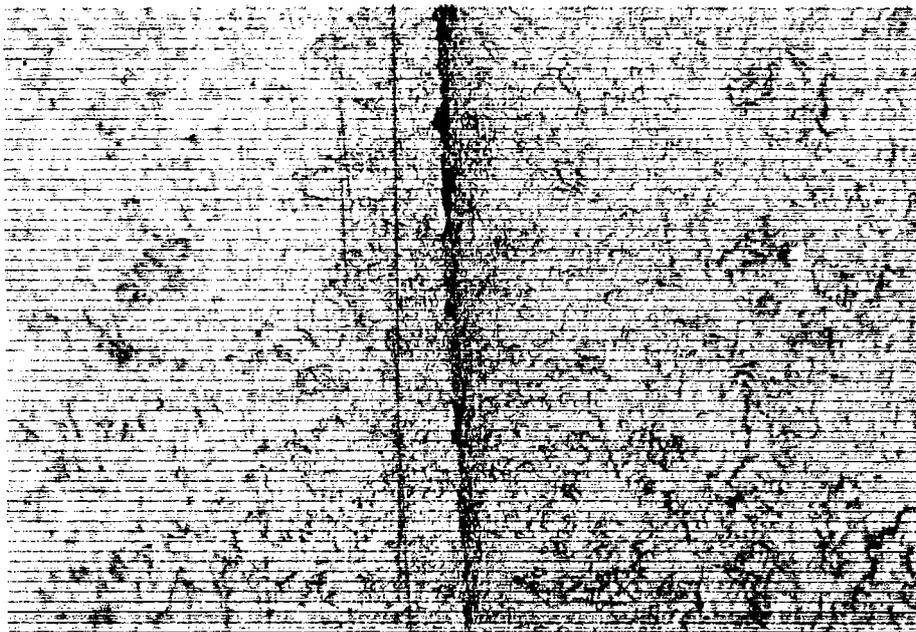


**Gambar 4.6 : Struktur Mikro Pelat B (Las Otogen)**

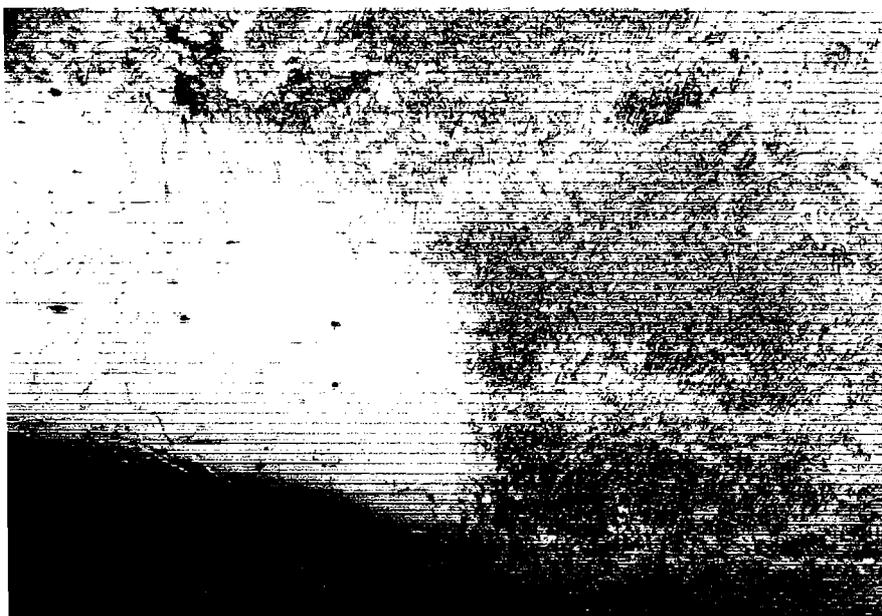
#### **4.3.3 Struktur Mikro Spesimen Pelat C**



**Gambar 4.7 : Struktur Mikro Pelat C (Awal)**



**Gambar 4.8 : Struktur Mikro Pelat C (Las Titik)**



**Gambar 4.9 : Struktur Mikro Pelat C (Las Otogen)**

## **4.4 Pembahasan**

### **4.4.1 Pengujian tarik**

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan tarik maksimum dari ketiga pelat baja baik pada kondisi mula-mula dan kondisi setelah pengelasan. Dalam konstruksi las umumnya digunakan logam las yang mempunyai kekuatan dan keuletan yang lebih baik atau paling tidak sama dengan logam induk. Dalam penelitian ini dimana jenis las titik pada pelat A,B, dan C kekuatan tariknya lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tarik logam induk maka benda uji lebih banyak putus pada sambungan lasan.

Untuk pengelasan, pada jenis las titik (pelat A, B dan C) dan jenis las otogen (pelat B) rata-rata benda uji putus pada bagian sambungan lasan, hal tersebut terjadi karena adanya faktor-faktor cacat pengelasan sebagai berikut :

1. Tegangan tarik logam induk lebih besar daripada tegangan tarik elektroda lasan.
2. Timbulnya kropos pada lasan, kropos pada lasan ini terjadi karena terperangkapnya terak, gas atau bahan lain yang lebih tinggi titik cairnya. Terak terperangkap karena kurang bersih pada jalur sebelumnya. Untuk mengatasi timbulnya terak dilakukan pemukulan pada lajur yang selesai dilas, supaya terak dan kotoran lainnya dapat terbang, namun karena bentuk kampuh yang terlalu kecil dan sempit menjadi sebab sulitnya menghilangkan terak.
3. Selain itu timbulnya retak, lubang-lubang, bopeng-bopeng, meskipun dalam ukuran kecil tetap akan berpengaruh terhadap kekuatan lasan.

4. Kurang tepatnya parameter las, yaitu amperenya kurang besar, atau terlalu kecil, berpengaruh terhadap pencairan elektroda selain itu kurang rataanya elektroda.

#### **4.4.2 Pengujian kekerasan**

Pengujian yang dipakai adalah pengujian kekerasan Vickers Mikro Hardness. Kekerasan benda uji tergantung pada panjang diagonal bekas injakan yang diukur dengan bantuan mikroskop optik. Hasil pengujian dari ketiga jenis pelat setelah pengelasan menunjukkan kenaikan harga kekerasan bahan dibandingkan sebelum dilas, hal ini disebabkan karena adanya penambahan unsur karbon dari elektroda yang digunakan. Sehingga terjadi perubahan unsur martensit menjadi perlit dan strukturnya masih tetap rapat. Kenaikan harga kekerasan yang paling besar terdapat pada pelat C dengan pengelasan otogen yaitu sekitar 202,33 kg/mm<sup>2</sup> dibanding dengan bahan tanpa pengelasan yang sekitar 98,77 kg/mm<sup>2</sup>.

#### **4.4.3 Struktur Mikro**

Dengan dilakukannya uji struktur mikro ini, dapat diketahui struktur dari komposisi kimia penyusun ketiga jenis pelat baja berikut akibat pengaruh panas karena pengelasan. Dari pengamatan hasil foto struktur mikro terlihat bahwa terdapat perubahan struktur atom pembentuknya. Pada daerah over heating dimana kristalnya kasar, dan oleh karenanya logam kehilangan sedikit keuletan dan ketahanan terhadap beban kejut. Perubahan kristal penyusun dari ketiga jenis pelat ada yang semakin besar dan ada yang menjadi halus dari sebelum

pengelasan. Semakin besar bentuk kristalnya semakin keras bahan tersebut, namun karena bidang kontak antar kristalnya semakin kecil sehingga kekuatannya menurun. Demikian pula sebaliknya bila semakin halus bentuk kristalnya, maka bertambah besar bidang kontak antar kristal, sehingga makin ulet akan tetapi kurang keras. Dari dua macam pengelasan yang dipakai, pada pengelasan Otogen daerah HAZ (Heat Affected Zone) terlihat panjang dan pada pengelasan Titik hampir kurang jelas batasannya. Hal ini disebabkan pelat yang digunakan tergolong pelat tipis yaitu 0,8 mm, sedangkan pada pengelasan Titik ampere yang digunakan 4 ampere dengan waktu 5 detik. Pengaruh panas pada pengelasan pelat tipis yaitu penyebaran panas lebih banyak kedua arah saja sehingga menyebabkan daerah HAZ menjadi panjang mengikuti arah panas.

Elektroda yang digunakan juga mempengaruhi susunan unsur pembentuk, sehingga HAZ antara bahan induk dan bahan tambah tidak terlalu terlihat jelas perbedaannya. Elektroda yang dipilih mempunyai kandungan unsur yang hampir sama dengan bahan induk. Sedangkan pada pengelasan dengan las Titik penggabungan yang dilakukan tanpa bahan tambah. Pada daerah sambungan las masih terdapat lubang-lubang hitam atau bopeng-bopeng yang menyebabkan kropos, hal ini dapat disebabkan oleh masih terdapatnya kotoran-kotoran pada bagian yang akan dilas atau masih adanya udara dan unsur lain yang masuk selama proses pengelasan. Udara dan unsur-unsur lain dapat menyebabkan terjadinya oksidasi pada daerah pengelasan.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

##### **5.1.1 Uji tarik**

Berdasarkan data hasil penelitian dan data hasil analisis yang telah diperoleh dari dua macam pengelasan yaitu: las titik dan las otogen pada ketiga jenis pelat baja maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

A. Terjadi penurunan kekuatan tarik pelat A setelah :

Dilas otogen dari sekitar  $38 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $33 \text{ kg/mm}^2$ .

Dilas titik dari sekitar  $38 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $5 \text{ kg/mm}^2$ .

B. Terjadi penurunan kekuatan tarik pelat B setelah :

Dilas otogen dari sekitar  $59 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $44 \text{ kg/mm}^2$ .

Dilas titik dari sekitar  $59 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $4 \text{ kg/mm}^2$ .

C. Terjadi penurunan kekuatan tarik pelat C setelah :

Dilas otogen dari sekitar  $41 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $40 \text{ kg/mm}^2$ .

Dilas titik dari sekitar  $41 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $5 \text{ kg/mm}^2$ .

##### **5.1.2 Uji kekerasan**

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian kekerasan dengan dua jenis pengelasan yaitu: las titik dan otogen pada ketiga jenis pelat terjadi peningkatan nilai kekerasannya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

A Terjadi peningkatan kekerasan pelat A setelah :

Dilas otogen dari sekitar  $139 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $189 \text{ kg/mm}^2$ .

Dilas titik dari sekitar  $139 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $156 \text{ kg/mm}^2$ .

B Terjadi peningkatan kekerasan pelat B setelah :

Dilas otogen dari sekitar  $134 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $190 \text{ kg/mm}^2$ .

Dilas titik dari sekitar  $134 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $169 \text{ kg/mm}^2$ .

C Terjadi peningkatan kekerasan pelat C setelah :

Dilas otogen dari sekitar  $99 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $202 \text{ kg/mm}^2$ .

Dilas titik dari sekitar  $99 \text{ kg/mm}^2$  menjadi sekitar  $180 \text{ kg/mm}^2$ .

### 5.1.3 Struktur mikro

Pada struktur mikro logam induk yang terbentuk adalah matrik ferrit dan perlit, dengan butiran-butiran yang besar dan sangat jelas. Untuk daerah weld metal (logam lasan) matrik ferrit mulai mendominasi struktur mikro yang terbentuk. Sedangkan matrik perlit bentuknya mulai memudar dan memanjang tak teratur dengan batasan yang tidak jelas. Pada daerah HAZ struktur mikro yang terbentuk sangat rapat antara matrik ferrit dan perlit dengan susunan butiran sangat halus dan batasan daerah HAZ yang tidak jelas.

