



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH POSISI PENGELASAN DAN KETEBALAN  
PELAT TERHADAP BESARNYA TEGANGAN SISA DAN  
DISTORSI PADA BAJA JIS S 3101 SS400 DENGAN METODE  
GMAW**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**AZRIL NAZHAR  
0405040147**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JULI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Azril Nazahar**

**NPM : 0405040147**

**Tanda Tangan : .....**

**Tanggal : 13 Juli 2009**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Azril Nazahar  
NPM : 0405040147  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh posisi pengelasan dan ketebalan pelat terhadap besarnya tegangan sisa dan distorsi pada baja JIS 3101-SS400 dengan metode GMAW

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Winarto, M.Sc ( )

Penguji 1 : Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA. ( )

Penguji 2 : Deni Ferdian, ST. M.Sc ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 13 Juli 2009

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

**Dr.Ir. Winarto, M.Sc**

Selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.





**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini, :

Nama : Azril Nazahar  
NPM : 0405040147  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengaruh Posisi Pengelasan dan Ketebalan Pelat Terhadap Besarnya  
Tegangan Sisa dan Distorsi Pada Baja JIS S 3101 SS400 dengan Metode  
GMAW**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 13 Juli 2009  
Yang menyatakan

(.....)



## ABSTRAK

Nama : Azril Nazahar  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh posisi pengelasan dan ketebalan terhadap besarnya tegangan sisa dan distorsi pada baja JIS 3101 SS400 dengan metode GMAW

Telah dilakukan penelitian terhadap besarnya distorsi *angular* (sudut) terhadap posisi pengelasan dan ketebalan pelat serta pengukuran tegangan sisa dengan menggunakan difraksi sinar neutron. Posisi pengelasan yaitu posisi tegak (3G) dan posisi datar (1G) menurut AWS dilakukan dengan parameter ketebalan pelat 10 mm, 16 mm dan 20 mm. Posisi tegak diperoleh nilai distorsi *angular* yang paling besar dibandingkan dengan posisi datar setiap bertambahnya ketebalan. Berturut-turut nilai perubahan sudut distorsi *angular* untuk ketebalan 10, 16, 20 mm pada posisi tegak yaitu  $1,56^{\circ}$ ,  $3,52^{\circ}$  dan  $4,02^{\circ}$  sedangkan pada posisi datar yaitu  $0,87^{\circ}$ ,  $2,99^{\circ}$  dan  $3,64^{\circ}$ . Pengukuran tegangan sisa dilakukan pada pelat 16 mm dengan arah longitudinal, transversal dan normal. Diperoleh nilai tegangan sisa terbesar pada arah longitudinal posisi tegak (3G) yaitu 101,61 MPa. Tegangan sisa berupa tegangan tarik terlihat pada daerah kampuh las dan HAZ kasar dengan rentang -10 mm sampai 10 mm.

Kata kunci : distorsi angular, tebal pelat, tegangan sisa.

## ABSTRACT

Name : Azril Nazahar  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
Title : Effect of welding position and plate thickness concerning in welding angular distortion and residual stress on JIS 3101 SS400 steel with GMAW method.

Research about welding angular distortion concerning on plate thickness and welding position has been conducted. This research come along with residual stress measurement on 16 mm of plate thickness by using neutron scattered diffraction. The welding position are vertical position (3G) and flat position (1G) according to AWS code which done with 10 mm, 16 mm and 20 mm of plate thickness. Vertical position obtained that angular distortion was happened in rather than flat position which every increasing of plate thickness. As follow as the value of angular distortion for 10, 16 and 20 mm of thickness on vertical position is  $0,87^{\circ}$ ,  $2,99^{\circ}$  and  $3,64^{\circ}$  whereas flat position is  $1,56^{\circ}$ ;  $3,52^{\circ}$  and  $4,02^{\circ}$ . The measurement for residual stress on 16 mm of thickness with longitudinal, transversal and normal direction. The result obtained that the largest residual stress on vertical position in longitudinal direction is 101.61 MPa. Residual stress which tensile stress is close to weldpool area and coarse HAZ with range -10 mm to 10 mm.

Keyword : angular distortion, plate thickness, residual stress

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
<b>1. PENDAHULUAN 1</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Metodologi Penelitian	3
1.5. Batasan Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
<b>2. LANDASAN TEORI</b>	<b>6</b>
2.1. Residual stress	6
2.2. Jenis-jenis distorsi	8
2.2.1. Penyusutan <i>Transverse</i>	8
2.2.2. Penyusutan <i>Longitudinal</i>	8
2.2.3. Distorsi <i>Angular</i>	9
2.3. Mekanisme Distorsi	9
2.3.1. Distorsi <i>Angular</i>	10
2.4. Pengaruh Ketebalan Pelat Terhadap Distorsi	12
2.5. Pengaruh Posisi Pengelasan Terhadap Distorsi	14
2.6. Pengukuran Distorsi	15

2.7. Pengukuran Tegangan Sisa	15
2.7.1. Difraksi Sinar Neutron	16
2.7.1.1. Prinsip Metode Difraksi Sinar Neutron	16
2.7.1.2. Produksi Sinar Neutron	16
2.7.1.3. Metode Difraksi Sinar Neutron untuk mengukur Tegangan Sisa	17
2.8. Proses GMAW	18
2.8.1. Prinsip kerja GMAW	18
2.8.2. Gas Pelindung	19
2.8.3. Model Transfer Logam	20
2.8.3.1. Globular Transfer	21
2.8.3.2. Spray Transfer	21
2.8.3.3. Short-Circuiting Transfer	22
2.9. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Distorsi	22
2.9.1. Sifat Fisik Dan Jenis dari Logam Dasar	22
2.9.1.1. Koefisien Muai Termal	22
2.9.1.2. Koefisien Konduktivitas Termal	22
2.9.1.3. Kekuatan Luluh	22
2.9.2. Jumlah Penyangga	22
2.9.3. Bentuk Sambungan	22
2.9.4. Parameter Pengisian Lapisan Las	23
2.9.5. Parameter Pengelasan	23
2.9.5.1. Masukan Panas	23
2.9.6. Keseimbangan Pengelasan	24
2.9.7. Temperatur Pemanasan Awal	25
2.10. Baja Struktural	
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>28</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian	28
3.2. Persiapan Alat dan Bahan	29
3.2.1. Bahan	29
3.2.2. Alat	29

3.3. Parameter Pengelasan	30
3.4. Uji Visual	31
3.5. Pengukuran simpangan distorsi angular, kuat arus las dan tegangan las serta waktu pengelasan	31
3.6. Pengujian-Pengujian	32
3.6.1. Pengamatan struktur makro dan mikro	32
3.6.2. Pengujian Kekerasan di daerah logam las, HAZ dan logam dasar	32
3.6.3. Pengujian Tegangan Sisa	33
<b>4. Hasil dan Pembahasan</b>	<b>36</b>
4.1. Hasil Penelitian	36
4.1.1. Komposisi Material	36
4.1.2. Hasil Pengelasan Dan Pengukuran Distorsi	37
<b>5. PEMBAHASAN</b>	<b>61</b>
5.1. Analisis Nilai Distorsi Terhadap Posisi Pengelasan	61
5.2. Analisis Nilai Distorsi Terhadap Ketebalan Pelat	63
5.3. Analisis Uji Kekerasan dan Mikrostruktur	66
5.4. Analisis Hasil Pengukuran Tegangan Sisa	70
<b>6. PENUTUP</b>	<b>80</b>
6.1. Kesimpulan	81
6.2. Saran	81
<b>REFERENSI</b>	<b>82</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	<i>Structural steel</i>	26
<b>Table 2.2</b>	Kompisisi kimia	27
<b>Table 2.3</b>	Sifat mekanik struktural <i>steel</i>	27
<b>Tabel 3.1</b>	Komposisi Kimia Logam Induk	29
<b>Tabel 3.2</b>	Komposisi Kimia Kawat Las GMAW	30
<b>Tabel 3.3</b>	Sifat mekanik Kawat Las GMAW	30
<b>Tabel 4.1</b>	Pengelasan GMAW Posisi Datar ( 1G )	37
<b>Tabel 4.2</b>	Pengelasan GMAW Posisi tegak ( 3G )	37
<b>Tabel 4.3</b>	Tabel nilai kekerasan untuk tiap daerah sampel, posisi datar (1G)	38
<b>Tabel 4.4</b>	Tabel nilai kekerasan untuk tiap daerah sampel, posisi tegak (3G)	38
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil pengukuran tegangan sisa pada pelat 16 mm posisi datar (1G) sisi atas	39
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil pengukuran tegangan sisa pada pelat 16 mm posisi datar (1G) sisi bawah	40
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil pengukuran tegangan sisa pada pelat 16 mm posisi tegak (3G) sisi atas	40
<b>Tabel 4.8</b>	Hasil pengukuran tegangan sisa pada pelat 16 mm posisi tegak (3G) sisi bawah	41



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Perubahan temperatur dan tegangan selama pengelasan	8
<b>Gambar 2.2</b>	Jenis-jenis distorsi	9
<b>Gambar 2.3</b>	Mekanisme distorsi	10
<b>Gambar 2.4</b>	Distorsi angular akibat perbedaan tegangan	11
<b>Gambar 2.5</b>	Distorsi angular	12
<b>Gambar 2.6</b>	Pengaruh tebal terhadap perubahan sudut	13
<b>Gambar 2.7</b>	Transverse shrinkage selama pengelasan dan pendinginan dengan pendinginan pada beberapa ketebalan dan panjang pada sambungan butt	14
<b>Gambar 2.8</b>	Pengukuran distorsi sudut	15
<b>Gambar 2.9</b>	Skematik difraksi neutron	16
<b>Gambar 2.10</b>	Pemantulan pada kisi logam	17
<b>Gambar 2.11</b>	GMAW aluminium 5083 dengan gas Argon sebagai gas pelindung (75% He–25% Ar)	18
<b>Gambar 2.12</b>	Gas–metal arc welding: (a) proses keseluruhan (b) area pengelasan	19
<b>Gambar 2.13</b>	(a) <i>Globular Transfer</i> ; (b). <i>Spray Transfer</i>	20
<b>Gambar 2.14</b>	Perbandingan sifat fisik dan mekanik material	22
<b>Gambar 2.15</b>	Pengaruh temperatur dengan struktur metalurgi selama pengelasan	24
<b>Gambar 2.16</b>	Daerah las pada sumbu netral	25
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian	28
<b>Gambar 3.2</b>	Ukuran material yang dilakukan pengelasan	29
<b>Gambar 3.3</b>	Posisi datar dan tegak	31
<b>Gambar 3.4</b>	Pengukuran Distorsi	33
<b>Gambar 3.5</b>	Lokasi pengambilan foto mikrostruktur dan uji kekerasan	33

<b>Gambar 3.6</b>	Penampang indenter uji mikrohardness	34
<b>Gambar 3.7</b>	Arah pengukuran tegangan tiga sumbu	35
<b>Gambar 4.1</b>	Gambar makrostruktur logam las dan daerah haz pelat 10 mm posisi G1 (datar), (perbesaran 7 x)	42
<b>Gambar 4.2</b>	Gambar mikrostruktur kampuh las pelat 10 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 %	42
<b>Gambar 4.3</b>	Gambar mikrostruktur daerah HAZ kasar las pelat 10 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (gambar atas) HAZ kasar sisi kiri dan (gambar bawah) HAZ kasar sisi kanan	43
<b>Gambar 4.4</b>	Gambar mikrostruktur daerah HAZ halus las pelat 10 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (gambar atas) HAZ halus sisi kiri dan (gambar bawah) HAZ halus sisi kanan	43
<b>Gambar 4.5</b>	Gambar makrostruktur logam las dan daerah haz pelat 16 mm posisi G1 (datar), (perbesaran 7 x)	44
<b>Gambar 4.6</b>	Gambar mikrostruktur kampuh pelat 16 mm posisi 1G (datar), (perbesaran 200 x) etsa nital 5 %	44
<b>Gambar 4.7</b>	Gambar mikrostruktur daerah HAZ kasar las pelat 16 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (gambar kiri) HAZ kasar sisi kiri dan (gambar kanan) HAZ kasar sisi kanan	45
<b>Gambar 4.8</b>	Gambar mikrostruktur daerah HAZ halus las pelat 16 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (gambar atas) HAZ halus sisi kiri dan (gambar bawah) HAZ halus sisi kanan	45
<b>Gambar 4.9</b>	Gambar makrostruktur logam las dan daerah haz pelat 20 mm posisi 1G (datar), (perbesaran 7 x)	46