Bahan tambah yang digunakan mempunyai kandungan unsur yang hampir sama dengan bahan induk, sehingga HAZ antara bahan induk dan bahan tambah tidak terlalu terlihat jelas perbedaannya. Pada daerah sambungan las masih terdapat lubang-lubang hitam atau bopeng-bopeng yang menyebabkan kropos.

## 5.2 Penutup

Proses tugas akhir ini adalah proses meneliti suatu logam yang berbentuk pelat tipis dengan bahan dari tiga jenis pelat mobil yang berbeda. Proses ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengelasan titik dan oton terhadap pengujian tarik, kekerasan dan struktur mikro sehingga bahan ini dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan.

Dengan demikian harus terjadi proses penelitian yang terarah serta berurutan yang dimulai dari pembuatan sampel uji sampai pada perolehan data. Terjadinya angka-angka hasil penelitian yang mungkin tidak stabil atau kurang akuratan data, hal ini disebabkan karena keterbatasan dari peralatan dan kejelian serta ketelitian pengamatan yang dilakukan. Penulis sadar bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, namun yang berarti adalah penulis mencoba semaksimal mungkin untuk dapat mengetahui maksud dan tujuan dari penelitian ini, meskipun masih dalam tahap belajar. Demikian hasil Tugas Akhir ini, semoga hal ini dapat bermanfaat bagi proses belajar kita semua.

## 5.3 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan serta dari hasil yang diperoleh, penulis ingin menyampaikan beberapa saran yang diharapkan dapat lebih meningkatkan kualitas penelitian dikemudian hari.

1. Agar diperoleh hasil yang maksimal perlu ketelitian pada langkah kerja, proses kerja dan ketelitian dalam mengolah data.

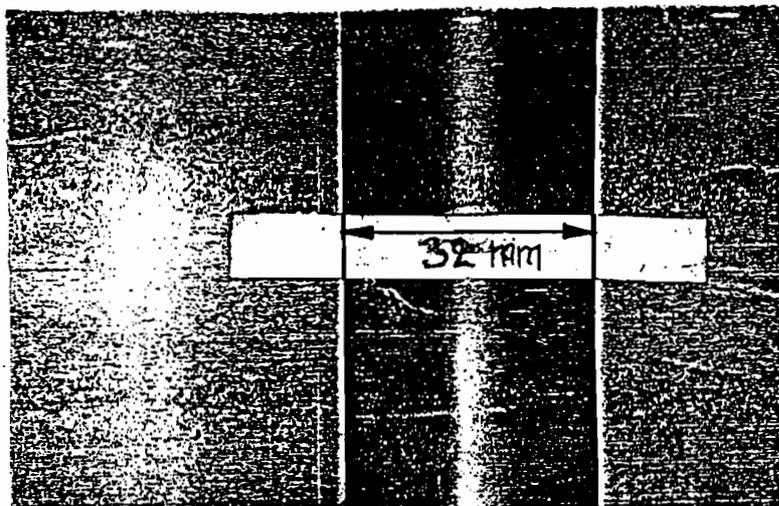
2. Pemilihan jenis las dan elektroda harus sesuai dengan jenis, bentuk, unsur penyusun dari bahan yang akan digunakan.
3. Literatur sangat berguna sekali untuk penelitian dan pengetahuan. Dengan tersedianya bacaan dipergustakaan USD sangat membantu mahasiswa dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
4. Kelengkapan alat-alat uji sangat membantu mahasiswa untuk lebih fokus dalam mempelajari dan mendalami suatu penelitian.
5. Penelitian tentang pengelasan jika spesimen berbentuk pelat hendaknya semua spesimen dinormalising terlebih dahulu agar diperoleh perbandingan sifat-sifat fisis dan mekanis yang lebih baik.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Alip, M., 1989, *Teori Dan Praktik Las*, Departemen Dan Kebudayaan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan, Jakarta.
- Holman, J. P., 1985, *Metode Pengukuran Teknik*, Erlangga, Jakarta.
- Jesen, A., Sebayang, D., 1991, *Kekuatan Bahan Terapan*, Erlangga, Jakarta.
- Suharto, 1991, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT Rineka Cipta, Jakarta.
- Surdia, T., 1984, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT Prdnya Paramita, Jakarta.

SAMPARAN

## Gambar 1. Kawat kalibrasi



Gambar kawat kalibrasi

Keterangan :

- a. Kawat kalibrasi pada foto 32 mm.
- b. Ukuran kawat sebenarnya 0,11 mm.

Perhitungannya :

$$\text{Angka pembagi} = \frac{\text{Lebar kawat pada foto}}{\text{Lebar kawat sebenarnya}}$$

$$\text{Angka skala} = \frac{\text{Jarak skala}}{\text{Angka pembagi}}$$

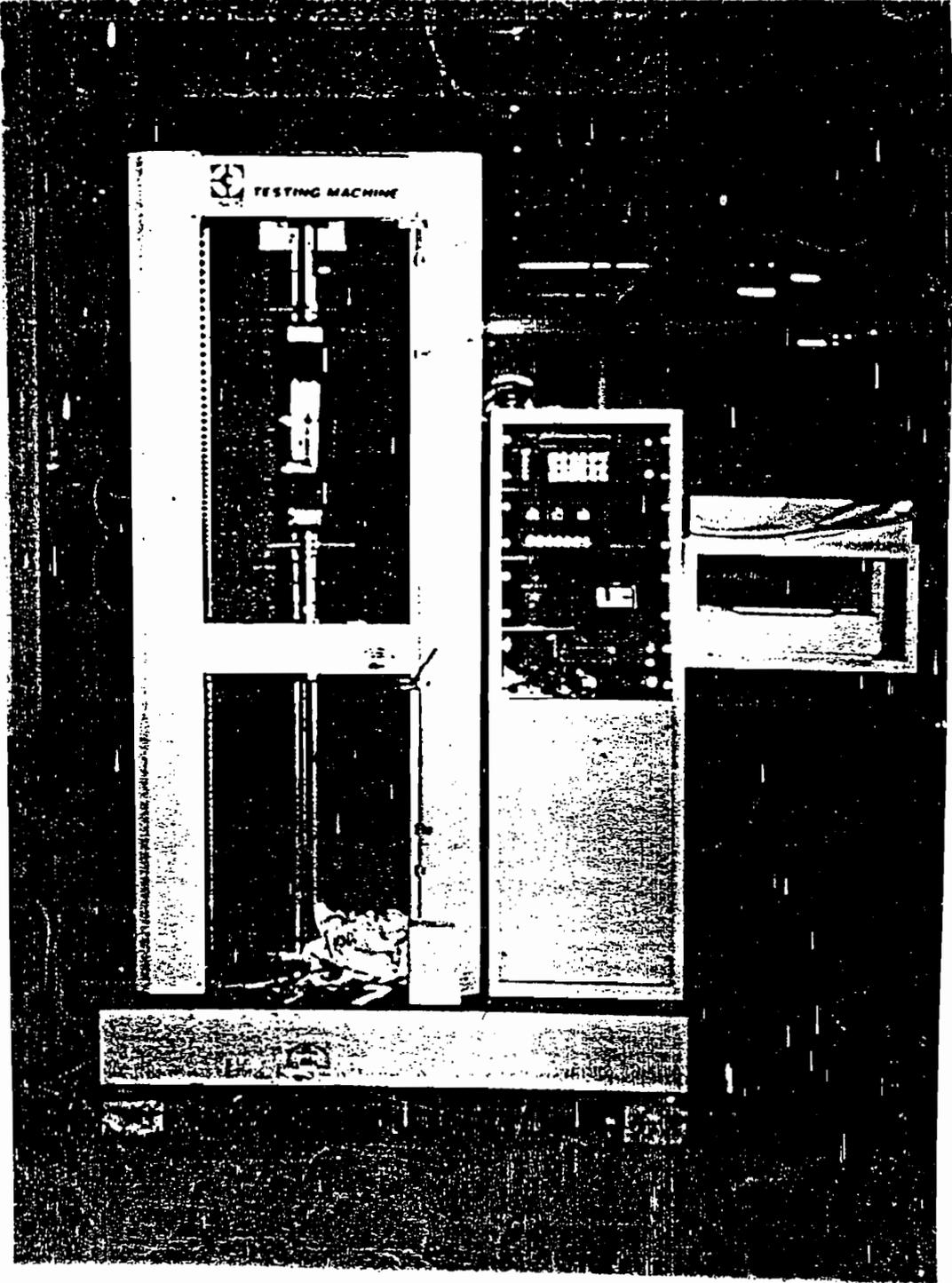
Jadi :

$$\text{Angka pembagi} = \frac{32\text{mm}}{0,11\text{mm}} = 290,9$$

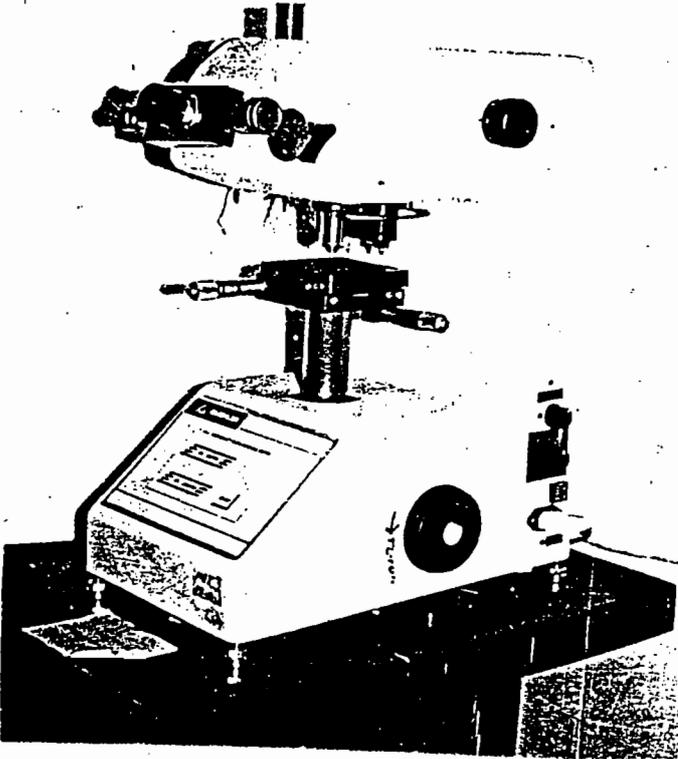
$$\text{Angka skala} = \frac{20\text{mm}}{290,9} = 0,06875\text{mm}$$

$$= 68,75 \mu\text{m}$$

Gambar 2. Mesin uji tarik



Gambar 3. Mesin uji kekerasan



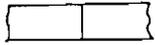
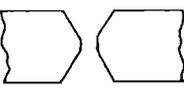
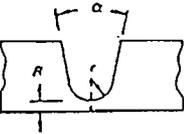
**Tabel 1. Jenis-jenis baja menurut AISI dan SAE**

Seri	Elemen tambahan	Seri	Elemen tambahan
10xx	Baja karbon tanpa S dan P	48xx	Ni: 3,50 % Mo: 0,25 %
11xx	Baja karbon dengan S	51xx	Cr: 0,80 %
12xx	Baja karbon dengan S dan P	514xx	Corrosion and resisting steels
13xx	Mn: 1,60-1,90 %	515xx	Corrosion and resisting steels
23xx	Ni: 3,50 %	52xx	Cr: 1,50 %
25xx	Ni: 5,00 %	61xx	Cr: 0,78 % V: 0,13 %
31xx	Ni: 1,25 % Cr: 0,60 %	86xx	Ni: 0,55 % Cr: 0,50 % Mo: 0,20 %
32xx	Ni: 1,75 % Cr: 1,00 %	87xx	Ni: 0,55 % Cr: 0,50 % Mo: 0,25 %
33xx	Ni: 3,50 % Cr: 1,50 %	88xx	Ni: 0,55 % Cr: 0,50 % Mo: 0,35 %
34xx	Ni: 3,00 % Cr: 0,8 %	92xx	Mn: 0,80 % Si: 2,00 %
303xx	Corrosion and heat resisting steels	93xx	Ni: 3,25 % Cr: 1,20 % Mo: 0,12 %
40xx	Mo: 0,25 %	94xx	Mn: 0,95 - 1,25 % Ni: 0,45 % Cr: 0,40 % Mo: 0,20 %
41xx	Cr: 1,00 % Mo: 0,20 %	97xx	Ni: 0,55 % Cr: 0,17 % Mo: 0,20 %
43xx	Ni: 1,83 % Cr: 0,80 % Mo: 0,25 %	98xx	Ni: 1,00 % Cr: 0,80 % Mo: 0,25 %
46xx	Ni: 1,75 % Mo: 0,25 %		

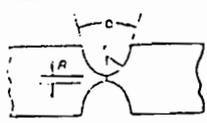
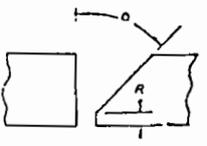
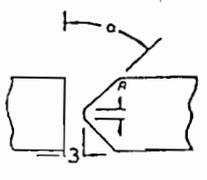
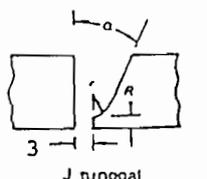
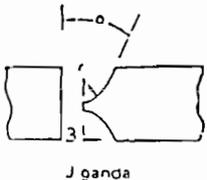
**Tabel 2. Pengaruh unsur-unsur paduan pada baja**

Unsur-unsur paduan	Pengaruh pada baja
S (Sulfur) dan P (Phosfor)	Semua baja mengandung S dan P. Unsur-unsur ini sebagian berasal dari kotoran terbawa bijih-besi sebelum diolah dalam dapur tinggi. Kadar S dan P harus dibuat sekecil mungkin karena unsur S dan P akan menurunkan kualitas baja. Kadar S dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu tinggi (panas) sedang P menjadikan baja rapuh pada suhu rendah (dingin). Kadang-kadang unsur P perlu ditambahkan pada baja agar mudah dikerjakan dengan mesin perkakas dan juga untuk mendapatkan ukuran tatal lebih kecil ketika dikerjakan dengan mesin otomatis (Pb membawa pengaruh seperti P).
Mn (Mangan)	Semua baja mengandung Mn karena diperlukan dalam proses pembuatan baja. Kadar Mn lebih kecil dari 0,6 % tidak dianggap sebagai unsur paduan karena tidak mempengaruhi sifat-baja secara menyolok. Unsur Mn dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai deoksidan (pengikat O <sub>2</sub> ) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Kadar Mn rendah dapat juga menurunkan kecepatan pendinginan kritis.
Ni (Nikel)	Unsur Ni memberi pengaruh sama seperti Mn, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Kadar Ni cukup banyak menjadikan baja austenit pada suhu kamar. Ni membuat struktur butiran halus dan menaikkan keuletan baja.
Si (Silikon)	Unsur Si selalu terdapat dalam baja. Unsur ini menurunkan laju perkeubangan gas sehingga mengurangi sifat berpori baja. Si akan menaikkan tegangan tarik, menurunkan kecepatan pendinginan kritis. Unsur Si harus selalu ada dalam baja walaupun dalam jumlah kecil untuk memberi sifat mampu las dan mampu tempa pada baja.
Cr (Chromium)	Cr dapat memundahkan titik eutektik ke kiri. Cr dan C akan membentuk carbide yang akan menaikkan kekerasan baja. Cr akan meningkatkan kemampuan potong dan daya tahan alat perkakas, tetapi menurunkan keuletan. Cr akan menurunkan kecepatan pendinginan kritis dan menaikkan suhu kritis baja.
Co (Cobalt)	Biasanya unsur Co digunakan bersama-sama dengan paduan lainnya. Co menaikkan daya tahan aus dan menghalangi pertumbuhan butiran.
W (Tungsten) Mo (Molibden) V (Vanadium)	Seperti Cr, unsur-unsur ini akan membentuk carbide dalam baja yang akan menaikkan kekerasan, kemampuan potong dan daya tahan aus baja. Unsur-unsur ini juga memberikan daya tahan panas pada alat perkakas yang bekerja dengan kecepatan tinggi. Unsur ini tidak begitu mempengaruhi kecepatan pendinginan baja tetapi menaikkan titik eutektik baja. Unsur paduan ini terutama digunakan pada palat baja HSS (High Speed Steel)

**Tabel 3. Hubungan antara bentuk sambungan, lasn dan tebal bahan serta dimensi bahan**

Bentuk lasan untuk samb. ujung	Sisi lasan	Tebal benda (mm)	Lebar celah (mm)	Tebal akar (mm)	Sudut pingul
 tertutup	satu dua	s/d 1,5 s/d 3			
 I terbuka	dua	s/d 4,5	1,5		
 I terbuka dng plat dukung	satu	s/d 4,5 s/d 12	4,5 7,5		
 V-tunggal	satu atau dua	4,5 s/d 25 jika dg plat dukung	0 s/d 3 3 s/d 4,5	0 s/d 3	60
 V ganda	dua	lebih dari 12,5	0 s/d 3	0 s/d 3	60
 U tunggal	satu atau dua	lebih dari 18	0 s/d 3	3 s/d 4,5	10 s/d 30

**Tabel 4. Hubungan antara bentuk sambungan, lasn dan tebal bahan serta dimensi bahan**

Bentuk lasan untuk samb. ujung	Sisi lasan	Tebal benda (mm)	Lebar celah (mm)	Tebal akar (mm)	Sudut pingul
 <p>U ganda</p>	dua	Lebih dari 35		3 s/d 4,5	10 s/c 30
 <p>1/2 V tunggal</p>	dua	s/d 25 Maksimum jika dengan plat penumpu	0 s/d 3	0 s/d 3	45 s/d 50
 <p>1/2 V ganda</p>	dua	Lebih dari 12,5	0 s/d 3	0 s/d 3	45 s/d 50
 <p>J tunggal</p>	dua	Lebih dari 18	3	3 s/d 4,5	20 s/d 30
 <p>J ganda</p>	dua	Lebih dari 35	3	3 s/d 4,5	20 s/d 30

**Tabel 5. Persamaan kekuatan tarik dan kekerasan baja**

CONVERSION TABLE					
HV	HB	HRC	Tensile strength		
			N/mm <sup>2</sup>	l.p.s.i.	
80	76.0		255	16.5	
85	80.7		270	17.5	
90	85.5		285	18.4	
95	90.2		305	19.7	
100	95.0		320	20.7	
105	99.8		335	21.7	
110	105		350	22.7	
115	109		370	23.7	
120	114		385	24.9	
125	119		400	25.9	
130	124		415	26.9	
135	128		430	27.8	
140	133		450	29.1	
145	138		465	30.1	
150	143		480	31.1	
155	147		495	32.1	
160	152		510	33.0	
165	156		530	34.3	
170	162		545	35.3	
175	166		560	36.2	
180	171		575	37.2	
185	176		595	38.5	
190	181		610	39.5	
195	185		625	40.5	
200	190		640	41.4	
205	195		660	42.7	
210	199		675	43.7	
215	204		690	44.7	
220	209		705	45.6	
225	214		720	46.6	
230	219		740	47.9	
235	223		755	48.9	
240	228	20.3	770	49.9	
245	233	21.3	785	50.8	
250	238	22.2	800	51.8	
255	242	23.1	820	53.1	
260	247	24.0	835	54.1	
265	252	24.8	850	55.0	
270	257	25.6	865	56.0	
275	261	26.4	880	57.0	
280	266	27.1	900	58.3	
285	271	27.8	915	59.2	
290	276	28.5	930	60.2	
295	280	29.2	950	61.5	
300	285	29.8	965	62.5	
310	295	31.0	995	64.4	
320	304	32.2	1030	66.7	
330	314	33.3	1060	68.6	
340	323	34.4	1095	70.9	
350	333	35.5	1125	72.8	
360	342	36.6	1155	74.8	
370	352	37.7	1190	77.1	
380	361	38.8	1220	79.0	
390	371	39.8	1255	81.3	
400	380	40.8	1290	83.5	
410	390	41.8	1320	85.5	
420	399	42.7	1350	87.4	
430	409	43.6	1385	89.7	
440	418	44.5	1420	91.9	
450	428	45.3	1455	94.2	
460	437	46.1	1485	96.2	
470	447	46.9	1520	98.4	
480	(456)	47.7	1555	101	
490	(466)	48.4	1595	103	
500	(475)	49.1	1630	106	
510	(485)	49.8	1665	108	
520	(494)	50.5	1700	110	
530	(504)	51.1	1740	113	
540	(513)	51.7	1775	115	
550	(523)	52.3	1810	117	
560	(532)	53.0	1845	119	
570	(542)	53.6	1880	122	
580	(551)	54.1	1920	124	
590	(561)	54.7	1955	127	
600	(570)	55.2	1995	129	
610	(580)	55.7	2030	131	
620	(589)	56.3	2070	134	
630	(599)	56.8	2105	136	
640	(608)	57.3	2145	139	
650	(618)	57.8	2180	141	
660		58.3			
670		58.8			
680		59.2			
690		59.7			
700		60.1			
720		61.0			
740		61.8			
760		62.5			
780		63.3			
800		64.0			
820		64.7			
840		65.3			
860		65.9			
880		66.4			
900		67.0			
920		67.5			
940		68.0			

Tabel 6. Konversi kekerasan karbon dan baja karbon rendah

HARDNESS CONVERSION TABLE FOR CARBON AND LOW-ALLOY STEELS							
Vickers diamond hardness number	Brinell		Rockwell Hardness		Shore hardness	Tensile strength, tons/sq in.	Tensile strength, kg/sq mm
	Diam. of impression with 3000 kg load in mm	Hardness No.	C Scale 150 kg load, Diamond conc	B Scale 100 kg load			
226	4,00	229	21	98	32	50	79
221	4,05	223	20	97	31	49	77
217	4,10	217	19	96	30	47	74
213	4,15	212	18	95	30	46	72
209	4,20	207	17	94	29	45	71
201	4,25	201	15	93	29	44	69
197	4,30	197	14	92	28	43	68
190	4,35	192	13	91	28	42	66
186	4,40	187	12	90	27	41	65
183	4,45	183	11	89	27	40	63
177	4,50	179	10	88	26	39.5	63
174	4,55	174	9	87	26	39	62
171	4,60	170	8	86	25	38.5	61
165	4,65	167	7	85	25	38	60
162	4,70	163	6	84	24	37.5	59
159	4,75	159	5	83	24	36.5	58
154	4,80	156	4	82	23	36	57
151	4,85	152	3	81	23	35	55
149	4,90	149	2	80	22	34	54
147	4,95	146	1	79	—	33.5	53
144	5,00	143	—	78	—	33	52
—	5,05	140	—	77	—	32	51
—	5,10	137	—	75	—	31.5	50
—	5,15	134	—	74	—	31	49
—	5,20	131	—	73	—	30	48
—	5,25	128	—	72	—	29.5	47
—	5,30	126	—	71	—	29	46
—	5,35	123	—	69	—	28.5	45
—	5,40	121	—	68	—	28	44
—	5,45	118	—	66	—	27	43
—	5,50	116	—	65	—	26.5	42
—	5,55	114	—	64	—	26	41
—	5,60	111	—	62	—	25.5	40
—	5,65	109	—	61	—	25	39
—	5,70	107	—	59	—	24.5	39
—	5,75	105	—	58	—	24	38
—	5,80	103	—	57	—	23.5	37
—	5,85	101	—	56	—	23	37
—	5,90	99	—	54	—	22.75	36
—	5,95	97	—	53	—	22.5	35
—	6,00	95	—	52	—	22	34