<b>Gambar 4.10</b>	Gambar mikrostruktur kampuh pelat 20 mm posisi 1G (datar), (perbesaran 200 x) etsa nital 5 %	47
<b>Gambar 4.11</b>	Gambar mikrostruktur daerah HAZ kasar (atas) dan HAZ halus (bawah) pelat 20 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 %	48
<b>Gambar 4.12</b>	Gambar makrostruktur logam las dan daerah haz pelat 10 mm posisi 3G (datar), (perbesaran 7 x)	49
<b>Gambar 4.13</b>	Gambar mikrostruktur kampuh pelat 10 mm posisi 3G (datar), (perbesaran 200 x) etsa natal 5 %	50
<b>Gambar 4.14</b>	Gambar mikrostruktur daerah HAZ kasar (kiri) dan HAZ halus (kiri) pelat 10 mm posisi datar 3G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (gambar kiri) HAZ kasar sisi kiri dan (gambar kanan) HAZ kasar sisi kanan	51
<b>Gambar 4.15</b>	Gambar makrostruktur logam las dan daerah haz pelat 16mm posisi 3G (datar), (perbesaran 7 x)	52
<b>Gambar 4.16</b>	Gambar mikrostruktur kampuh pelat 16 mm posisi 3G (datar), (perbesaran 200 x) etsa nital 5 %	53
<b>Gambar 4.17</b>	Gambar mikrostruktur daerah HAZ kasar las pelat 16 mm posisi tegak 3G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (gambar atas) HAZ kasar sisi kiri dan (gambar bawah) HAZ kasar sisi kanan	54
<b>Gambar 4.18</b>	Gambar mikrostruktur daerah HAZ halus las pelat 16 mm posisi tegak 3G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (gambar atas) HAZ halus sisi kiri dan (gambar bawah) HAZ halus sisi kanan	55
<b>Gambar 4.19</b>	Gambar makrostruktur logam las dan daerah HAZ pelat 20 mm posisi 3G (datar), (perbesaran 7 x)	56

<b>Gambar 4.20</b>	Gambar mikrostruktur kampuh las pelat 20mm posisi 3G (datar), (perbesaran 200 x) etsa nital 5 %	57
<b>Gambar 4.21</b>	Gambar mikrostruktur daerah HAZ kasar kiri dan HAZ halus kanan pelat 20 mm posisi datar 3G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (gambar atas) HAZ kasar sisi kiri dan (gambar bawah) HAZ kasar sisi kanan	58
<b>Gambar 4.22</b>	Gambar mikrostruktur logam dasar (base metal) baja karbon rendah (astm a 36), perbesaran 500 x etsa nital 5 % (gambar kiri)	59
<b>Gambar 4.23</b>	Gambar mikrostruktur logam dasar (base metal) baja karbon rendah (astm a 36), perbesaran 200 x etsa nital 5 % (gambar kiri)	60
<b>Gambar 5.1</b>	Hubungan antara posisi pengelasan terhadap simpangn distorsi	61
<b>Gambar 5.2</b>	Hubungan antara tebal plat Vs distorsi posisi pengelasan 1G ( Datar )	63
<b>Gambar 5.3</b>	Hubungan antara tebal plat Vs distorsi posisi pengelasan 3G ( Tegak )	64
<b>Gambar 5.4</b>	Nilai kekerasan pada daerah-daerah lasan untuk masing-masing ketebalan dengan posisi las tegak dan datar	68
<b>Gambar 5.5</b>	Tegangan sisa arah longitudinal pelat 16 mm, kiri posisi pengelasan datar (1G), kanan posisi pengelasan tegak (3G)	73
<b>Gambar 5.6</b>	Tegangan sisa arah transversal pelat 16 mm, kiri posisi pengelasan datar (1G), kanan posisi pengelasan tegak (3G)	74
<b>Gambar 5.7</b>	Tegangan sisa arah normal pelat 16 mm, kiri posisi pengelasan datar (1G), kanan posisi pengelasan tegak (3G)	77
<b>Gambar 5.8</b>	Nilai kekerasan pada sampel pelat 16 mm sisi atas (A) dan	79

bawah (B) posisi datar

**Gambar 5.9** Nilai kekerasan pada sampel pelat 16 mm sisi atas (A) dan bawah 79

(B) posisi tegak



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Perhitungan panjang gelombang	83
<b>Lampiran 2.</b> Pengukuran arus las, tegangan dan distorsi	84
<b>Lampiran 3</b> Perhitunag 2 teta	88
<b>Lampiran 4.</b> Hasil perhitungan tegangan sisa	101
<b>Lampiran 5.</b> <i>Trendline</i> grafik	107
<b>Lampiran 6.</b> <i>Mill certificate</i> logam induk	113
<b>Lampiran 7.</b> <i>Mill certificate</i> Material kawat las	114
<b>Lampiran 8.</b> Brosur kawat las	115
<b>Lampiran 9.</b> WPS GMAW 1G	116
<b>Lampiran 10.</b> WPS GMAW 3G	117



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teknologi memegang peran penting dalam kehidupan manusia. Teknologi-teknologi tersebut merupakan sistem terintegrasi dalam menjalankan tugasnya. Pendukung sistem pembentuk teknologi adalah perencanaan hingga distribusi produk teknologi. Salah satu peran penting dalam pengembangan teknologi adalah desain prosedur operasional yang tepat. Begitu juga kesesuaian antara pemilihan material dan proses yang digunakan untuk menghasilkan produk teknologi tersebut.

Teknologi pengelasan merupakan salah satu teknologi yang sangat berperan penting dalam kehidupan manusia. Dimulai dari pemilihan material, prosedur pengelasan yang tepat serta perlakuan setelah pengelasan merupakan beberapa hal yang dipertimbangkan dalam menghasilkan produk pengelasan yang memuaskan. Dibutuhkan pengalaman serta inspeksi atau pengamatan yang baik untuk menghasilkan produk las-lasan yang bagus. Untuk itu dilakukan berbagai macam penelitian dalam mengembangkan teknologi pengelasan ini.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa inovasi serta modifikasi proses dalam teknologi pengelasan tersebut. Penggunaan inovasi tersebut telah menghantarkan keberhasilan dalam mengatasi proses yang rumit dan membutuhkan waktu yang lama serta inefisien proses.

Pada proses pengelasan selalu mengalami cacat atau ketidaksempurnaan. Untuk meminimalisir ketidaksempurnaan tersebut maka dibuatlah *welding procedure standart* (WPS) atau prosedur standar dalam pengelasan.

Salah satu material yang umum digunakan dalam aplikasi pengelasan adalah baja untuk konstruksi bangunan (*Structural steel*). *Structural steel* ini sering digunakan dalam aplikasi struktur bangunan, jembatan, dll. Dalam proses pengelasan *structural steel* tersebut sering mengalami ketidaksempurnaan. Hal yang sering ditemukan adalah adanya distorsi dan tegangan sisa (*residual stress*) yang bersifat permanen. Dengan meningkatnya permintaan terhadap hasil las-lasan yang baik maka kontrol maupun prosedur yang dipilih harus tepat pula.

Distorsi merupakan hasil dari pengelasan akibat adanya *expansion* (pemuai) dan *contraction* (kontraksi) pada logam las dan berdekatan dengan logam dasar (*base metal*) selama terjadi pemanasan dan pendinginan dalam proses pengelasan. Proses terjadinya distorsi tersebut tidak dapat diprediksi, karena selama terjadinya pemanasan dan pendinginan tersebut banyak faktor yang menyebabkan *shrinkage* (penyusutan) pada logam sehingga mengawali terjadinya distorsi seperti sifat fisik dan mekanik<sup>[1]</sup>.

Distorsi yang terjadi pada *structural steel* umumnya adalah *angular distortion* (distorsi sudut). *Angular distortion* merupakan salah satu jenis distorsi yang sering terjadi pada material bentuk pelat dengan membentuk sudut pada material pelat setelah mengalami proses pengelasan.

Tegangan sisa atau *residual stress* merupakan hal penting yang diperhatikan dalam proses pengelasan. Tegangan sisa adalah tegangan yang terjadi dan merupakan hasil dari proses pengelasan, terjadi akibat adanya gaya tarik dan tekan akibat adanya panas di daerah sekitar kampuh las yang tersebar secara tidak merata.

Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan penelitian terhadap terjadinya tegangan sisa, distorsi serta beberapa parameter proses yang berpengaruh terhadap hal tersebut.

## 1.2 Perumusan Masalah

Penelitian dilakukan dengan menggunakan material baja karbon rendah untuk aplikasi structural dengan jenis material JIS 3101 SS400. Proses pengelasan yang digunakan adalah proses *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Pengamatan yang dilakukan adalah melihat besarnya distorsi *angular* dengan berdasarkan ketebalan pelat yang berbeda, posisi pengelasan dan besarnya masukan panas saat pengelasan serta membandingkan tegangan sisa yang hadir pada logam dasar, HAZ dan kampuh las.



### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh hubungan antara posisi pengelasan dengan besarnya distorsi yang terjadi pada metode pengelasan GMAW.
2. Mengetahui pengaruh hubungan antara ketebalan dengan besarnya distorsi *angular* pada metode pengelasan GMAW serta tegangan sisa pada daerah logam dasar, HAZ dan kampuh las.

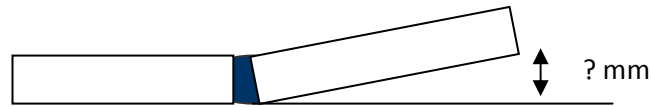
### 1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan adalah studi kepustakaan tentang *residual stress* dan distorsi pada *structural steel*. Melakukan observasi dan pengamatan langsung proses pengelasan yang menggunakan metode *gas metal arc welding* (GMAW). Kemudian melakukan pengujian-pengujian. Data yang diperoleh merupakan data primer dari hasil pengujian di laboratorium. Kemudian dilakukan perbandingan dengan literatur yang digunakan.

### 1.5 Batasan Penelitian

- 1) Proses pengelasan menggunakan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW).
- 2) Posisi pengelasan yaitu
  - ❖ Datar (*Flat*) dalam kode AWS dinyatakan dengan kode 1G
  - ❖ Tegak (*Vertical*) dalam kode AWS dinyatakan dengan kode 3G
- 3) Parameter las yang digunakan adalah
  - ❖ Kuat Arus : ( 180 ÷ 220 ) A
  - ❖ Tegangan : ( 22 ÷ 30 ) Volt
- 4) Gas pelindung yang digunakan adalah gas  $\text{CO}_2 > 90\%$  dengan kecepatan alir : 18 – 22 liter / menit ( LPM)

- 5) Distorsi diukur dengan mengukur perubahan besar simpangan yang terjadi pada ujung benda uji, dari *root pass* hingga *capping* dan kemudian dijumlah nilai simpangan yang diukur.



- 6) Pemeriksaan - pemeriksaan yang dilakukan :

- Pengamatan ( *visual* )
- Uji distribusi kekerasan Logam induk, HAZ dan Logam las
- Pengamatan makrostruktur dan mikrostrukture daerah las ( termasuk HAZ )
- Pengukuran tegangan sisa ( *residual stress* ) dengan metode difraksi neutron

## 1.6 Sistematika Penelitian

Penelitian pengelasan ini akan ditulis dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

### *Bab I                   Pendahuluan*

Bab ini terdiri atas latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian yang dilakukan.

### *Bab II                   Dasar Teori*

Pada bab ini dijelaskan mengenai literatur yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan serta aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam melakukan penelitian.

### *Bab III                 Metodologi Penelitian*

Bab ini memberikan penjelasan mengenai hal-hal yang dilakukan selama penelitian dilakukan, menyangkut pengumpulan data dan informasi, preparasi sampel, hingga pengujian-pengujian yang dilakukan.

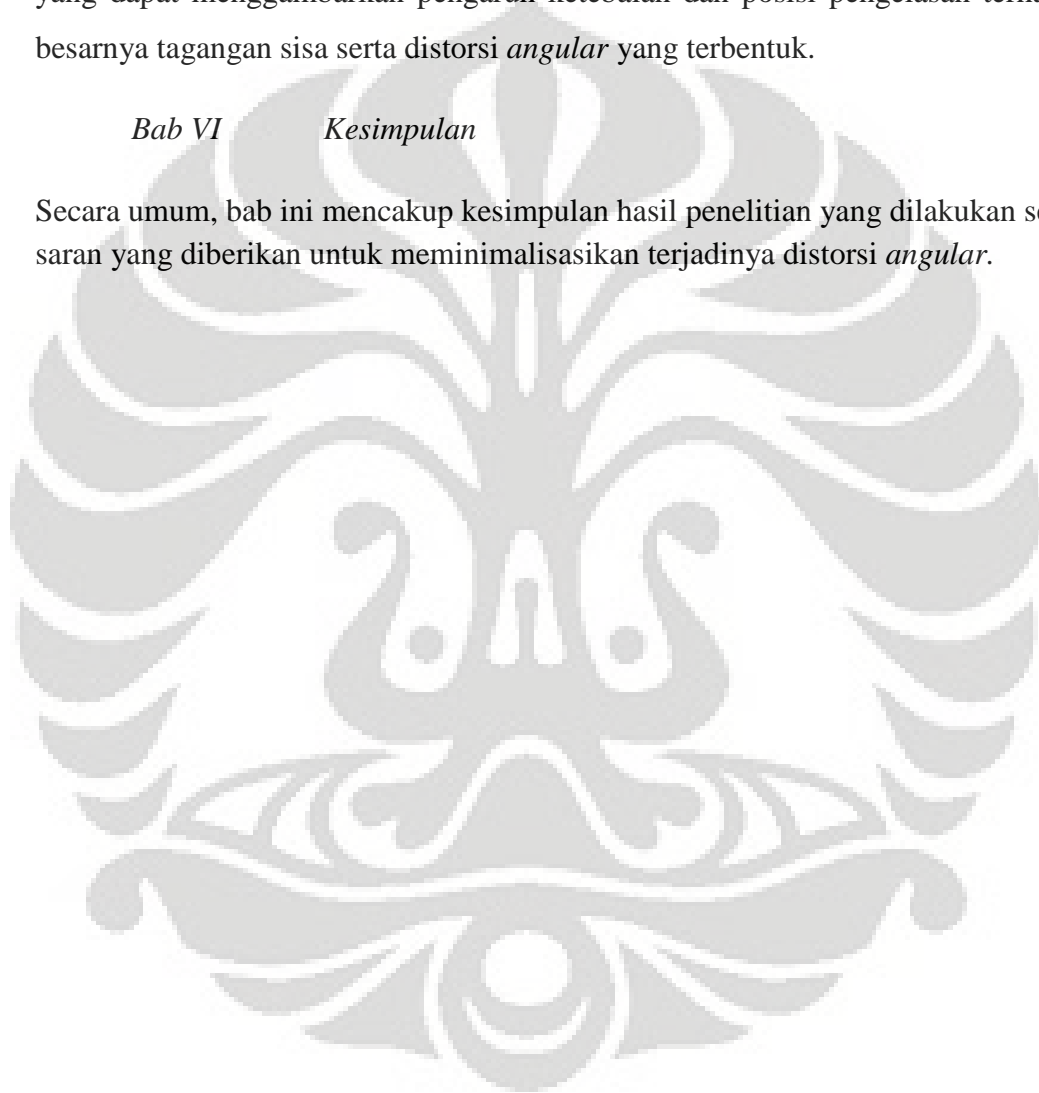
#### *Bab IV Data Penelitian dan Pembahasan*

Data penelitian adalah keseluruhan hasil yang diperoleh berdasarkan pengujian-pengujian yang dilakukan.

Bab pembahasan terdiri atas seluruh hasil data percobaan yang didapatkan untuk kemudian dibandingkan dengan literatur sehingga didapatkan suatu analisa yang dapat menggambarkan pengaruh ketebalan dan posisi pengelasan terhadap besarnya tagangan sisa serta distorsi *angular* yang terbentuk.

#### *Bab VI Kesimpulan*

Secara umum, bab ini mencakup kesimpulan hasil penelitian yang dilakukan serta saran yang diberikan untuk meminimalisasikan terjadinya distorsi *angular*.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 *Residual Stress* dan Distorsi

*Residual stress* (tegangan sisa) adalah tegangan yang hadir pada material setelah beban kepada material tersebut yang diberikan di lepas. *Residual stress* atau tegangan sisa pada pengelasan adalah tegangan sisa internal setelah pengelasan saat pendinginan ke temperatur ruang. *Residual stress* terjadi pada daerah lasan dan sebagai hasil deformasi plastik lokal. *Residual stress* yang terjadi ketika sebuah logam dikenai perubahan temperatur yang tidak seragam disebut juga tegangan termal. Tegangan sisa yang hadir pada benda kerja bergantung pada penyebaran dan besarnya tegangan termal<sup>[1]</sup>.

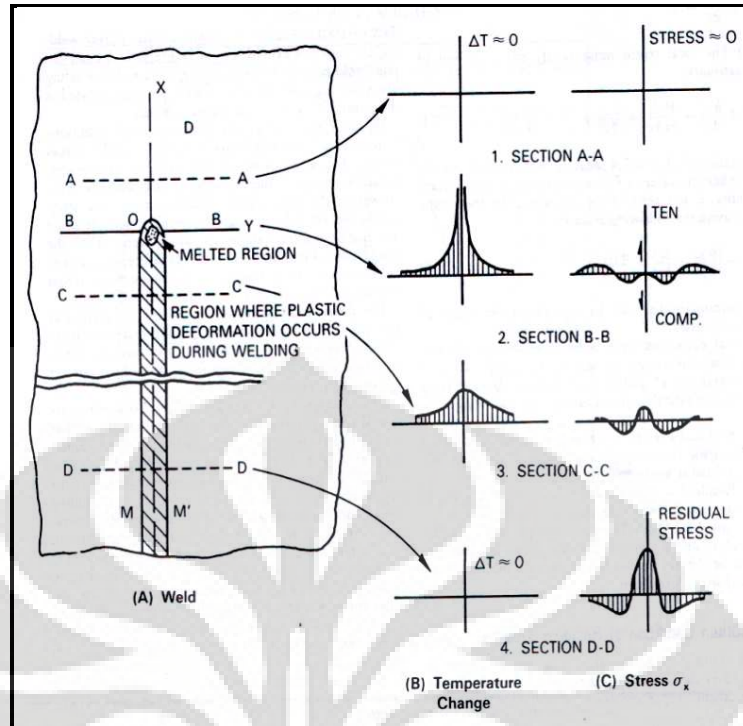
Dalam pengelasan, pemanasan lokal menghasilkan distribusi temperatur yang tidak seragam, sehingga terjadi perubahan struktur metalurgi dan tegangan termal pada daerah lasan tersebut. Ketika kampuh lasan mulai mendingin dan menyusut, maka mulai terjadi tegangan mendesak di sekitar logam lasan dan *heat affected zone*. Kemudian terjadi pembekuan, logam las pada kondisi panas, relatif lemah (agak cair) sehingga dapat mendesak dengan sedikit tegangan. Saat pendinginan mencapai temperatur ruang, tegangan disekitar daerah lasan meningkat dan pada akhirnya dapat mencapai *yield point* dari logam dasar dan *heat affected zone*<sup>[2]</sup>.

Distorsi merupakan salah satu akibat dari *residual stress*. Distorsi merupakan perubahan bentuk akibat adanya tegangan dalam logam las yaitu tegangan memanjang dan tegangan melintang. Dalam hal ini distorsi atau deformasi ini disebabkan oleh ekspansi (mengembang) yang tidak *uniform* dari logam las selama periode pemanasan dan pendinginan. Bila pendinginan ini dibiarkan membeku secara bebas maka volume dari logam cair tersebut akan mengalami penyusutan secara bebas. Bentuk tegangan sisa yang seragam arah penyebarannya menyebabkan terjadinya penyusutan *transverse* dan penyusutan

*longitudinal*. Sedangkan untuk arah penyebaran tegangan sisa yang tidak merata akan menghasilkan distorsi sudut (distorsi *angular*)<sup>[2]</sup>.

Saat proses pengelasan, daerah pengelasan mengalami pemanasan lokal dimana distribusi temperaturnya tidak merata dan berubah searah daerah pergerakan pengelasan. Selama proses pengelasan akan timbul regangan yang kompleks pada deposit las daerah *heat affected zone* (HAZ) akibat regangan termal.

Pada Gambar 2.1 dijelaskan tegangan termal dan hasil tegangan sisa akibat pengelasan. Gambar A adalah arah pengelasan yang dimulai dari titik O dan dibagi kedalam beberapa daerah distribusi. Pada gambar B menunjukkan perubahan temperatur saat siklus termal, daerah A-A yang terletak di depan busur las, perubahan temperatur antara material dan temperatur ruang mendekati nol. Pada daerah B-B yang terdapat tepat dipermulaan busur listrik, mengalami perubahan temperatur yang sangat tinggi dan distribusi yang tidak merata. Sedangkan pada daerah C-C terletak agak jauh dibelakang busur listrik perubahan temperatur sedikit menurun dan pada daerah D-D selisih perubahan temperatur yang hampir mendekati nol karena logam las mencapai temperatur ruang. Pada gambar C menunjukkan distribusi tegangan termal. Pada daerah A-A tegangan termal mendekati nol. Sedangkan pada daerah B-B ditribusi menunjukkan jumlah tegangan yang sedikit meningkat karena adanya tegangan di daerah HAZ pada kedua sisi kampuh las berupa gaya tekan (*compressive*) karena pemuaiian dari logam las. Pada daerah C-C logam las dan HAZ telah dingin sehingga mulai menyusut dan tegangan tarik mulai mempengaruhi daerah deposit lasan sedangkan tegangan yang jauh dari deposit las berupa tegangan tekan. Sedangkan pada daerah D-D dihasilkan tegangan tarik yang besar dekat dengan deposit las dan tegangan tekan dihasilkan pada daerah yang jauh dari deposit las. Daerah ini merupakan tegangan sisa yang terjadi setelah pengelasan dilakukan<sup>[2]</sup>.



Gambar 2.1 Perubahan temperatur dan tegangan sisa selama pengelasan<sup>[2]</sup>

## 2.2 Jenis-jenis distorsi

Secara umum distorsi terbagi atas :

### 2.2.1 Penyusutan *Transverse*

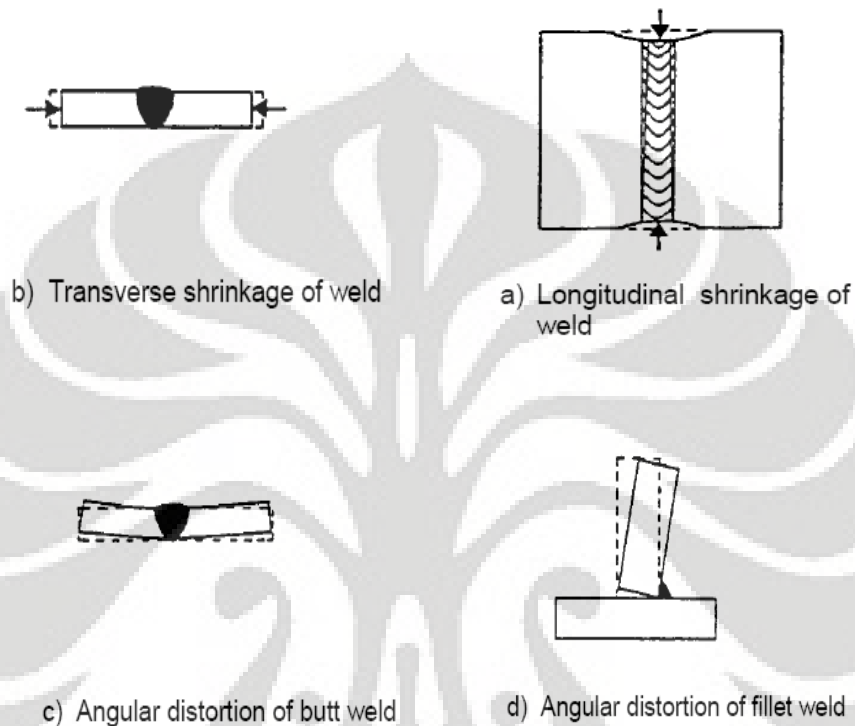
Hal ini disebabkan oleh penyusutan saat pendinginan. Penyusutan terjadi tegak lurus dengan arah pengelasan. Pada penyusutan *transverse*, logam lasan mencoba untuk menarik pelat lasan ke arah garis tengah sambungan lasan. Besarnya *transverse shrinkage* yang terjadi merupakan fungsi dari total logam las dan ketebalan pelat. Secara keseluruhan pengurangan lebar transversal ke sambungan lasan secara langsung berhubungan dengan luas area pengelasan<sup>[1]</sup>.

### 2.2.2 Penyusutan Longitudinal

Penyusutan terjadi searah dengan arah pengelasan. Guyot<sup>[1]</sup> menemukan bahwa *longitudinal shrinkage* merupakan fungsi utama dari total *cross area* sambungan las yang digunakan. Dapat dikendalikan dengan cara menggunakan pelat yang tebal dan lebar.

### 2.2.3 Distorsi Angular

Distorsi *angular* (sudut) merupakan perubahan bentuk dengan arah rotasi (melingkar) diakibatkan karena ketidakseragaman temperatur dan penyusutan *transverse* pada arah ketebalan<sup>[1]</sup>.