**Tabel 7. Konversi kekerasan karbon dan baja karbon rendah**

HARDNESS CONVERSION TABLE FOR CARBON AND LOW-ALLOY STEELS							
Vickers diamond hardness number	Brinell		Rockwell Hardness		Shore hardness	Tensile strength tons/sq in.	Tensile strength kg/sq mm
	Diam. of impression with 5000 kg load in mm	Hardness No.	C Scale 150 kg load, Diamond conc	B Scale 100 kg load			
—	2,00	945	—	—	—	—	—
—	2,05	899	—	—	—	—	—
—	2,10	856	—	—	—	—	—
—	2,15	817	—	—	—	—	—
1220	2,20	780	72	—	109	170	268
1114	2,25	745	69	—	102	164	259
1021	2,30	712	67	—	98	156	248
940	2,35	682	65	—	95	149	235
867	2,40	653	63	—	91	144	229
803	2,45	627	61	—	87	140	220
746	2,50	601	59	—	84	134	210
694	2,55	578	58	—	81	120	205
649	2,60	555	56	—	78	125	197
606	2,65	534	54	—	75	120	189
587	2,70	514	52	—	73	115	181
551	2,75	495	51	—	71	112	177
534	2,80	477	49	—	68	109	172
502	2,85	461	48	—	66	104	164
502	2,85	461	48	—	66	104	164
474	2,90	444	47	—	64	100	157
460	2,95	429	45	—	62	94	148
435	3,00	415	44	—	60	91	143
423	3,05	401	43	—	58	88	139
401	3,10	388	41	—	56	84	132
390	3,15	375	40	—	54	82	129
380	3,20	363	39	—	52	79	125
361	3,25	352	38	—	51	76	120
344	3,30	341	37	—	49	74	117
335	3,35	331	36	—	48	72	113
320	3,40	321	35	—	46	70	110
312	3,45	311	34	—	45	68	107
305	3,50	302	33	—	43	66	104
291	3,55	293	31	—	42	64	101
285	3,60	285	30	—	41	62	98
278	3,65	277	29	—	40	60	95
272	3,70	269	28	—	38	59	93
261	3,75	262	27	—	37	57	90
255	3,80	255	26	—	36	55	87
250	3,85	248	25	—	35	54	85
240	3,90	241	23	100	33	52	88
235	3,95	235	22	99	32	51	80

**Tabel 8. Angka kekerasan vickers**

L o a d 1 0 0 0 g f ( 1 k g f )

Diagonal ( $\mu$ m)	Vickers Hardness Number									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
35	1513	1505	1496	1488	1479	1471	1463	1455	1447	1439
36	1431	1423	1415	1407	1399	1392	1384	1377	1369	1362
37	1354	1347	1340	1333	1325	1318	1311	1304	1298	1291
38	1284	1277	1271	1264	1257	1251	1244	1238	1232	1225
39	1219	1213	1207	1200	1194	1188	1182	1176	1170	1165
40	1159	1153	1147	1142	1136	1130	1125	1119	1114	1108
41	1103	1098	1092	1087	1082	1076	1071	1066	1061	1056
42	1051	1046	1041	1036	1031	1026	1022	1017	1012	1007
43	1003	998	993	989	984	980	975	971	966	962
44	958	953	949	945	940	936	932	928	924	920
45	916	911	907	903	899	896	892	888	884	880
46	876	872	869	865	861	857	854	850	846	843
47	839	836	832	829	825	822	818	815	811	808
48	805	801	798	795	791	788	785	782	779	775
49	772	769	766	763	760	757	754	751	748	745
50	742	739	736	733	730	727	724	721	718	716
51	713	710	707	704	702	699	696	694	691	688
52	686	683	680	678	675	673	670	668	665	663
53	660	658	655	653	650	648	645	643	641	638
54	636	633	631	629	625	624	622	620	617	615
55	613	611	608	606	604	602	600	598	595	593
56	591	589	587	585	583	581	579	577	575	573
57	571	569	567	565	563	561	559	557	555	553
58	551	549	547	545	544	542	540	538	536	534
59	533	531	529	527	525	524	522	520	518	517
60	515	513	512	510	508	507	505	503	502	500
61	498	497	495	493	492	490	489	487	485	484
62	482	481	479	478	476	475	473	472	470	469
63	467	466	464	463	461	460	458	457	455	454
64	453	451	450	448	447	446	444	443	442	440
65	439	437	436	435	433	432	431	430	428	427
66	426	424	423	422	421	419	418	417	415	414
67	413	412	411	409	408	407	406	405	403	402
68	401	400	399	397	396	395	394	393	392	391
69	389	388	387	386	385	384	383	382	381	379
70	378	377	376	375	374	373	372	371	370	369
71	368	367	366	365	364	363	362	361	360	359
72	358	357	356	355	354	353	352	351	350	349
73	348	347	346	345	344	343	342	341	340	339
74	339	338	337	336	335	334	333	332	331	330
75	330	329	328	327	326	325	324	324	323	322
76	321	320	319	318	318	317	316	315	314	314
77	313	312	311	310	309	309	308	307	306	306
78	305	304	303	302	302	301	300	299	299	298
79	297	296	296	295	294	293	293	292	291	290

Tabel 9. Angka kekerasan vickers

Load : 0 0 0 g f ( 1 k g f )

Diagonal ( $\mu$ m)	Vickers Hardness Number									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9
80	290	289	288	288	287	286	285	285	284	283
81	283	282	281	280	280	279	278	278	277	276
82	276	275	274	274	273	272	272	271	270	270
83	269	268	268	267	267	266	265	265	264	263
84	263	262	262	261	260	260	259	258	258	257
85	257	256	255	255	254	254	253	252	252	251
86	251	250	250	249	248	248	247	247	246	245
87	245	244	244	243	243	242	242	241	241	240
88	239	239	238	238	237	237	236	236	235	235
89	234	234	233	232	232	231	231	230	230	229
90	229	228	228	227	227	226	226	225	225	224
91	224	223	223	222	222	221	221	220	220	220
92	219	218	218	217	217	216	216	215	215	215
93	214	213	213	212	212	211	211	210	210	210
94	210	209	209	208	208	207	207	206	206	206
95	205	205	204	204	203	203	202	202	201	201
96	201	200	200	200	199	199	198	198	197	197
97	197	196	196	195	195	194	194	193	193	193
98	193	192	192	191	191	190	190	189	189	189
99	189	188	188	187	187	186	186	185	185	185
100	185	184	184	183	183	182	182	181	181	181
101	182	181	180	180	179	179	178	178	177	177
102	178	177	177	176	176	175	175	174	174	174
103	175	174	174	173	173	172	172	171	171	171
104	171	170	170	169	169	168	168	167	167	167
105	168	167	167	166	166	165	165	164	164	164
106	165	164	164	163	163	162	162	161	161	161
107	162	161	161	160	160	159	159	158	158	158
108	159	158	158	157	157	156	156	155	155	155
109	156	155	155	154	154	153	153	152	152	152
110	153	152	152	151	151	150	150	149	149	149
111	150	149	149	148	148	147	147	146	146	146
112	148	147	147	146	146	145	145	144	144	144
113	145	144	144	143	143	142	142	141	141	141
114	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139
115	140	139	139	138	138	137	137	136	136	136
116	138	137	137	136	136	135	135	134	134	134
117	135	134	134	133	133	132	132	131	131	131
118	133	132	132	131	131	130	130	129	129	129
119	131	130	130	129	129	128	128	127	127	127
120	129	128	128	127	127	126	126	125	125	125
121	127	126	126	125	125	124	124	123	123	123
122	125	124	124	123	123	122	122	121	121	121
123	123	122	122	121	121	120	120	119	119	119
124	121	120	120	119	119	118	118	117	117	117

Tabel 10. Angka kekerasan vickers

L o a d 1 0 0 0 g f ( 1 k g f )

Diagonal ( $\mu\text{m}$ )	Vickers Hardness Number									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
125	119	118	118	118	118	118	118	117	117	117
126	117	117	116	116	116	116	116	115	115	115
127	115	115	115	114	114	114	114	114	114	113
128	113	113	113	113	112	112	112	112	112	112
129	111	111	111	111	111	111	110	110	110	110
130	110	110	109	109	109	109	109	109	108	108
131	108	108	108	108	107	107	107	107	107	107
132	106	106	106	106	106	106	105	105	105	105
133	105	105	104	104	104	104	104	104	104	103
134	103	103	103	103	103	102	102	102	102	102
135	102	102	101	101	101	101	101	101	101	100
136	100	100	99.9	99.8	99.7	99.5	99.4	99.2	99.1	98.9
137	99	98.5	98.5	98.3	98.2	98.1	97.9	97.8	97.6	97.5
138	97.4	97.2	97.1	96.9	96.8	96.7	96.5	96.4	96.2	96.1
139	96.0	95.8	95.7	95.5	95.4	95.3	95.1	95.0	94.9	94.7
140	94.6	94.5	94.3	94.2	94.1	93.9	93.8	93.7	93.5	93.4
141	93.3	93.1	93.0	92.9	92.7	92.6	92.5	92.3	92.2	92.1
142	91.9	91.8	91.7	91.6	91.4	91.3	91.2	91.0	90.9	90.8
143	90.7	90.5	90.4	90.3	90.2	90.0	89.9	89.8	89.7	89.5
144	89.4	89.3	89.2	89.0	88.9	88.8	88.7	88.5	88.4	88.3
145	88.2	88.1	87.9	87.8	87.7	87.6	87.5	87.3	87.2	87.1
146	87.0	86.9	86.7	86.6	86.5	86.4	86.3	86.1	86.0	85.9
147	85.8	85.7	85.6	85.4	85.3	85.2	85.1	85.0	84.9	84.8
148	84.6	84.5	84.4	84.3	84.2	84.1	84.0	83.8	83.7	83.6
149	83.5	83.4	83.3	83.2	83.1	83.0	82.8	82.7	82.6	82.5
150	82.4	82.3	82.2	82.1	82.0	81.9	81.7	81.6	81.5	81.4
151	81.3	81.2	81.1	81.0	80.9	80.8	80.7	80.6	80.5	80.4
152	80.2	80.1	80.0	79.9	79.8	79.7	79.6	79.5	79.4	79.3
153	79.2	79.1	79.0	78.9	78.8	78.7	78.6	78.5	78.4	78.3
154	78.2	78.1	78.0	77.9	77.8	77.7	77.6	77.5	77.4	77.3
155	77.2	77.1	77.0	76.9	76.8	76.7	76.6	76.5	76.4	76.3
156	76.2	76.1	76.0	75.9	75.8	75.7	75.6	75.5	75.4	75.3
157	75.2	75.1	75.0	74.9	74.8	74.7	74.6	74.5	74.5	74.4
158	74.3	74.2	74.1	74.0	73.9	73.8	73.7	73.6	73.5	73.4
159	73.3	73.2	73.2	73.1	73.0	72.9	72.8	72.7	72.6	72.5
160	72.4	72.3	72.2	72.2	72.1	72.0	71.9	71.8	71.7	71.6
161	71.5	71.4	71.3	71.3	71.2	71.1	71.0	70.9	70.8	70.7
162	70.6	70.6	70.5	70.4	70.3	70.2	70.1	70.0	70.0	69.9
163	69.8	69.7	69.6	69.5	69.4	69.4	69.3	69.2	69.1	69.0
164	68.9	68.8	68.8	68.7	68.6	68.5	68.4	68.3	68.3	68.2
165	68.1	68.0	67.9	67.9	67.8	67.7	67.6	67.5	67.4	67.4
166	67.3	67.2	67.1	67.0	67.0	66.9	66.8	66.7	66.6	66.6
167	66.5	66.4	66.3	66.2	66.2	66.1	66.0	65.9	65.8	65.8
168	65.7	65.6	65.5	65.5	65.4	65.3	65.2	65.1	65.1	65.0
169	64.9	64.8	64.8	64.7	64.6	64.5	64.5	64.4	64.3	64.2