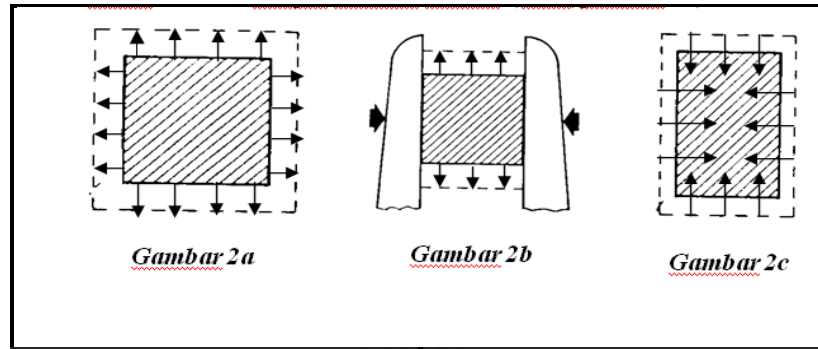


Gambar 2.2 Jenis-jenis distorsi<sup>[3]</sup>

### 2.3 Mekanisme distorsi

Bila sebuah logam dipanasi secara seragam (*uniform*) maka akan terjadi ekspansi (pengembangan) ke segala arah dan setelah terjadi pendinginan maka akan terjadi kontraksi secara *uniform* hingga mencapai dimensi semula, seperti terlihat pada Gambar 2.3 ( 2a).





Gambar 2.3 Mekanisme distorsi

Bila suatu batang mendapat tahanan selama dipanaskan maka ekspansi ke arah lateral tidak akan terjadi namun volume ekspansi harus terjadi sehingga batang akan mengalami ekspansi ke arah vertikal, terlihat pada Gambar 2.3 (2b).

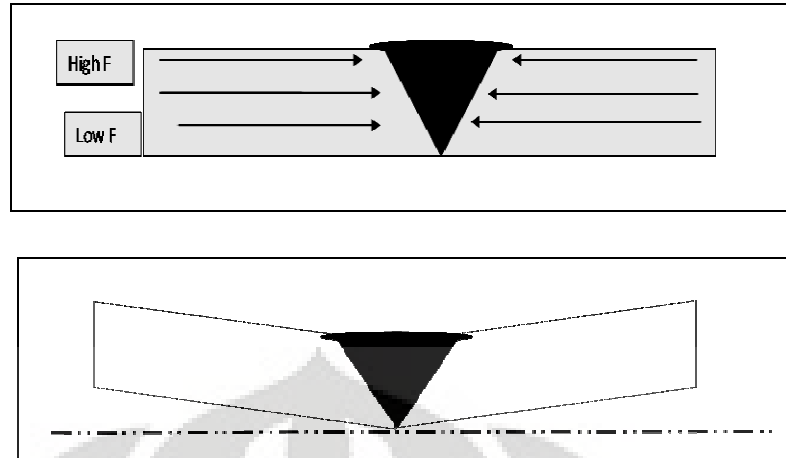
Bila batang tersebut kembali ke temperatur kamar maka kontraksi tetap terjadi ke segala arah secara merata sehingga batang sekarang menjadi berubah bentuk dari bentuk semula, terlihat pada Gambar 2.3 (2c).

### 2.3.1 Distorsi *Angular*

Perbedaan temperatur yang sangat besar di daerah busur las dengan daerah sekitar logam induk menimbulkan distribusi temperatur yang tidak *uniform*. Semakin besar masukan panas pengelasan yang diterima akan mengakibatkan semakin besar regangan termal yang tidak seragam terjadi di daerah sambungan las dan sekitarnya.

Distorsi *angular* pada tipe penyambungan *V* biasanya terjadi ketika logam dilakukan pengelasan hanya diproses dari bagian atas saja atau *single V*. Hasil lasan cenderung lebih lebar pada bagian permukaan dibandingkan bagian bawah, sehingga lebih banyak terjadi penyusutan saat pembekuan dan kontraksi termal pada bagian atas hasil lasan dibandingkan bagian bawah. Gaya atau tegangan tarik ke arah logam las bagian atas lebih besar dari pada gaya yang bekerja bagian bawah. Sebagai akibatnya, resultan distorsi sudut semakin besar. Ilustrasinya terlihat pada Gambar 2.4.



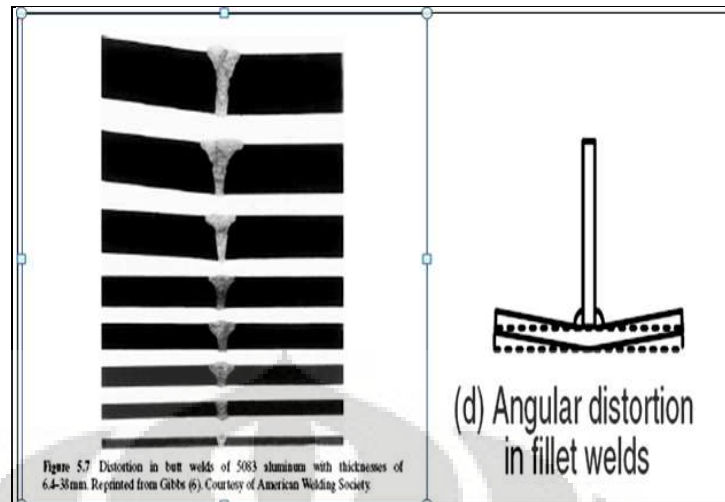


Gambar 2.4 Distorsi *angular* akibat perbedaan tegangan

Tegangan yang dihasilkan bergantung pada penyebaran temperatur saat pengelasan, kontraksi termal, dan regangan *non-elastic*.

Pada pengelasan elektron beam dengan bentuk lasan seperti lubang kunci, penetrasi lasan lebih sempit pada bagian atas dan bawah, sehingga lebih sedikit terjadi distorsi *angular*. Pada pengelasan *fillet* antara pelat datar dan pelat vertikal terjadi penyusutan pada bagian atas, hal ini akan mendorong pelat datar ke arah vertikal dan menyebabkan terjadinya distorsi *angular* pada pelat datar<sup>[5]</sup>.

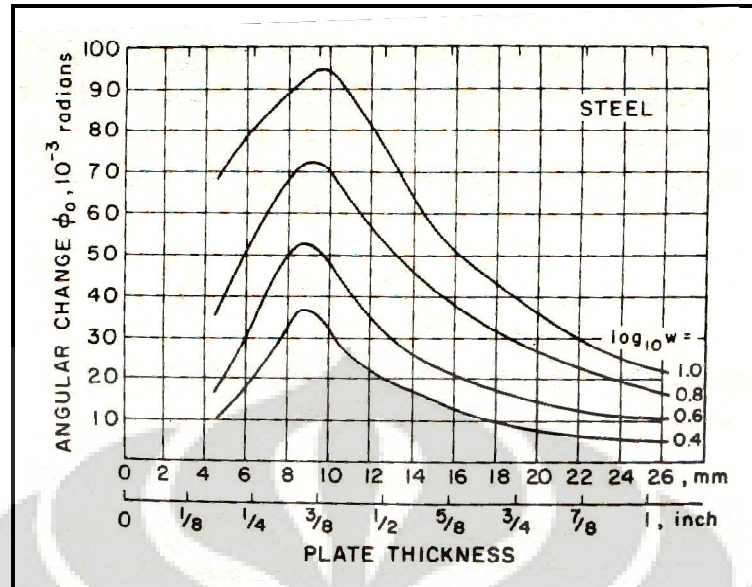
Terlihat Gambar 2.5 distorsi *angular* pada 5083 Aluminium butt weld, menunjukkan peningkatan distorsi sudut dengan ketebalan benda kerja karena peningkatan jumlah masukan logam las, sehingga terjadi peningkatan penyusutan saat pembekuan dan kontraksi thermal<sup>[5]</sup>.



Gambar 2.5 Distorsi *angular* [6]

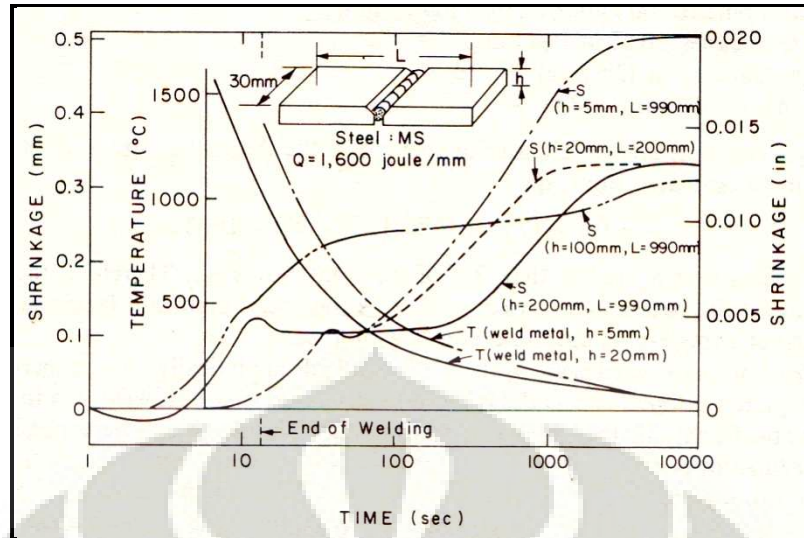
#### 2.4 Pengaruh ketebalan terhadap besarnya distorsi

Hirai-Nakamura menginvestigasi bahwa ketebalan pelat berpengaruh besar terhadap besar distorsi *angular* pada pengelasan *fillet*. Dengan perubahan sudut pada pengelasan *fillet* karena perbedaan temperatur antara pelat permukaan bagian atas dan permukaan bagian bawah, khususnya pada ketebalan sekitar 9 mm pada baja, maka perubahan sudut terjadi maksimum, terlihat pada Gambar 2.6. Ketika ketebalan lebih besar dibandingkan 9 mm maka perubahan sudut lebih sedikit karena sifat kekakuan yang dimiliki pelat semakin besar. Ketika ketebalan kurang dari 9 mm maka perubahan sudut lebih sedikit karena perbedaan temperatur antara permukaan bagian atas dan permukaan bagian bawah logam lebih sedikit.



Gambar 2.6 Pengaruh tebal terhadap perubahan sudut<sup>[1]</sup>

Pada Gambar 2.7 merupakan hasil eksperimen yang diperoleh dari Matsui dengan pengelasan *butt* pada baja karbon rendah. Kurva dengan label T menunjukkan perubahan temperatur, ketika kurva dengan label S menunjukkan perubahan penyusutan *transverse*. Penyusutan terjadi setelah hasil lasan mendingin. Pada Gambar 2.7 menunjukkan penyusutan pada pelat baja tebal terjadi lebih awal, akan tetapi nilai akhir penyusutan lebih kecil.



Gambar 2.7 Penyusutan *transverse* selama pengelasan dan pendinginan dengan pendinginan pada beberapa ketebalan dan panjang pada sambungan *butt*<sup>[1]</sup>

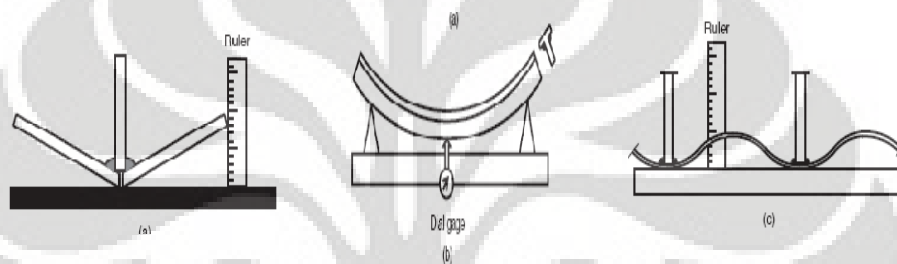
Akan tetapi harus ditekankan bahwa hal ini akan terjadi jika jumlah masukan panas sama pada tiap-tiap ketebalan tanpa memperhatikan tipe sambungan. Pengelasan dengan pelat yang tebal membutuhkan lebih dari satu *pass*<sup>[1]</sup>.

## 2.5 Pengaruh posisi pengelasan terhadap besarnya distorsi

Posisi pengelasan sangat penting dalam hal bagian dari seleksi proses, karena banyak proses yang terbatas hanya sedikit posisi saja. Posisi datar (1G) dapat dilakukan kapan saja karena itu produktivitas yang tinggi dan kualitas lasan yang baik dapat dicapai ketika menggunakan posisi ini. Oleh karenanya, pada umumnya pengerjaan perbaikan pada sebagian besar pengelasan tidak dapat dilakukan dengan posisi yang berbeda dan akses untuk mencapai daerah sambungan terbatas, pemanfaatan proses yang produktivitasnya tinggi dan logam pengisi juga terbatas. Perbedaan posisi pengelasan dapat mempengaruhi nilai distorsi disebabkan oleh adanya kecepatan las dan posisi pengelasan. Posisi tegak (3G) membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan posisi datar<sup>[3]</sup>.