Tabel 11. Angka kekerasan vickers

Diagonal ( $\mu\text{m}$ )	Load 1000 gf (1 kg f)									
	Vickers Hardness Number									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0
170	64.2	64.1	64.0	63.9	63.9	63.8	63.7	63.6	63.6	63
171	63.4	63.3	63.3	63.2	63.1	63.0	63.0	62.9	62.9	62
172	62.7	62.6	62.5	62.5	62.4	62.3	62.2	62.2	62.1	62
173	61.9	61.9	61.8	61.7	61.7	61.6	61.5	61.4	61.4	61
174	61.2	61.2	61.1	61.0	61.0	60.9	60.8	60.7	60.7	60
175	60.5	60.5	60.4	60.3	60.3	60.2	60.1	60.1	60.0	59
176	59.9	59.8	59.7	59.6	59.6	59.5	59.4	59.4	59.3	59
177	59.2	59.1	59.0	59.0	58.9	58.8	58.8	58.7	58.6	58
178	58.5	58.4	58.4	58.3	58.3	58.2	58.1	58.1	58.0	57
179	57.9	57.8	57.7	57.7	57.6	57.5	57.5	57.4	57.3	57
180	57.2	57.2	57.1	57.0	57.0	56.9	56.8	56.8	56.7	56
181	56.6	56.5	56.5	56.4	56.3	56.3	56.2	56.2	56.1	56
182	56.0	55.9	55.8	55.8	55.7	55.7	55.6	55.5	55.5	55
183	55.4	55.3	55.2	55.2	55.1	55.1	55.0	54.9	54.9	54
184	54.8	54.7	54.6	54.6	54.5	54.5	54.4	54.3	54.3	54
185	54.2	54.1	54.1	54.0	53.9	53.9	53.8	53.8	53.7	53
186	53.6	53.5	53.5	53.4	53.4	53.3	53.2	53.2	53.1	53
187	53.0	53.0	52.9	52.8	52.8	52.7	52.7	52.6	52.6	52
188	52.5	52.4	52.3	52.3	52.2	52.2	52.1	52.1	52.0	52
189	51.9	51.8	51.8	51.7	51.7	51.6	51.6	51.5	51.5	51
190	51.4	51.3	51.2	51.2	51.1	51.1	51.0	51.0	50.9	50
191	50.8	50.8	50.7	50.7	50.6	50.6	50.5	50.5	50.4	50
192	50.3	50.2	50.2	50.1	50.1	50.0	50.0	49.9	49.9	49
193	49.8	49.7	49.7	49.6	49.6	49.5	49.5	49.4	49.4	49
194	49.3	49.2	49.2	49.1	49.1	49.0	49.0	48.9	48.9	48
195	48.8	48.7	48.7	48.6	48.6	48.5	48.5	48.4	48.4	48
196	48.3	48.2	48.2	48.1	48.1	48.0	48.0	47.9	47.9	47
197	47.8	47.7	47.7	47.6	47.6	47.5	47.5	47.4	47.4	47
198	47.3	47.2	47.2	47.1	47.1	47.1	47.0	47.0	46.9	46
199	46.8	46.8	46.7	46.7	46.6	46.6	46.5	46.5	46.4	46
200	46.4	46.3	46.3	46.2	46.2	46.1	46.1	46.0	46.0	46
201	45.9	45.8	45.8	45.8	45.7	45.7	45.6	45.6	45.5	45
202	45.4	45.4	45.3	45.3	45.3	45.2	45.2	45.1	45.1	45
203	45.0	44.9	44.9	44.9	44.8	44.8	44.7	44.7	44.6	44
204	44.6	44.5	44.5	44.4	44.4	44.3	44.3	44.2	44.2	44
205	44.1	44.1	44.0	44.0	43.9	43.9	43.9	43.8	43.8	44
206	43.7	43.6	43.6	43.6	43.5	43.5	43.4	43.4	43.4	44
207	43.3	43.2	43.2	43.1	43.1	43.1	43.0	43.0	42.9	44
208	42.9	42.8	42.8	42.7	42.7	42.6	42.6	42.6	42.5	44
209	42.4	42.4	42.4	42.3	42.3	42.2	42.2	42.2	42.1	44
210	42.0	42.0	42.0	41.9	41.9	41.8	41.8	41.8	41.7	44
211	41.6	41.6	41.6	41.5	41.5	41.4	41.4	41.4	41.3	44
212	41.3	41.2	41.2	41.1	41.1	41.1	41.0	41.0	40.9	44
213	40.9	40.8	40.8	40.8	40.7	40.7	40.6	40.6	40.6	44
214	40.5	40.4	40.4	40.4	40.3	40.3	40.3	40.2	40.2	44

Tabel 12. Hasil pengujian komposisi bahan uji pelat A

COMPANY	: PT. ITOKOH CEPERINDO							
SAMPLE NAME	: BAJA PLAT A - STEFANUS - SANATADARMA							
FURNACE	: 111449A-02/S-1							
OPERATOR	: MARYADI							
Alloy	: SC	Mode	: PA	15-Sep-2004	Time 11:12			
Burn 1								
Fe	99.61	C	0.050	Si < 0.002	Mn	0.198	P	0.014
S	0.012	Ni	0.032	Cr	0.018	Mo < 0.004	Cu < 0.004	
Al	0.006	Nb	0.01	V < 0.00	W	0.03	Ti < 0.00	
Burn 2								
Fe	99.62	C	0.017	Si < 0.002	Mn	0.195	P	0.014
S	0.011	Ni	0.034	Cr	0.019	Mo < 0.004	Cu < 0.004	
Al	0.006	Nb	0.01	V < 0.00	W	0.03	Ti < 0.00	
Burn 3								
Fe	99.62	C	0.017	Si < 0.002	Mn	0.201	P	0.013
S	0.011	Ni	0.034	Cr	0.022	Mo < 0.004	Cu < 0.004	
Al	0.007	Nb	0.01	V < 0.00	W	0.03	Ti < 0.00	
Average								
Fe	99.62	C	0.048	Si < 0.002	Mn	0.198	P	0.014
S	0.011	Ni	0.033	Cr	0.019	Mo < 0.004	Cu < 0.004	
Al	0.007	Nb	0.01	V < 0.00	W	0.03	Ti < 0.00	

**PT. ITOKOH CEPERINDO**

Tabel 13. Hasil pengujian komposisi bahan uji pelat B

COMPANY	: PT. ITOKOH CUPERINDO			
SAMPLE NAME	: BAJA PLAT B - STEFANUS - SANATADARMA			
FURNACE	: 111449A-02/85			
OPERATOR	: MARYADI			
Alloy : SC	Mode : PA	15-Sep-2004	Time 11:19	
Burn 1				
Fe 99.12	C 0.180	Si < 0.002	Mn 0.592	P 0.018
S 0.012	Ni < 0.012	Cr 0.030	Mo < 0.004	Cu < 0.004
Al 0.007	Nb 0.01	V < 0.00	W 0.03	Ti < 0.00
Burn 2				
Fe 99.13	C 0.179	Si < 0.002	Mn 0.581	P 0.018
S 0.012	Ni < 0.012	Cr 0.029	Mo < 0.004	Cu < 0.004
Al 0.006	Nb 0.01	V < 0.00	W 0.04	Ti < 0.00
Burn 3				
Fe 99.16	C 0.157	Si < 0.002	Mn 0.576	P 0.018
S 0.012	Ni < 0.012	Cr 0.026	Mo < 0.004	Cu < 0.004
Al 0.006	Nb 0.01	V < 0.00	W 0.03	Ti < 0.00
Average				
Fe 99.13	C 0.172	Si < 0.002	Mn 0.583	P 0.018
S 0.012	Ni < 0.012	Cr 0.028	Mo < 0.004	Cu < 0.004
Al 0.006	Nb 0.01	V < 0.00	W 0.03	Ti < 0.00

**PT. ITOKOH CUPERINDO**



**INSPECTION CERTIFICATE**  
THAI COATED STEEL SHEET CO., LTD.

Head office : 28/1 Prapawit Building, 8th floor, Surasak Road,  
Siam, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand.  
Tel. 0-2630-0390  
Fax : 0-2630-0398, 0-2630-0399

Customer : CS. METAL  
Contractor : SUKIPONKO  
Reference No. : 128-025  
Commodity : Electrogalvanized Steel Sheet  
Specification : S355 B16/B16

Certificate No. : TC-T8122-0976  
Date : 15-06-2004  
Contract No. : 1130779  
D/O No. : BS40500172

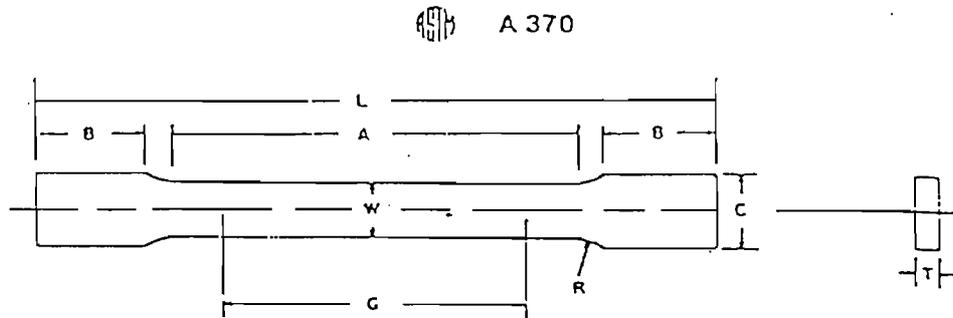
Coll. No.	Item No.	Size (mm)	Quantity (Coils)	Mass (Ton)	Chemical Composition (%)					Tensile Test				REMARKS	
					C	Mn	P	S	Si	Yield (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction of Area (%)		
0042726	01	0.800*1219*C	1	5.060	4.0	1.0	21	15	08		197	304	43.0	50.0	C3I
0042728	01	0.800*1219*C	2	19.000	4.0	1.0	21	15	08		199	326	42.0	50.0	C3I
		TOTAL	3	24.060											

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN TESTED AND INSPECTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE SPECIFICATION  
TCS BANGSAPHAN WORKS : No. 2 Moo 7, Tambol Mae Rumphung Amphur Bang Saphan,  
Prachuab Kliri Khan Province 77140, THAILAND.