## 2.6 Pengukuran distorsi

Pada prinsipnya pengukuran dimensi distorsi dapat dilakukan setelah hasil lasan mendingin. Seperti pada Gambar 2.8 (a), distorsi *angular* pada sambungan T dapat dihitung dengan penggaris pada pengelasan pelat dengan referensi bidang datar. Gambar 2.8 (b) dengan menggunakan *dial gauge* dapat digunakan untuk menghitung distorsi *bending* secara yang kontinu. Penggaris juga dapat digunakan untuk mengukur distorsi *buckling* pada pengelasan struktur panel yang kaku dapat dilihat pada Gambar 2.8 (c)<sup>[5]</sup>.



Gambar 2.8 Pengukuran distorsi sudut<sup>[5]</sup>

## 2.7 Pengukuran Tegangan Sisa

Tegangan sisa dapat diukur dengan menggunakan beberapa metode diantaranya :

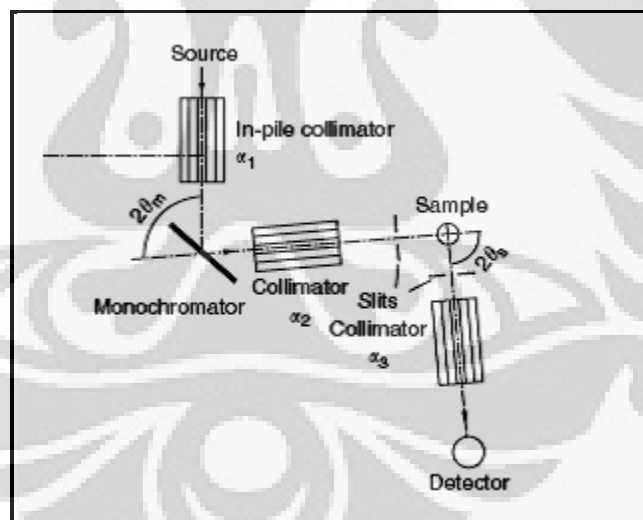
- 1) *Hole drilling (stress relaxation)*
- 2) *X-Ray diffraction (atomic strain gage)*
- 3) *Hard X-Ray diffraction (atomic strain gage)*
- 4) *Neutron diffraction (atomic strain gage)*
- 5) *Ultrasonic (stress related changes in elastic wave velocity)*
- 6) *Magnetic (variations in magnetic domains with stress)*

## 2.7.1 Difraksi Sinar Neutron

### 2.7.1.1 Prinsip Metode Difraksi Sinar Neutron

Metode hamburan sinar neutron memiliki kemiripan prinsip kerja dengan sinar X yaitu memanfaatkan panjang gelombang yang dihasilkan oleh reaktor melalui neutron yang dihamburkan. Sinar neutron yang dihasilkan dari reaktor memiliki panjang gelombang yang berbeda-beda akan menghambur menuju monokromator untuk selanjutnya dihasilkan sinar neutron dengan satu panjang gelombang tertentu. Sinar neutron ini kemudian oleh pengatur lebar hamburan neutron (*collimator*) akan menghambur ke sampel uji. Kemudian akan dipantulkan sesuai dengan sudut pantulnya. Detektor neutron akan menghitung jumlah sinar neutron yang terpantulkan dan masuk kedalam reaktor. Data yang diperoleh dari sinar neutron yang di masuk kedalam detektor berupa intensitas neutron dan besar sudut kisi logam.

Prinsip hamburan neutron dapat dilihat pada gambar dibawah :

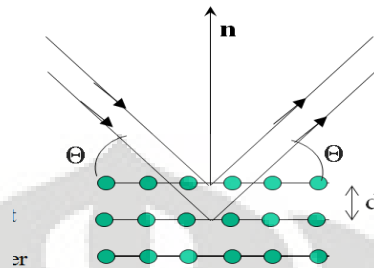


Gambar 2.9 skematik difraksi sinar neutron<sup>[10]</sup>

### 2.7.1.2 Produksi Sinar Neutron

Pengukuran difraksi regangan didasarkan pada pengukuran jarak (diameter) bidang pada material polikristal dengan orientasi hkl. Dengan metode difraksi sinar neutron regangan pada komponen dapat diukur dari pengukuran

bidang kristalografinya. Dari sinar neutron yang menumbuk material akan dihasilkan perubahan sudut  $\Delta\theta$  yang berarti terjadi perubahan jarak ( $\Delta d$ ) pada jarak kisi ( $d$ ).



Gambar 2.10 pemantulan pada kisi logam

Menurut hukum Bragg

$$2 d(hkl) \sin \theta = n \lambda \quad (2.1)$$

Dimana  $d$  adalah jarak kisi setelah material dikenai perlakuan,  $\theta$  sudut yang dihasilkan,  $\lambda$  panjang gelombang. Sedangkan  $d_0$  merupakan jarak kisi pada saat kondisi material belum dikenai perlakuan thermal atau mekanik.

### 2.7.1.3 Metode Difraksi Neutron Untuk Mengukur Tegangan Sisa

Penggunaan metode difraksi neutron untuk mengukur tegangan sisa dilakukan dengan mengukur tegangan pada tiga sumbu. Berdasarkan hukum Hook yaitu

$$\sigma = \frac{E}{\varepsilon} \quad (2.2)$$

Dimana nilai *strain* ( $\varepsilon$ ) diperoleh dari pengukuran nilai  $d$  yang diperoleh sebelumnya :

$$\varepsilon_{hkl} = \frac{d-d_0}{d_0} \quad (2.3)$$



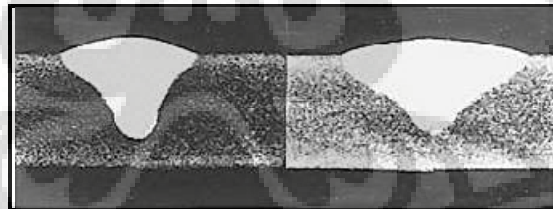
Dimana  $\sigma$  adalah tegangan ( *stress* ), E merupakan modulus young dan  $\epsilon$  adalah regangan ( *strain* ). Kemudian persamaan ini diturunkan lagi menjadi

$$\sigma = \frac{E hkl}{(1+\nu(hkl))(1-2\nu(hkl))} [\epsilon] \quad (2.4)$$

## 2.8 Proses GMAW

### 2.8.1 Prinsip Kerja GMAW

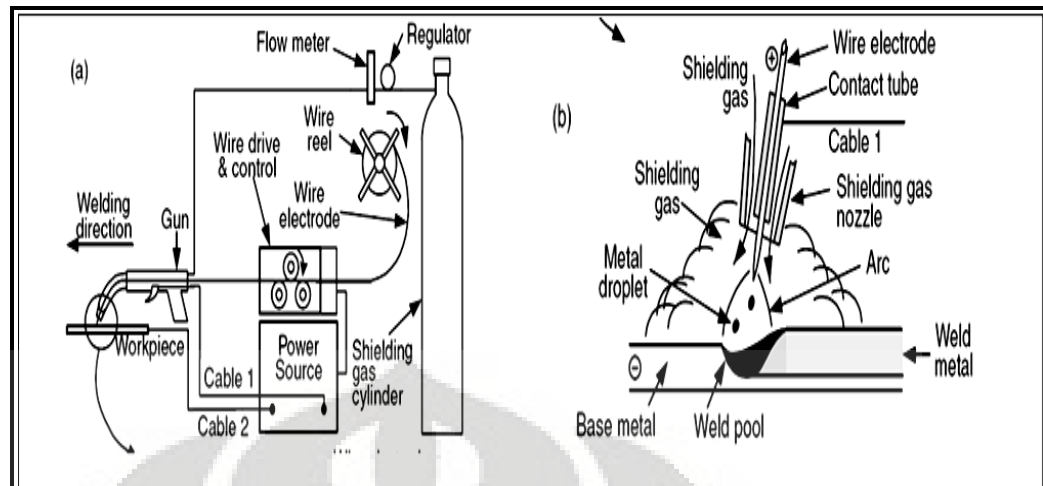
*Gas metal arc welding* merupakan salah satu proses penggabungan dua logam dengan menggunakan elektroda *filler* berupa *wire* kontinu dan gas pelindung. Gas pelindung berfungsi melindungi logam cair pada kampuh las dengan menggunakan gas inert seperti argon dan helium sehingga GMAW juga bisa disebut *Metal Inert Gas* ( MIG ). Penggunaan gas tidak mulia seperti CO<sub>2</sub> juga sangat umum digunakan pada pengelasan paduan baja karbon rendah seperti pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 GMAW aluminium 5083 dengan gas Argon sebagai gas pelindung (75% He–25% Ar)<sup>[6]</sup>

Busur yang stabil, transfer logam yang lebih halus dengan sedikit *spatter* dan penetrasi lasan yang baik diperoleh dengan menggunakan jenis arus AC atau DCEN meskipun transfer logamnya kadang tak menentu<sup>[6]</sup>.





Gambar 2.12 *Gas metal arc welding*: (a) proses keseluruhan (b) area pengelasan<sup>[6]</sup>

### 2.8.2 Gas Pelindung

Argon, helium, dan campuran keduanya biasa digunakan untuk pengelasan logam nonferrous, baja tahan karat dan baja paduan. Energi dari busur Argon lebih sedikit yang terdispersi dibandingkan Helium karena Argon memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah. Sebagai konsekuensinya, busur plasma gas Argon memiliki energi utama yang sangat tinggi, hal ini menghasilkan kestabilan pada aksial transfer logam pada busur dengan gas Argon.

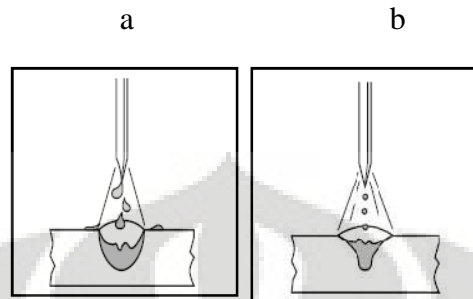
Baja karbon dan baja paduan rendah umumnya menggunakan gas  $\text{CO}_2$  sebagai gas pelindung pada proses pengelasan. Keuntungannya yaitu memiliki kecepatan las yang cepat, penetrasi yang bagus dan murah. Selain itu gas  $\text{CO}_2$  juga menghasilkan *spatter* yang banyak, diperlukan tegangan yang relatif rendah untuk menjaga agar tidak banyak *spatter*<sup>[6]</sup>.

### 2.8.3 Model Transfer Logam

#### 2.8.3.1 *Globular* Transfer

Memiliki ciri yaitu bentuk transfer logam yang bulat dengan ukuran yang lebih besar dari diameter elektroda dan berjalan yang melewati batas dari busur dengan pengaruh gravitasi. Transfer globular biasanya tidak *smooth* dan menghasilkan *spatter*. Secara relatif pengelasan dengan arus yang kecil pada

transfer *globular* tidak memperhatikan jenis gas pelindungnya. Dengan menggunakan gas CO<sub>2</sub> dan Helium akan membantu meminimalisir terjadinya *spatter* pada pengelasan baja karbon dan baja paduan rendah.



Gambar 2.13 (a) *Globular* Transfer; (b). *Spray* Transfer<sup>[8]</sup>

#### 2.8.3.2 *Spray* Transfer

Penggunaan arus di atas batas kritis, transfer logam yang jatuh bentuknya kecil dengan perjalan melewati batas busur dibawah pengaruh gaya elektromagnet pada frekuensi dan kecepatan yang tinggi dibandingkan *globular*. Transfer logam lebih stabil dan bebas *spatter*. Tingkat kritis arus bergantung pada jenis material dan ukuran elektroda dan komposisi gas pelindung. Arus yang digunakan biasanya antara 280 dan 320 *ampere*.

#### 2.8.3.3 *Short-Circuiting* Transfer

Logam cair elektroda ditransfer ke kampuh las ketika menyentuh permukaan sehingga terjadi *short-circuit*. Transfer *short-circuit* meliputi rentang arus pengelasan dan diameter elektroda yang rendah. Sehingga menghasilkan kampuh las yang kecil dan pembekuan yang cepat pada pengelasan logam tipis, pada posisi diatas kepala (*overhead-position welding*).

## 2.9 Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya distorsi

### 2.9.1 Sifat fisik dan jenis dari logam induk

#### 2.9.1.1 Koefisien muai thermal

Koefisien muai termal merupakan indikasi banyaknya pemuaian logam ketika dipanaskan pada temperatur tinggi. Koefisien muai termal adalah perubahan dimensi material ketika temperatur berubah per satu derajat. Jika koefisien muai material tinggi maka pemuaian material tinggi dan penyusutan juga tinggi saat pendinginan, sehingga kemungkinan besar terjadi distorsi.

#### 2.9.1.2 Koefisien termal konduktivitas

Logam dengan konduktivitas termal yang rendah mengijinkan panas yang dilewati dengan kecepatan yang rendah akan menghasilkan gradien temperatur yang menurun saat pengelasan. Penurunan gradien ini menghasilkan peningkatan penyusutan antara logam las dan logam dasar, Sehingga kemungkinan terjadinya distorsi meningkat pada material dengan konduktivitas termal rendah.

#### 2.9.1.3 Kekuatan Luluh

Material yang memiliki kekuatan luluh tinggi dapat menghasilkan tegangan sisa yang tinggi pula. Sehingga untuk meminimalkan tegangan sisa maka tegangan harus mencapai *yield strength* (kekuatan luluh) yang sama dengan deposit las.

#### 2.9.1.4 Modulus elastis

Modulus elastisitas merupakan ukuran tingkat kekakuan dari material. Material yang memiliki modulus elastis yang besar cenderung memiliki distorsinya kecil.

Materials	Steel	Aluminium	Titanium
Density, $\sigma\text{lb/in}^3$	0.234	0.1	0.163
Young's modulus $E \times 10^6$ psi	30	10	17
Yield strength $\sigma_{ys} \times 10^3$ psi	35–150	30–50	40–150
Strength/weight $\sigma_{ys}/\rho \times 10^3$	123–150	300–500	250–920
Thermal conduc- tivity, $\lambda$ B.t.u./hr/ft <sup>2</sup> /ft/°F	26.2	130	9
Coeff. linear thermal exp. $\alpha \times 10^{-6}/^\circ\text{F}$	6.8	13	4.7
Electrical resistivity, $10^{-6}\Omega\text{-cm}$	9.7	2.7	42
Melting point, °F	2800	1220	3040
Melting point of oxide, °F	FeO 2400	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 3700	

Gambar 2.14 Perbandingan sifat fisik dan sifat mekanik material<sup>[1]</sup>

### 2.9.2 Jumlah Penyangga

Penyangga dapat mempengaruhi besarnya distorsi, jumlah penyangga yang banyak dapat menyebabkan distorsi yang rendah akan tetapi menghasilkan tegangan sisa yang besar.

### 2.9.3 Bentuk Sambungan

Bentuk sambungan juga mempengaruhi besarnya distorsi yang dihasilkan. Volume deposit yang besar menghasilkan distorsi yang besar, sehingga harus dikurangi volume logam las dengan cara membentuk tipe sambungan. Bentuk sambungan *single V* memiliki kecenderungan distorsi yang lebih besar dibandingkan bentuk sambungan *double V*.

### 2.9.4 Parameter pengisian lapisan las

Ada dua tipe pemasangan yang dilakukan saat pengelasan adalah *single pass* dan *multi pass*. *Single pass* merupakan pengelasan dengan satu lapisan sedangkan *multi pass* pengelasan dengan lebih dari satu lapisan. Pada pengelasan pelat yang tebal cenderung dilakukan *multi pass*. Tingkat penyusutan meningkat dengan bertambahnya lapisan pengelasan karena volume las yang bertambah<sup>[1]</sup>.

## 2.9.5 Parameter Pengelasan

### 2.9.5.1 Masukan panas ( *heat input* )

Masukan panas ( *heat input* ) merupakan energi yang ditransfer dari elektroda ke logam dasar per unit panjang. Masukan panas sangat berpengaruh terhadap kecepatan pendinginan yang akan berpengaruh juga terhadap sifat mekanik dan struktur metalurgi. *Heat input* yang besar berhubungan dengan luas daerah kampuh las dan daerah HAZ yang dapat menyebabkan efek negatif pada sifat mekanik. Umumnya masukan panas yang besar menghasilkan penurunan sedikit kekuatan luluh dan kekuatan tarik pada daerah lasan dan ketangguhan berkurang karena adanya interaksi dari ukuran *bead* dan masukan panas. Masukan panas dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$H = \frac{60 \times EI}{v} \quad (2.5)$$

H = masukan panas ( kJ/in atau kJ/mm )

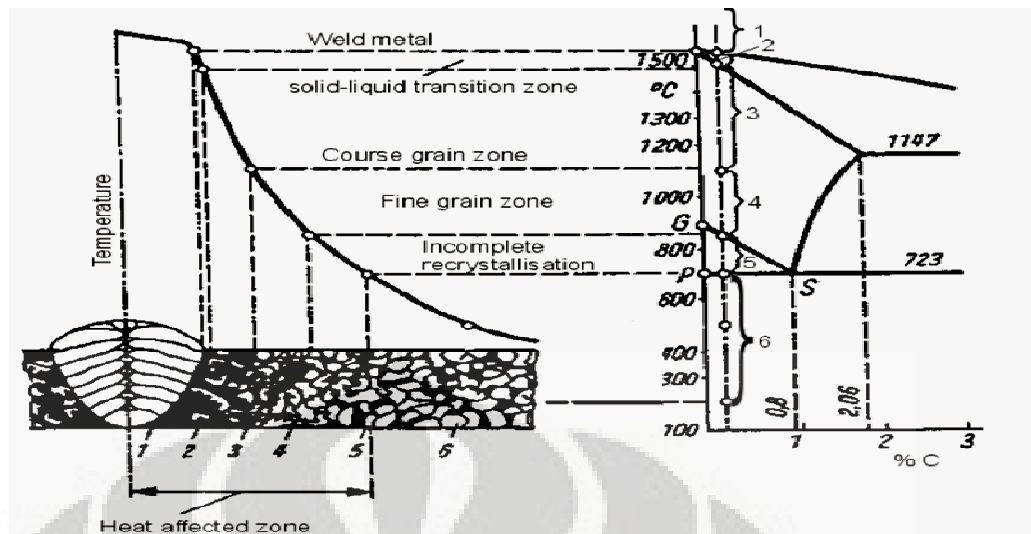
E = tegangan las ( volt )

I = kuat arus las ( ampere )

v = kecepatan las ( in/mm atau mm/min )

Masukan panas juga mempengaruhi temperatur yang dihasilkan serta struktur metalurgi. Hubungan antara besarnya *heat input* dengan struktur metalurgi yaitu

- ❖ Arus yang besar akan menghasilkan temperatur yang tinggi
- ❖ Semakin besar pengaruh panas pada deposit las dan HAZ akan mempengaruhi struktur fasa dari material
- ❖ Perbedaan struktur fasa yang dihasilkan akan menimbulkan perbedaan sifat mekanik pada material.

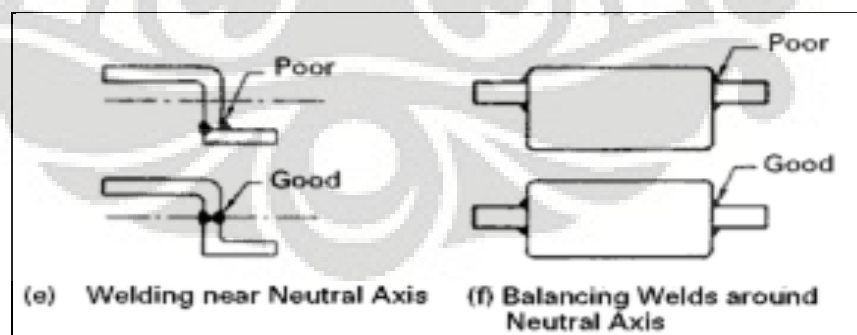


Gambar 2.15 Pengaruh temperatur dengan struktur metalurgi selama pengelasan<sup>[3]</sup>

## 2.9.6 Keseimbangan pengelasan

### 2.9.6.1 Menempatkan daerah las dekat dengan garis sumbu netral

Distorsi dapat diminimalisir dengan memberikan pengaruh yang kecil terhadap tegangan penyusutan. Salah satu caranya yaitu menempatkan daerah las disekitar sumbu netral, seperti pada Gambar 2.16. Dengan desain pengelasan yang tepat maka distorsi dapat diminimalisir<sup>[8]</sup>.

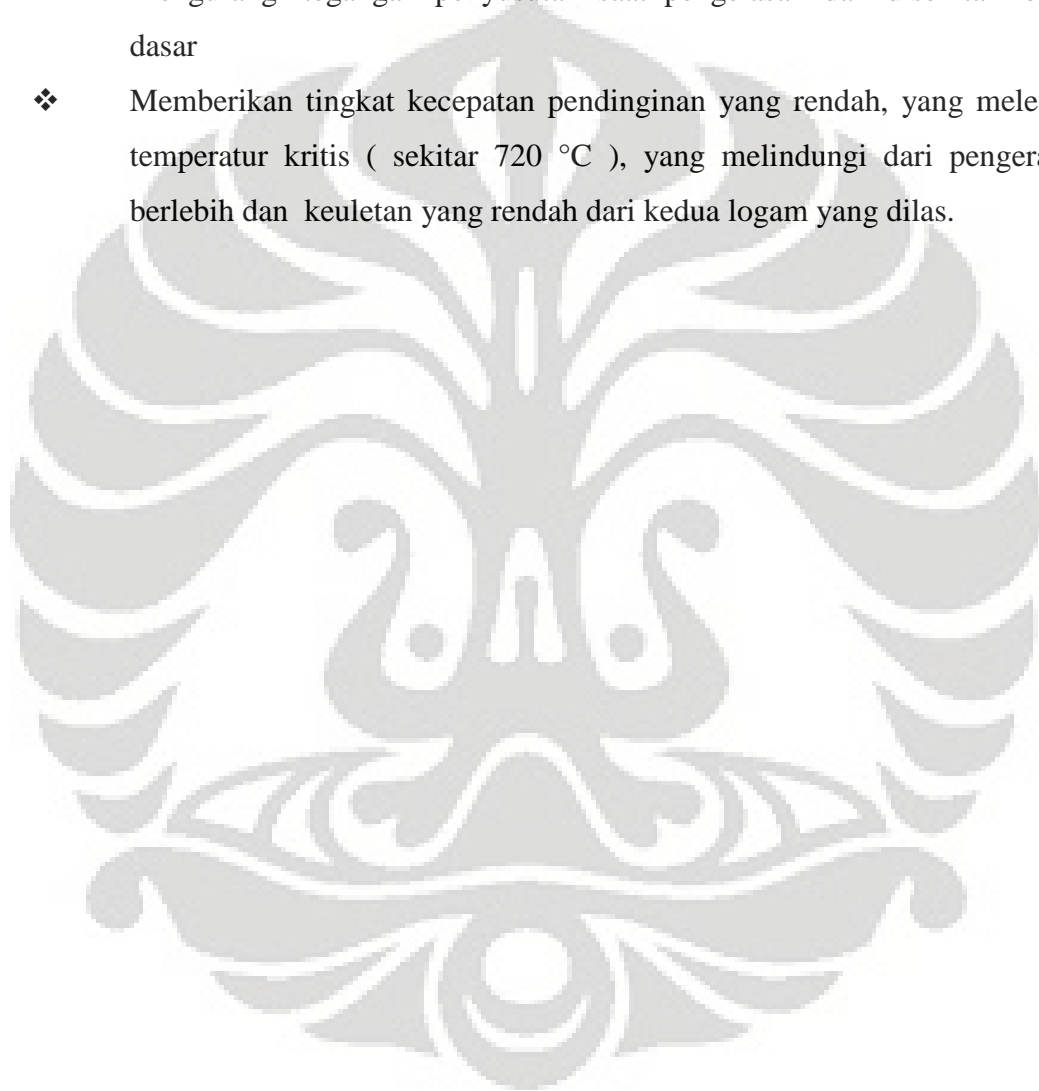


Gambar 2.16 Daerah las pada sumbu netral<sup>[8]</sup>

### 2.9.7 Temperatur pemanasan awal ( *Preheat* )

Pemanasan awal merupakan aplikasi sebelum proses pengelasan dilakukan khususnya untuk logam dasar ( *base metal* ). Tempertaur *preheat* sangat bergantung pada komposisi dan berat dari logam dasar, temperatur lingkungan dan prosedur pengelasan. Pemanasan awal dilakukan untuk :

- ❖ Mengurangi tegangan penyusutan saat pengelasan dan disekitar logam dasar
- ❖ Memberikan tingkat kecepatan pendinginan yang rendah, yang melewati temperatur kritis ( sekitar  $720\text{ }^{\circ}\text{C}$  ), yang melindungi dari pengerasan berlebih dan keuletan yang rendah dari kedua logam yang dilas.



## 2.10 Struktural steel

*Structural steel* (baja struktural) merupakan jenis baja karbon sedang yang diaplikasi pada struktur bangunan industri, jembatan, kapal, dll. Terdapat empat kode yang dikeluarkan untuk jenis baja struktural. Keempat organisasi tersebut adalah pada tabel berikut :

Tabel 2.1 *Structural steel*<sup>[3]</sup>

Organisasi	Judul	Nomor Spesifikasi
<i>American Welding Society ( AWS )</i>	<i>Structural welding code-steel</i>	D 1.1
	<i>Bridge welding code</i>	D 1.5
<i>American Institute of Steel Construction ( AISC )</i>	<i>Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings</i>	-
<i>American Association of State Highway and Transportation Officials ( AASHTO )</i>	<i>Standart Specification for Welding Structural Steel Highway Bridges.</i>	-
<i>American Railway Engineers Association (AREA)</i>	<i>Manual for Railway Engineering</i>	-



Kode pengelasan baja struktural oleh AWS D 1.1 dibagi kedalam 3 kelas yaitu :

- Beban statis untuk bangunan (*Statically loaded for building*)
- Beban dinamis (*dynamically loaded for bridges*)
- Tubular untuk aplikasi bangunan laut dan arsitektur (*offshore and architectural*)

American Standard for Testing Material ( ASTM ) memberikan spesifikasi untuk jenis baja struktural yaitu ASTM A 36. Dibawah ini merupakan komposisi kimia dan sifat mekanik dari structural steel ASTM 36. Berdasarkan Japanese industrial Standard (JIS) maka baja struktural dikelompokkan ke dalam JIS 3101, dimana standar ini adalah *rolled steel* untuk baja struktural umum.

Tabel 2.2 Komposisi kimia SS 400<sup>[3]</sup>

Symbol of grade	C	Mn	P	S
SS330	—	—	0.050 max.	0.050 max.
SS400				
SS490				
SS540	0.30 max.	1.60 max.	0.040 max.	0.040 max.

Tabel 2.3 Sifat mekanik baja SS 400<sup>[3]</sup>

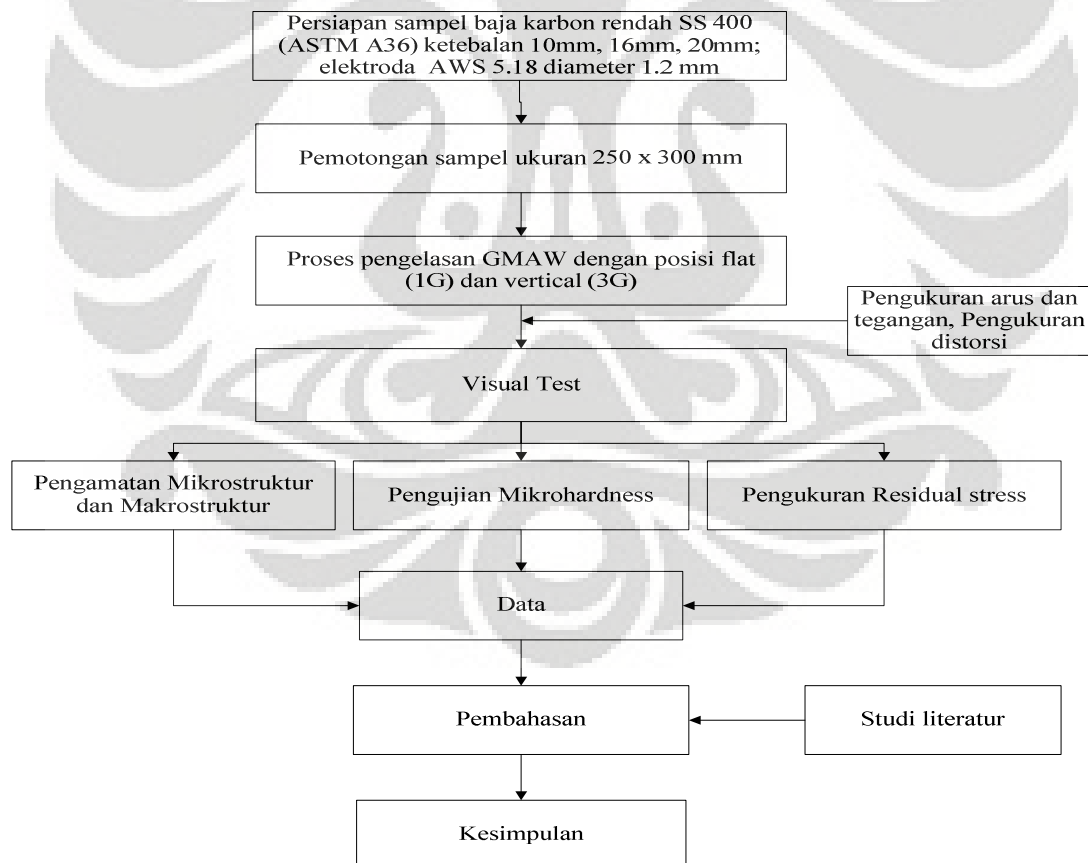
Symbol of grade	Yield point or yield strength N/mm <sup>2</sup>				Tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Thickness of steel product <sup>(1)</sup> mm	Test piece	Elongation %
	Thickness of steel product <sup>(1)</sup> mm							
	16 or under	Over 16 up to and incl. 40	Over 40 up to and incl. 100	Over 100				
SS400	245 min.	235 min.	215 min.	205 min.	400 to 510	Steel plates and sheets, steel strip in coil, flats and sections 5 or under in thickness	No. 5	21 min.
						Steel plates and sheets, steel strip in coil, flats and sections over 5 up to and incl. 16 in thickness	No. 1A	17 min.
						Steel plates and sheets, steel strip in coil, flats and sections over 16 up to and incl. 50 in thickness	No. 1A	21 min.
						Steel plates and sheets, flats and sections over 40 in thickness	No. 4	23 min.
						Steel bars 25 or under in diameter, side or distance across flats	No. 2	20 min.
						Steel bars over 25 in diameter, side or distance across flats	No. 14A	22 min.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian yang menggambarkan seluruh kegiatan penelitian. Diawali dengan persiapan material dan peralatan kemudian proses pengelasan dilakukan. Setiap *pass* dalam pengelasan dilakukan visual test untuk mengetahui tidak adanya cacat yang tampak oleh mata. Kemudian dilakukan pengukuran arus serta tegangan dan besarnya distorsi setiap *pass (run)*. Untuk menghitung tegangan sisa sampel kemudian dipotong untuk dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian tegangan sisa serta mengambil gambar struktur mikro. Sampel uji di potong dengan ukuran 80 mm x 90 mm tepat di tengah bahan.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

## 3.2 Persiapan Alat dan Bahan

### 3.2.1 Bahan

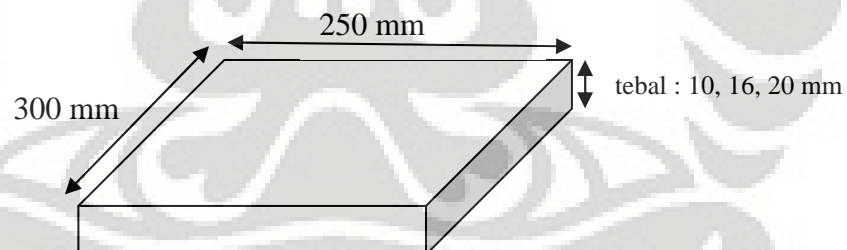
#### 1) Logam induk

Logam induk yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan spesifikasi baja SS400-JIS G 3101. Untuk komposisi kimia logam induk yang dipakai mengikuti komposisi kimia *mill certificate* yang dikeluarkan perusahaan pembuatnya seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Komposisi Kimia Logam Induk

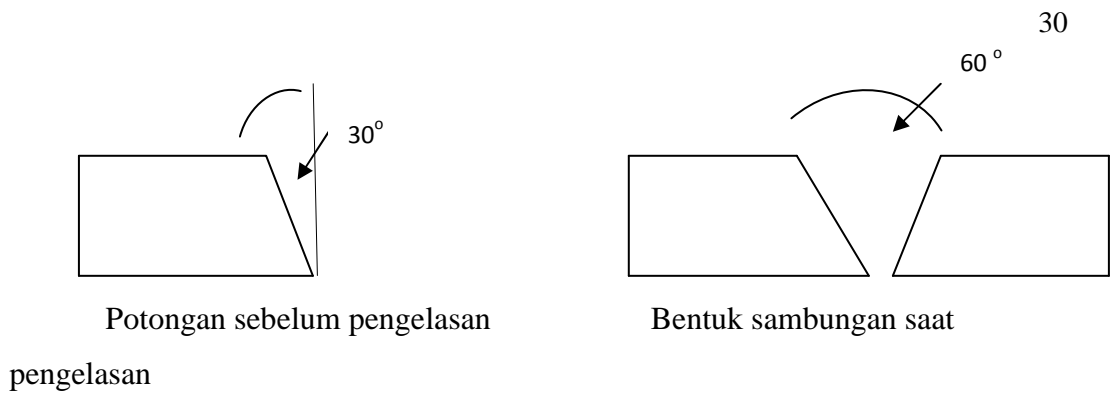
Unsur	C	Mn	Si	P	S
<i>Mill certificate</i>	0.16	0.64	0.19	0.01	0.07
SS 400 (standar)	-	-	-	0.05 max	0.05 max

Dimensi yang digunakan berukuran 25 x 30 mm dengan variasi ketebalan 10, 16, 20 mm.



Gambar 3.2 ukuran material yang dilakukan pengelasan

Kemudian logam induk tersebut dibuat kampuh ( *groove* ) yang besarnya  $30^\circ$  seperti terlihat dibawah ini



Gambar 3.3 bentuk sambungan

2) Kawat las

Logam las yang digunakan sebagai elektroda (*wire*) yaitu AWS A.518 ER 70S-6, diameter 1,2 mm. Jenis elektroda ini mengandung Silikon dan Mangan yang tinggi sehingga cocok untuk pengelasan material JIS 3101-SS400. Elektroda ini dapat diaplikasikan pada *single pass dan multipass*. Untuk komposisi kimia kawat las yang dipakai mengikuti komposisi kimia *mill certificate* (lihat lampiran) yang dikeluarkan perusahaan pembuatnya seperti terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 3.2. Komposisi Kimia Kawat Las GMAW

Unsur	C	Mn	Si	P	S
<i>Mill certificate</i>	0.09	1.49	0.92	0.014	0.019
ER70S-6 (standar)	0.07-0.15	1.40 - 1.85	0.80 - 1.15	0.035	0.025

Tabel 3.3 Sifat mekanik kawat las

Sifat mekanik	<i>Tensile Strength</i> ksi (MPa)	<i>Yield Strength</i> ksi (MPa)	<i>Elongation (%)</i>
<i>Mill certificate</i>	83 (567)	64 (439)	28
ER70S-6 (standar)	70 (480)	58 (400)	22

Silikon yang tinggi meningkatkan fluiditas sehingga sangat cocok untuk posisi *flat*. Mengurangi porositas, dan umumnya komposisi silikon yang tinggi akan memudahkan las menempati *groove weld*, disamping itu juga Silikon meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh.

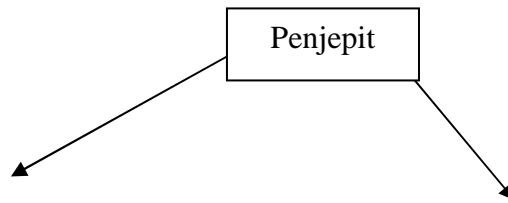
Mangan (Mn) merupakan elemen yang terdapat pada kawat las ER 70S-6 dengan komposisi yang cukup tinggi. Unsur ini berfungsi sebagai deoksidator, mengurangi oksigen pada saat pengelasan sehingga meminimalisir porositas.

### 3.2.2 Alat

- 1) Tang ampere
- 2) Sikat kawat
- 3) *Thermo couple*
- 4) Penggaris
- 5) *Jig (clamping)*
- 6) *Water pass*

### 3.3 Pengelasan

- 1) Porses pengelasan menggunakan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW).
- 2) Posisi pengelasan yaitu
  - ❖ Datar (*Flat*) dalam kode AWS dinyatakan dengan kode 1G
  - ❖ Tegak (vertikal) dalam kode AWS dinyatakan dengan kode 3G



Gambar 3.4 Posisi datar dan tegak

- 3) Parameter las yang digunakan adalah
  - ❖ Arus : ( 180 ÷ 220 ) Ampere
  - ❖ Tegangan : ( 22 ÷ 30 ) Volt
- 4) Gas pelindung yang digunakan adalah gas  $\text{CO}_2 > 90\%$  dengan kecepatan alir : 18 – 22 liter/ menit ( LPM )

### 3.4 Uji Visual

Pemeriksaan visual dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil las-lasan. Apakah terdapat cacat atau diskontinuitas dalam pengelasan. Cacat pada permukaan, *root pass*, serta cacat yang tampak pada mata.

### 3.5 Pengukuran Distorsi *Angular*, Pengukuran Kuat Arus las dan Tegangan las Serta Waktu Pengelasan

Pengukuran arus dan tegangan dilakukan saat pengelasan sedang berlangsung. Alat yang digunakan adalah tang ampere yang berfungsi ganda yaitu sebagai ampere meter dan volt meter. Disamping itu waktu pengelasan juga dicatat selama pengelasan berlangsung. Waktu pengelasan per satu *pass* (*run*). Nilai yang diperoleh kemudian dicatat dan dilakukan perhitungan nilai masukan panas. Pengukuran besarnya distorsi dilakukan setiap *pass* pengelasan. Pengukuran dilakukan setiap 5 mm dari ujung material kemudian dibagi dengan jumlah banyaknya pengukuran sehingga diperoleh nilai rata-rata besarnya distorsi *angular*.

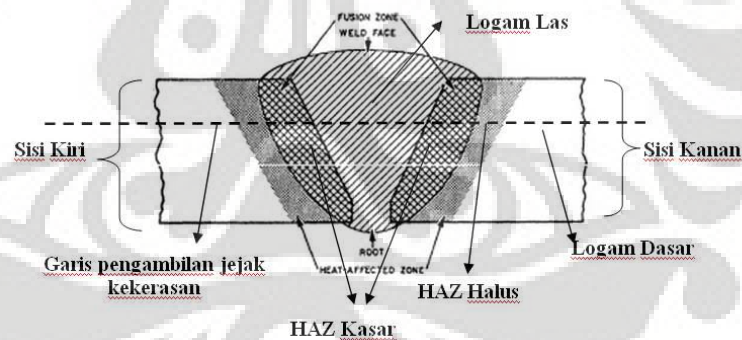


Gambar 3.5 Pengukuran distorsi

### 3.6 Pengujian-Pengujian

#### 3.6.1 Pengamatan Struktur Makro Dan Mikro

Pengamatan struktur makro dan mikro untuk melihat permukaan hasil lasan secara mikro, fasa dan permukaan fraktograpy. Pengambilan struktur mikro dilakukan pada daerah logam las, HAZ dan logam induk.



Gambar 3.6 Lokasi pengambilan Foto mikro dan uji kekerasan

#### 3.6.2 Pengujian Kekerasan di daerah Logam Las, Haz dan Logam Induk

Tujuan pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui distribusi kekerasan pada logam las ( *weld metal* ), HAZ dan logam dasar. Pengujian dilakukan di laboratorium metalurgi fisik dengan menggunakan mesin *microhardnes testing* dengan beban yang digunakan yaitu 300 gf. Standar yang digunakan yaitu ASTM E 384. Tujuan pengujian kekerasan pada sampel uji adalah untuk mengetahui

distribusi kekerasan pada daerah logam las, HAZ dan logam dasar. Kemudian hasil ini dihubungkan dengan tegangan sisa pada sampel uji. Lokasi pengambilan uji kekerasan pada Gambar 3.5.

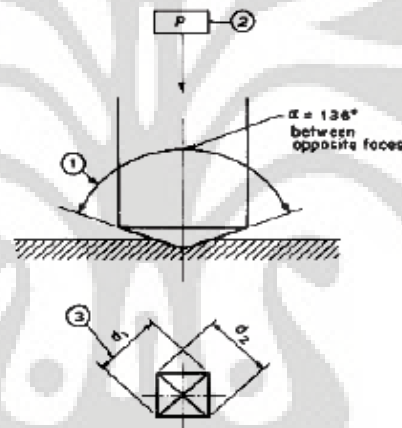
$$\text{VHN} = \frac{1852 \times P}{d^2} \quad (3.1)$$

dimana :

k :1852

P : beban (*gram force*)

d : diameter jejak ( $\mu\text{m}$ )



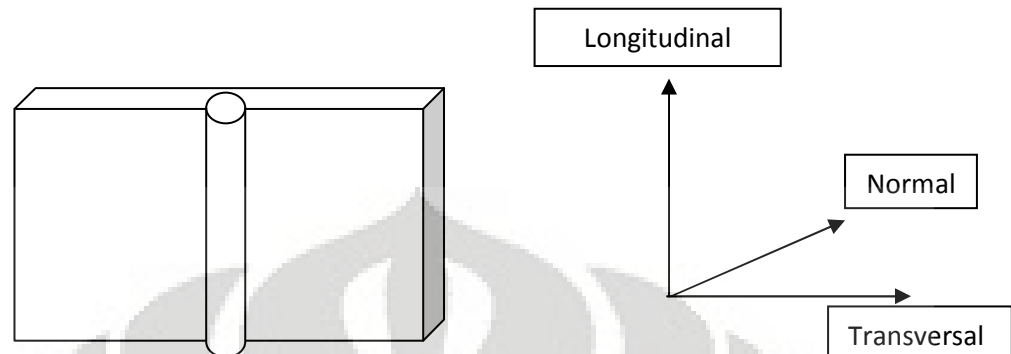
Gambar 3.7 Penampang indentor uji mikrohardness<sup>[4]</sup>

### 3.6.3 Pengujian Tegangan Sisa

Pengukuran tegangan sisa dilakukan dengan menggunakan difraksi sinar neutron. Pengujian tegangan sisa dilakukan di BATAN Puspitek Serpong. Pengukuran dilakukan pada tiga sumbu tegangan yaitu arah normal, transversal dan longitudinal. Untuk mengukur tegangan sisa maka sampel di potong dengan ukuran 80 mm x 90 mm dengan tebal 10 mm, 16 mm, dan 20 mm.



Pengukuran tegangan tiga sumbu dapat di gambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.8 Arah pengukuran tegangan tiga sumbu

Kemudian dengan menggunakan persamaan Bragg nilai (jarak) kisi  $d$  ditentukan dengan menggunakan  $d$  reference yaitu  $d$  yang tidak mengalami deformasi. Dimana nilai  $d$  hkl diperoleh dari persamaan Bragg's<sup>[12]</sup>

$$n \lambda = d \sin \phi \quad (3.2)$$

Untuk menghitung tegangan pada arah longitudinal. Dapat digunakan hukum Hooke<sup>[13]</sup>

$$\sigma = \frac{E}{\varepsilon} \quad (3.3)$$

Dimana nilai strain ( $\varepsilon$ ) diperoleh dari pengukuran nilai  $d$  yang diperoleh sebelumnya :

$$\varepsilon = \frac{d-d_0}{d_0} \quad (3.4)$$

Kemudian nilai strain ini digunakan untuk menghitung nilai tegangan sisa (*residual stress*).

$$\sigma = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} (\epsilon) \quad (3.5)$$

Pada perhitungan tegangan sisa yang dilakukan, nilai modulus elastisitas E adalah 207 GPa. Sedangkan untuk poisons rasio ( $\nu$ ) adalah 0,3.



**BAB IV**  
**HASIL PENELITIAN**

**4.1 Hasil Penelitian**

4.1.1 Hasil Pengelasan dan Pengukuran Distorsi

Tabel.4.1 Pengelasan GMAW Posisi Datar ( 1G )

Tebal Pelat (mm)	Jumlah Pass	Arus Las (Ampere)	Tegangan (Volt)	Kecepatan (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)	Perubahan Sudut ( $^{\circ}$ )
10	4	151	21	121	3.8	0.87
16	5	194	29	158	9.7	2.99
20	6	209	29	185	11.8	3.64

Tabel.4.2. Pengelasan GMAW Posisi tegak ( 3G )

Tebal Pelat (mm)	Jumlah Pass	Arus Las (Ampere)	Tegangan (Volt)	Kecepatan (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)	Perubahan Sudut ( $^{\circ}$ )
10	3	118	21	104	4.9	1.56
16	4	184	28	128	9.7	3.526
20	5	199	28	155	12.06	4.02

Dibawah ini merupakan hasil pengukuran nilai kekerasan pada daerah las yaitu pada daerah *weldpool* (kampuh las), HAZ kasar, HAZ halus, serta *base metal* yang terbagi kedalam dua sisi yaitu sisi kakan dan sis kiri. Sisi sbelah kiri merupakan bagian yang dijepit (*clamping*)

Tabel 4.3 Tabel nilai kekerasan untuk tiap daerah sampel, posisi datar (1G)

Tebal pelat	Logam dasar sisi kiri	HAZ halus sisi kiri	HAZ kasar sisi kiri	Kampuh las	HAZ kasar sisi kanan	HAZ halus sisi kanan	Logam dasar sisi kanan
10	144	171	165	163	152	157	166
16	163	182	220	168	163	156	182
20	164	162	204	204	193	179	177

Tabel 4.4 Tabel nilai kekerasan untuk tiap daerah sampel, posisi tegak (3G)

Tebal pelat	Logam dasar sisi kiri	HAZ halus sisi kiri	HAZ kasar sisi kiri	Kampuh las	HAZ kasar sisi kanan	HAZ halus sisi kanan	Logam dasar sisi kanan
10	187	188	175	181	138	162	198
16	177	200	227	190	157	175	238
20	166	158	177	175	164	159	164

Hasil pengukuran tegangan sisa pada sampel pelat 16 mm

Tabel 4.5 Hasil pengukuran tegangan sisa pada pelat 16 mm posisi datar (1G) sisi atas

Jarak dari <i>weld center</i>	Tegangan sisa (MPa)		
	$\sigma$ normal	$\sigma$ transversal	$\sigma$ longitudinal
-38	-13.26	15.75	25.83
-29	22.81	35.83	-29.60
-22	-3.17	21.93	-14.74
-17	-10.99	12.48	14.06
-13	-5.01	29.91	13.39
-10	-3.61	20.60	26.65
-5	-15.17	10.75	33.88
0	2.58	-15.25	18.23
5	-33.49	3.76	-13.79
10	-1.39	34.47	12.17
13	-23.41	26.62	27.13
17	-34.67	-4.12	7.92
22	-8.86	32.25	-8.85
29	-0.59	28.68	-38.07
38	4.06	49.28	-40.61

Tabel 4.6 Hasil pengukuran tegangan sisa pada pelat 16 mm posisi datar (1G) sisi bawah

Jarak dari weld center	Tegangan sisa (MPa)		
	$\sigma$ normal	$\sigma$ transversal	$\sigma$ longitudinal
-38	-34.10	-14.86	100.36
-29	10.86	55.70	-66.18
-22	11.10	27.09	-54.77
-17	2.57	39.44	-31.00
-13	-35.25	53.71	-22.47
-10	-26.73	76.15	15.14
-5	-12.89	43.66	24.92
0	3.75	-8.72	40.54
5	7.66	58.79	21.62
10	-14.33	73.80	-7.10
13	-13.31	58.68	-8.22
17	5.24	18.02	-21.11
22	-16.37	46.51	-44.04
29	-4.24	34.14	-37.74
38	8.49	19.14	-7.06

Tabel 4.7 Hasil pengukuran tegangan sisa pada pelat 16 mm posisi tegak (3G) sisi atas

Jarak dari weld center (mm)	Tegangan sisa (Mpa)		
	$\sigma$ normal	$\sigma$ transversal	$\sigma$ longitudinal
-30	-46.73	-19.48	-25.66
-25	-59.48	-9.51	-18.70
-19	-77.15	-24.69	0.95
-14	-75.52	-11.13	37.01
-10	-67.46	-20.94	-56.37
-5	-88.81	-7.43	-25.15
0	-112.82	-4.68	-45.56
5	-90.80	-1.73	-34.76
10	-95.45	0.15	-52.31
14	-84.32	-32.46	-70.61
19	-73.07	-31.32	-50.57
25	-71.48	-27.67	-86.42
30	-57.17	-38.06	-68.49

Tabel 4.8 Hasil pengukuran tegangan sisa pada pelat 16 mm posisi tegak (3G) sisi bawah

Jarak dari <i>weld center</i> (mm)	Tegangan sisa (Mpa)		
	$\sigma$ normal	$\sigma$ transversal	$\sigma$ longitudinal
-28	-47.75	-31.89	18.30
-21	-67.59	-31.26	32.91
-15	-85.72	-22.18	58.83
-9	-87.81	-33.49	101.61
-5	-72.39	-68.03	88.85
-2	-68.91	-57.67	99.48
0	-61.83	-59.59	-39.17
2	-57.08	-39.91	-61.20
5	-57.75	-42.95	-34.26
9	-58.57	-29.58	-53.74
15	-70.38	-8.69	-56.64
21	-69.10	-18.33	-75.05
28	-58.66	-12.62	-76.26

## Foto Mikro dan Makrostruktur Posisi Datar

### Foto makrostruktur posisi datar (1G)



Gambar 4.1 Foto makrostruktur logam las dan daerah HAZ pelat 10 mm posisi 1G (datar),(perbesaran 7 x)



Gambar 4.2 Foto makrostruktur logam las dan daerah HAZ pelat 16 mm posisi 1G (datar),  
(perbesaran 7 x)





Gambar 4.3 