*M. Sakagawa*  
Department Manager Quality Assurance  
F-OC-015-a

**Tabel 16. Kriteria chauvenet untuk menolak suatu bacaan**

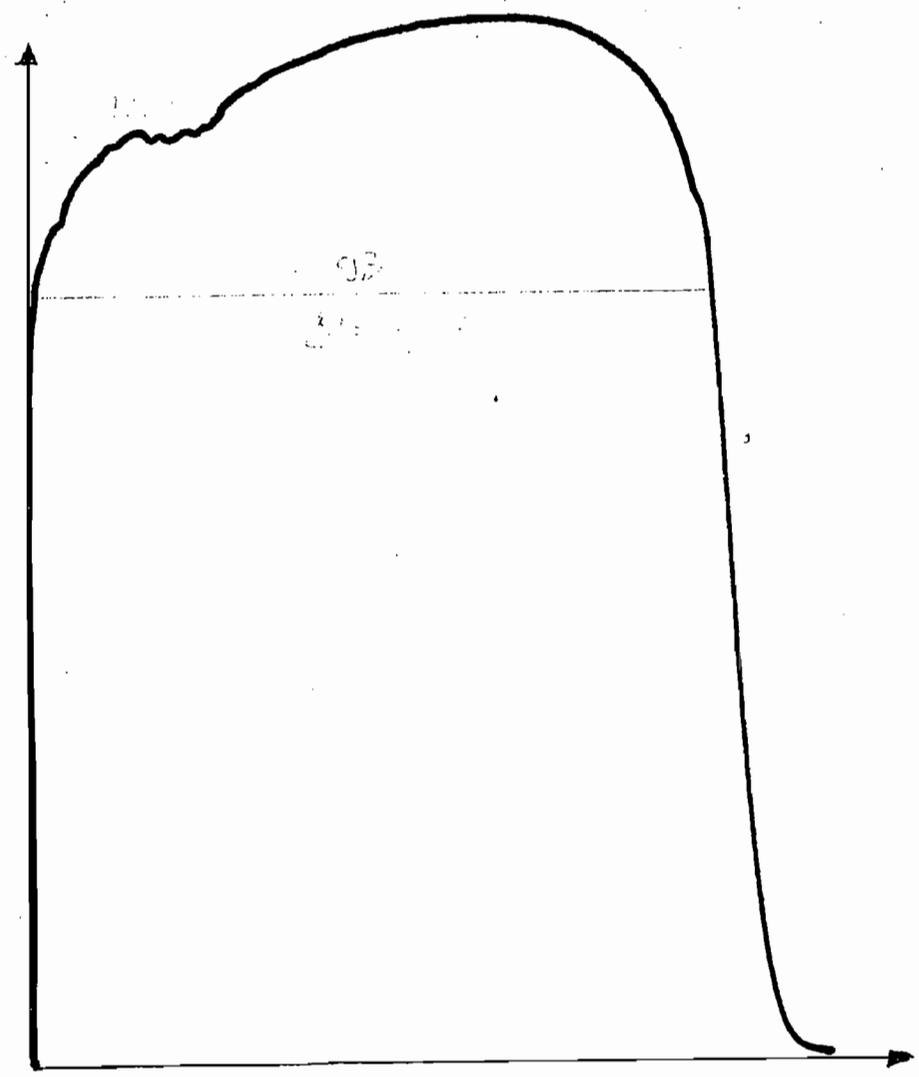
Standar spesimen ASTM (A 370)



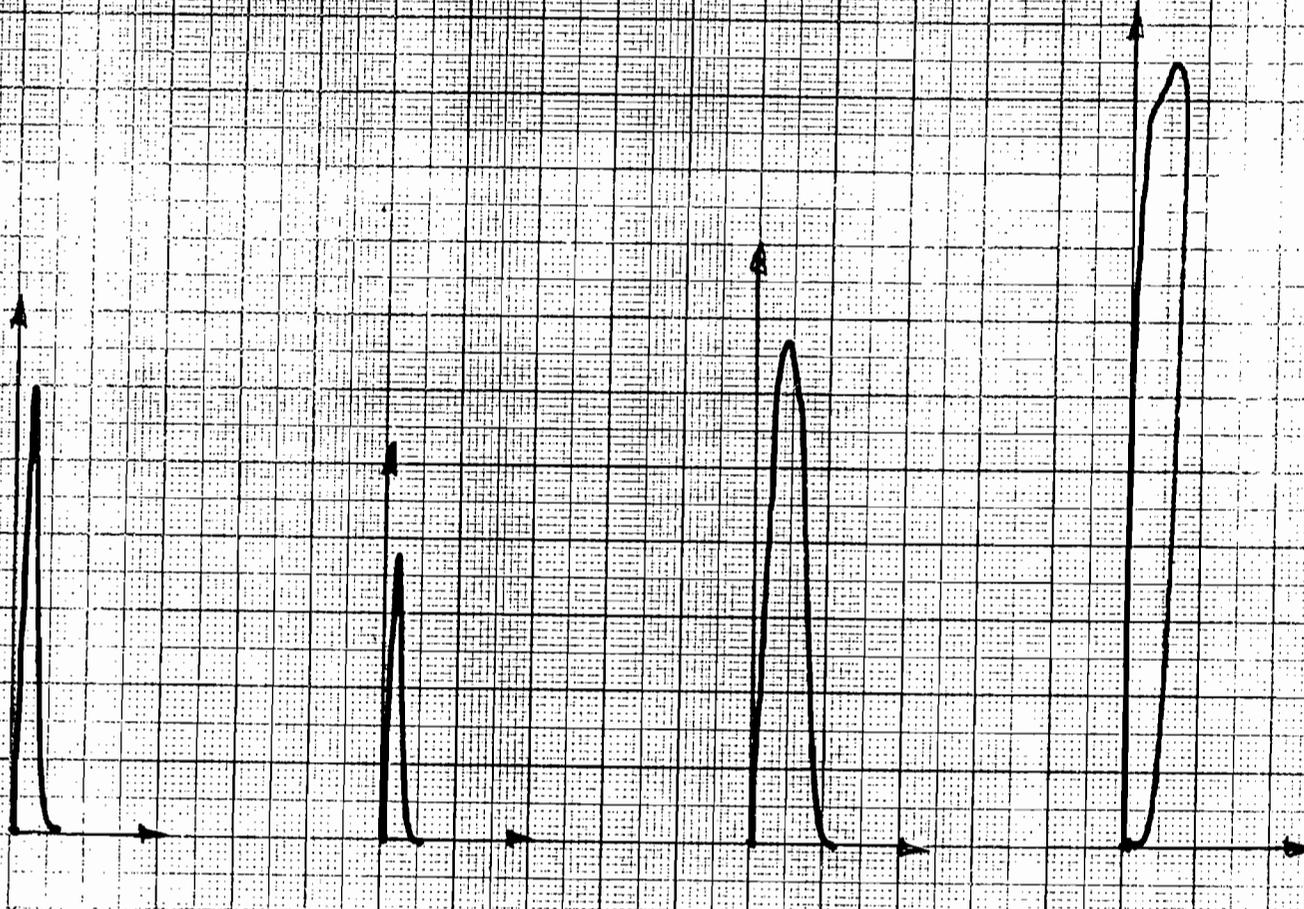
DIMENSIONS

	Standard Specimens				Subsize Specimen	
	Plate-Type, 1½-in. Wide		Sheet-Type, ½-in. Wide		¼-in. Wide	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm
$G$ —Gage length (Notes 1 and 2)	8.00 ± 0.01	200 ± 0.25	2.000 ± 0.005	50.0 ± 0.10	1.000 ± 0.003	25.0 ± 0.08
$W$ —Width (Notes 3, 4, and 5)	1½ + ¼ - ¼	40 + 3 - 6	0.500 ± 0.010	12.5 ± 0.25	0.250 ± 0.002	6.25 ± 0.05
$T$ —Thickness (Note 6)			thickness of material			
$R$ —Radius of fillet, min	½	13	½	13	¼	6
$L$ —Over-all length, min (Notes 2 and 7)	18	450	8	200	4	100
$A$ —Length of reduced section, min	9	225	2¼	60	1½	32
$B$ —Length of grip section, min (Note 8)	3	75	2	50	1¼	32
$C$ —Width of grip section, approximate (Notes 4, 9, and 10)	2	50	¾	20	¾	10

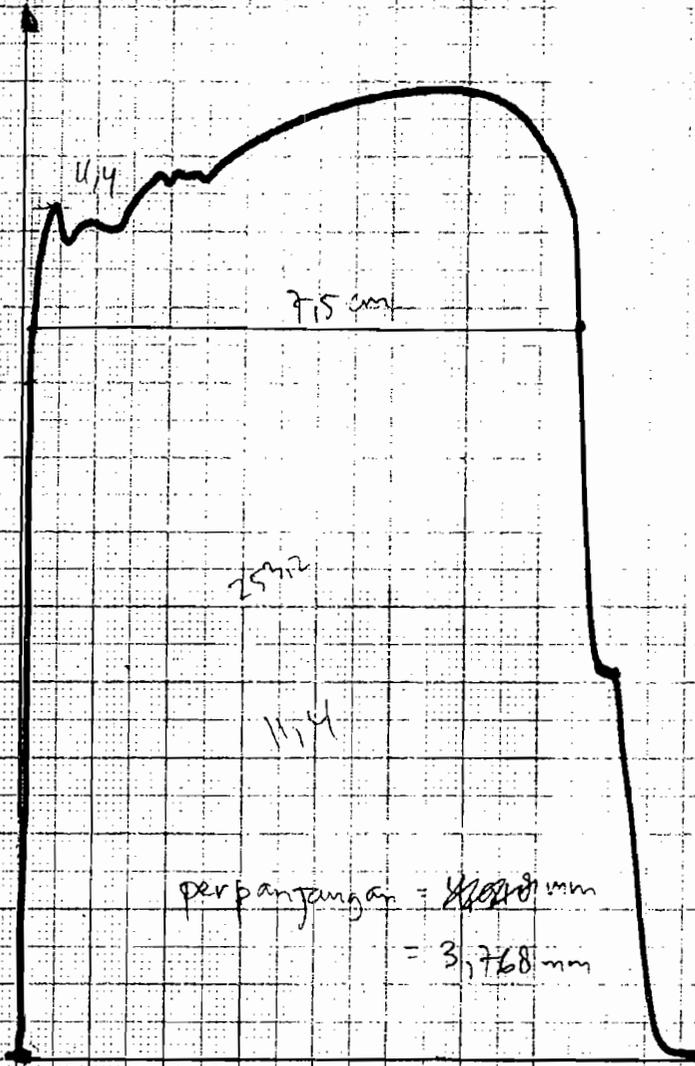
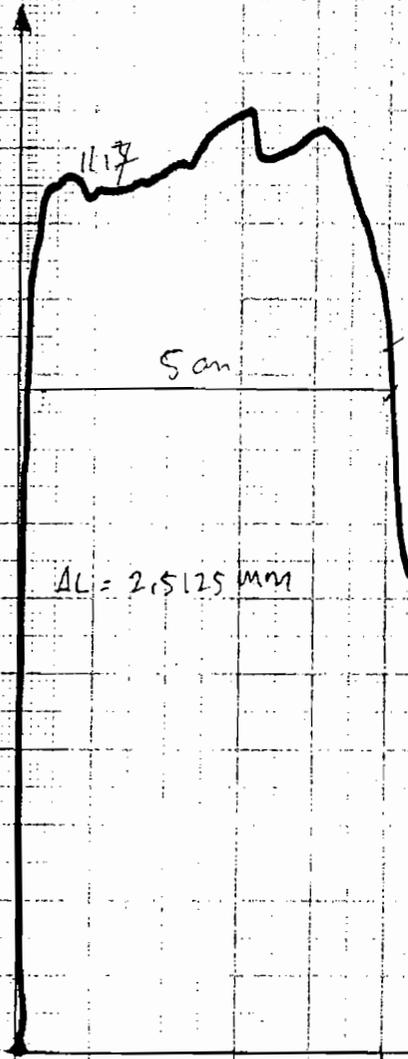
Mercy Mill 1



Das Titik Mecca

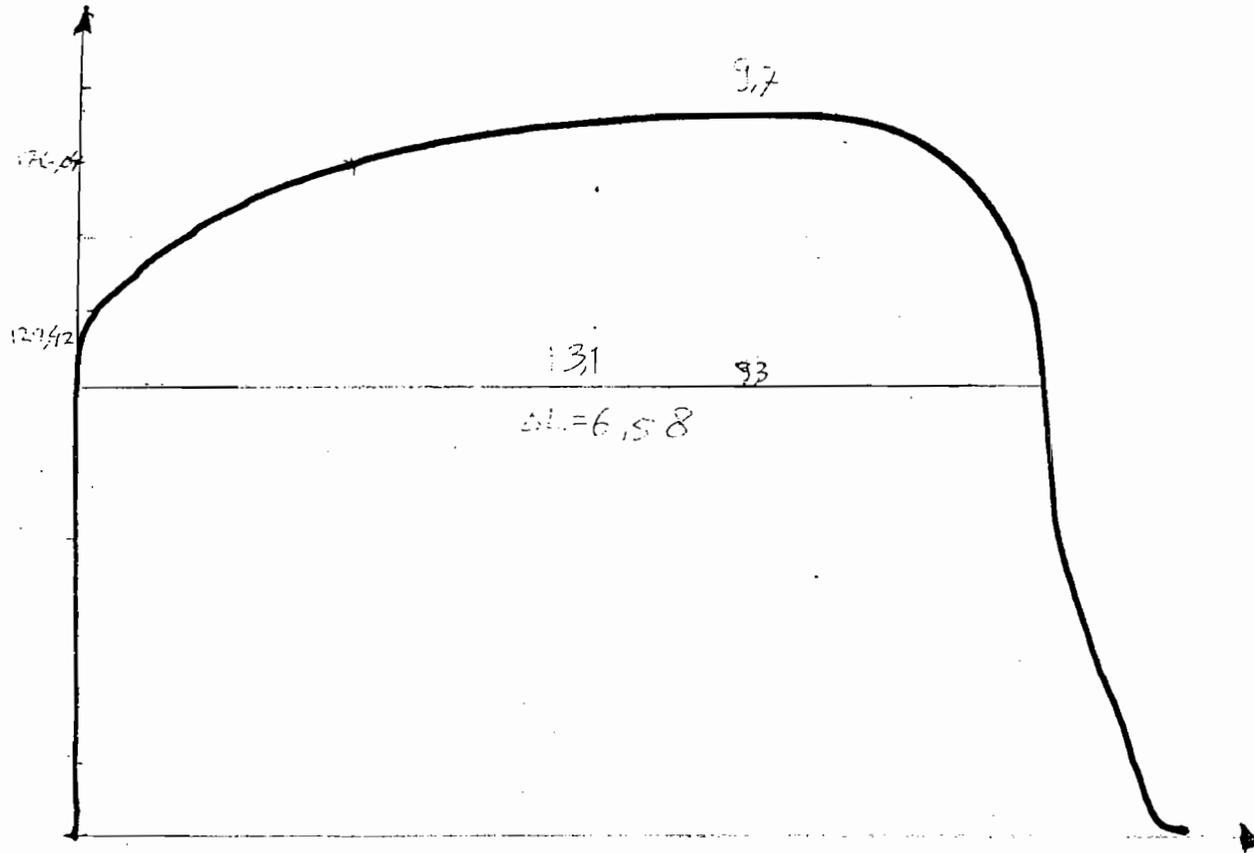


Otogen Mersy 4.5

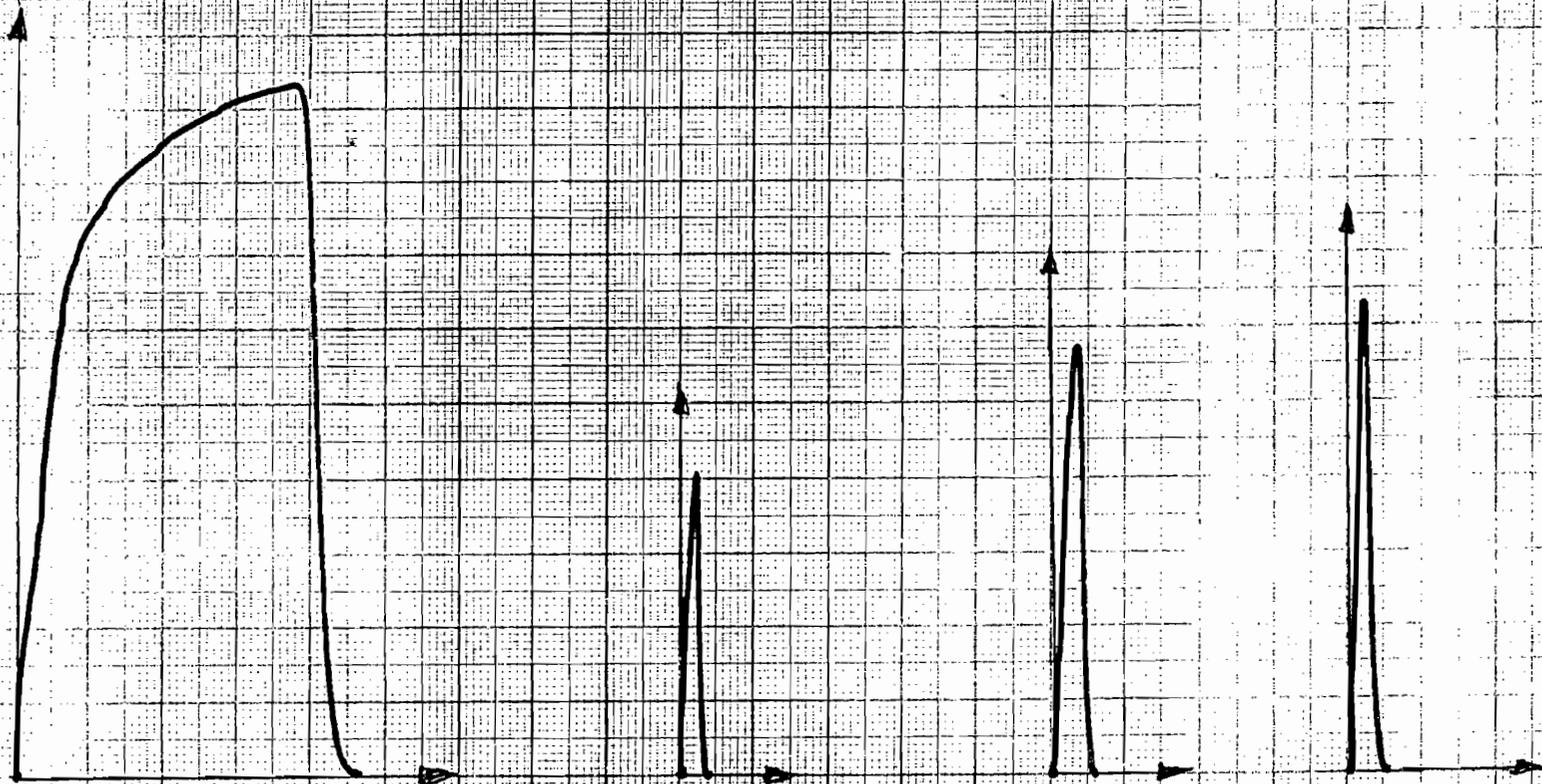


$1 \text{ cm} = 0,50 \text{ mm}$

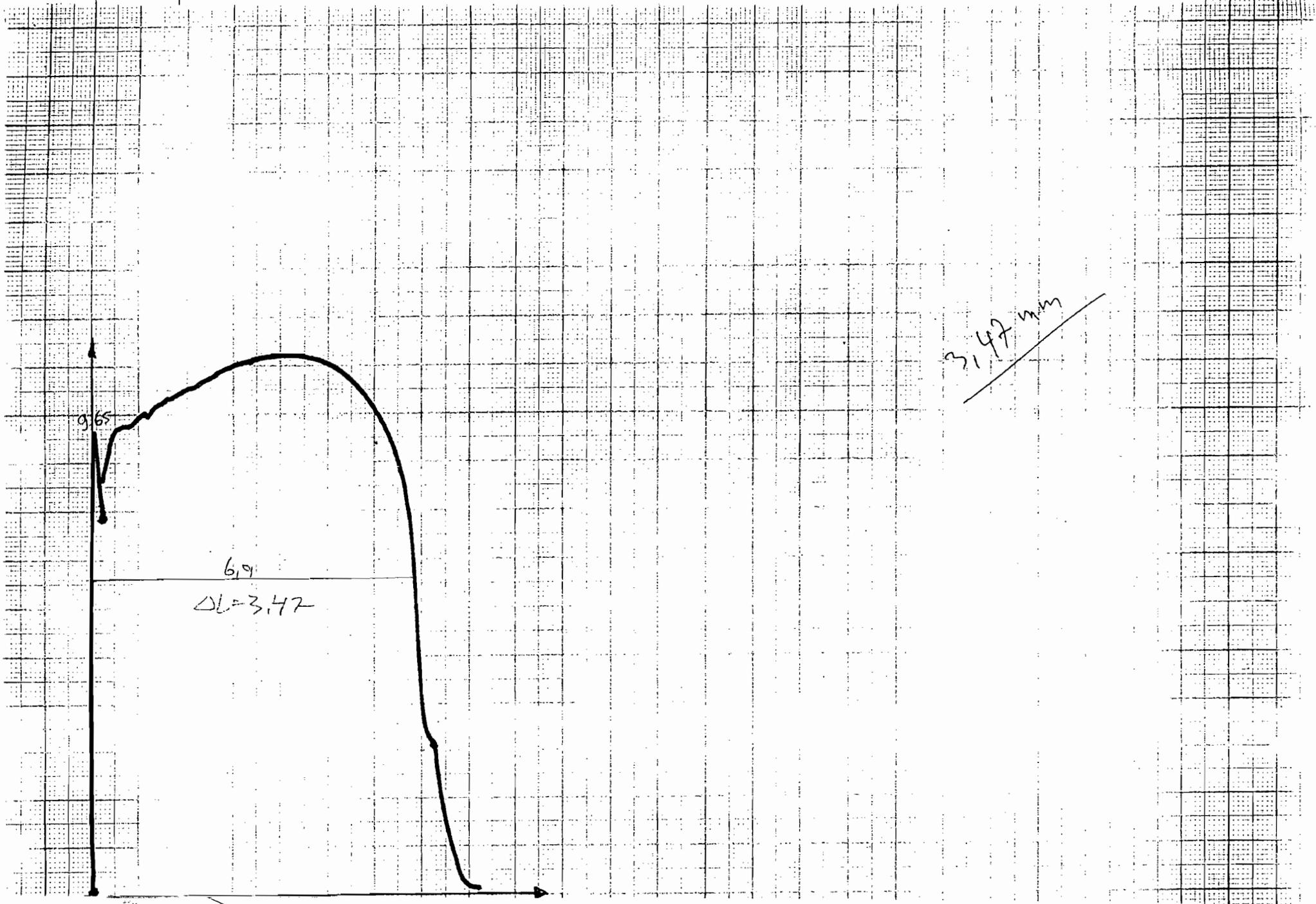
vagnatsu Mula<sup>60</sup>



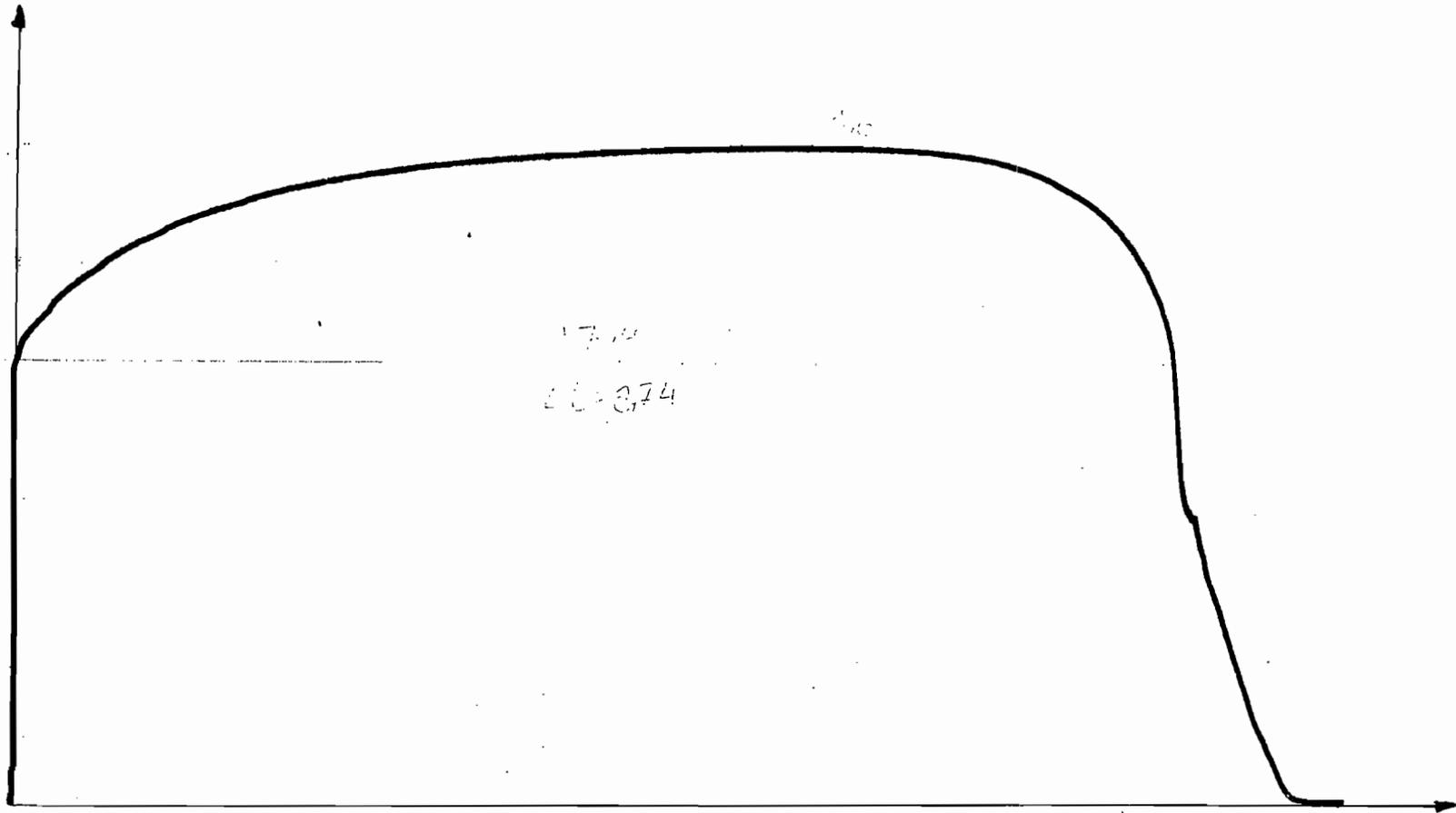
Latifika Daghatsu



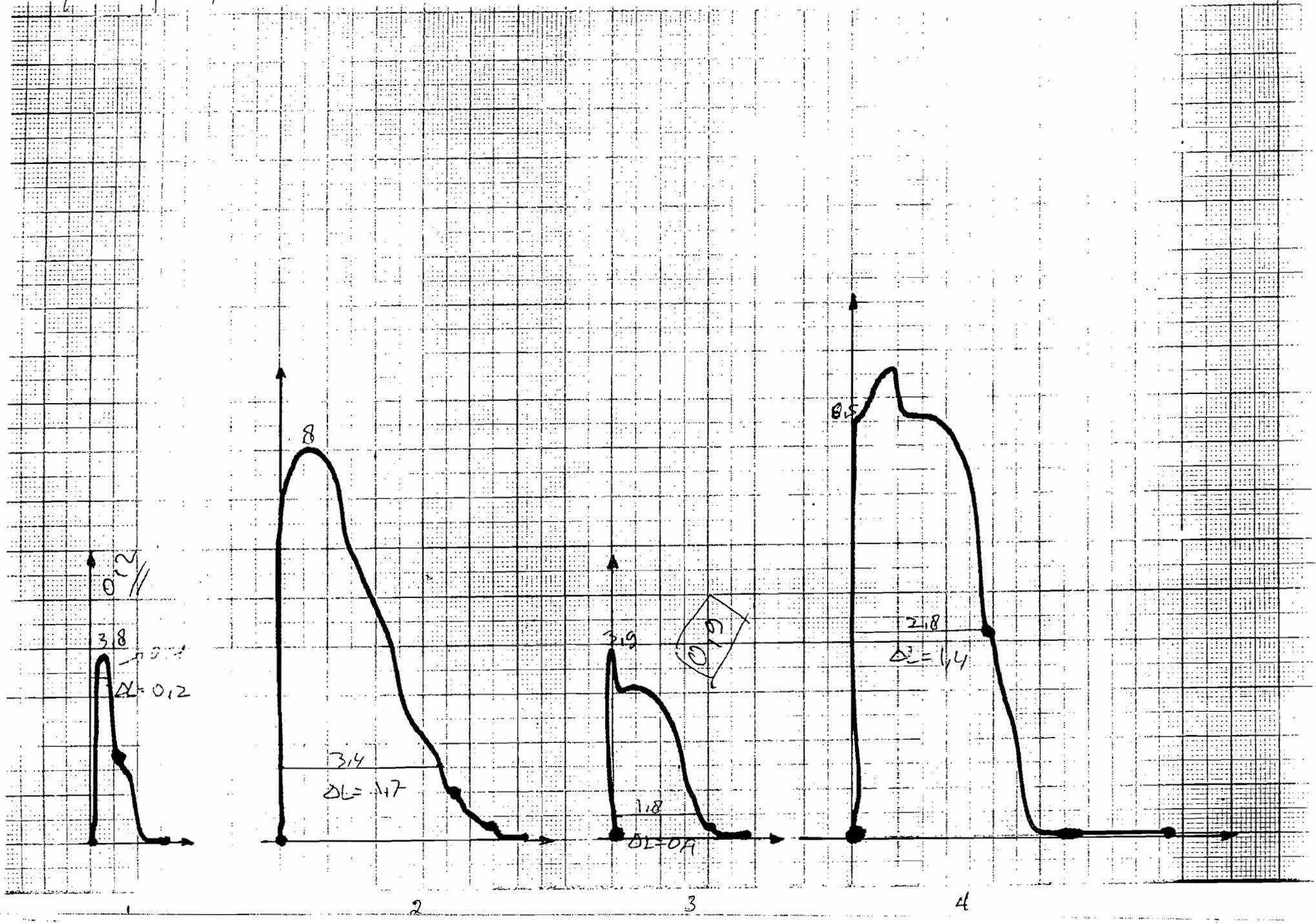
Отношение диаметров 4

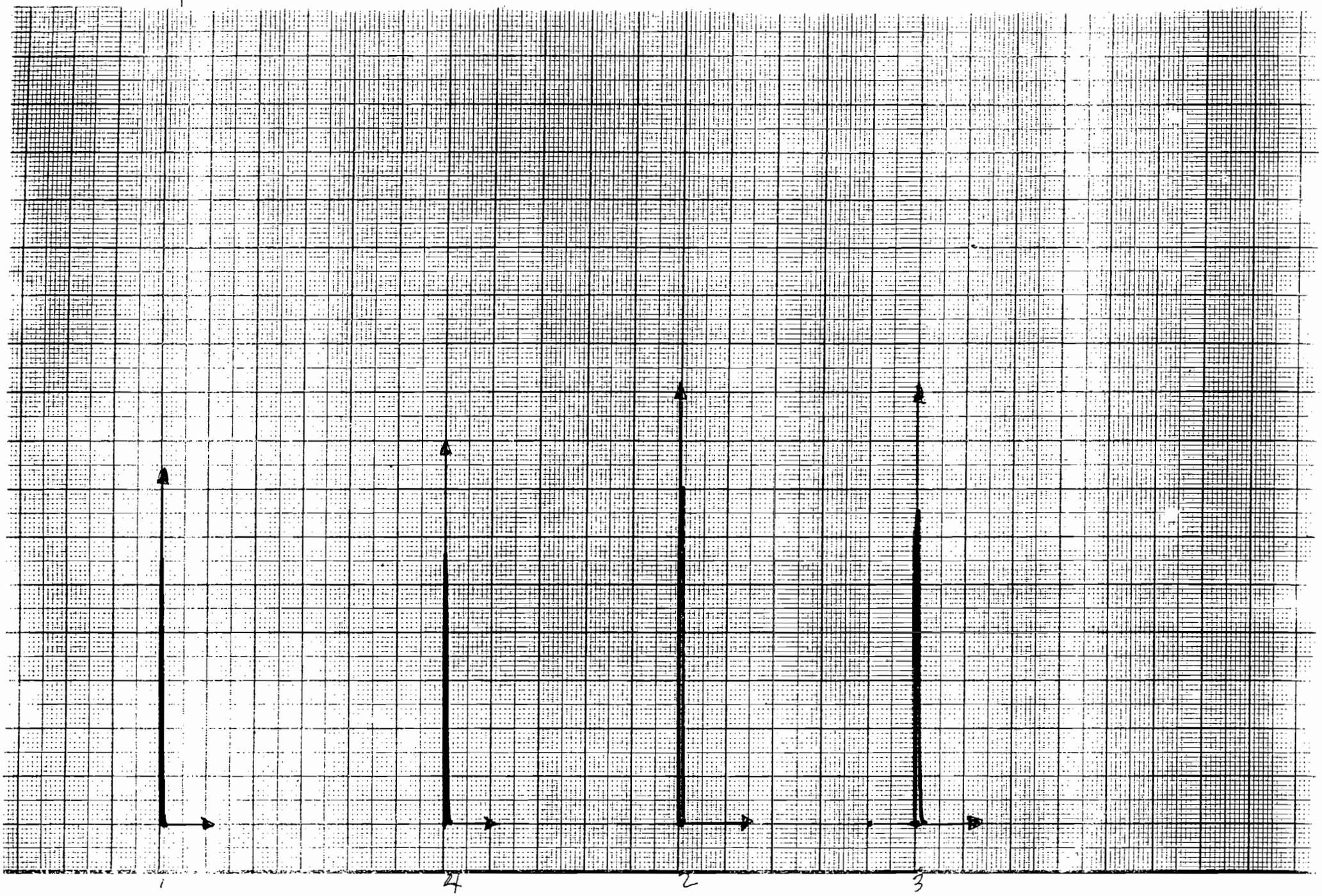


гидроау 111111



сигнал сигнала







**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA**  
Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman - Yogyakarta  
Telp. (0274) 883037, 883968, 886530; Fax. (0274) 886529; Email : [teknik@staff.usd.ac.id](mailto:teknik@staff.usd.ac.id)

**UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI**  
**TANGGAL : 26 Juli 2006**

NAMA Mhs. : Prio Cahyo Setyo Nugroho  
NIM : 985214078  
JUDUL :  
*Sifat fisis dan mekanis pengelasan pelat baja untuk bodi mobil kendaraan dengan tebal 0,8 mm*

Pembimbing Utama : Budi Setyahandana, S.T., M.T.  
Pembimbing Kedua :

**USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI**

1. 1 lembar untuk mahasiswa
2. 1 lembar untuk dosen pembimbing

aman

kesimpulan terlalu panjang, sebagian isi dari kesimpulan dimasukkan ke pembahasan.

tabel kosong sh

simbol L. diganti simbol lain<sup>w</sup> supaya tidak membingungkan.  
tabel 4.4 dan seterusnya.  
Satuan F pada tabel 4.4. salah sh.  
Pengambilan data Fmaks dari grafik salah sh

Dec. 31-7-06.

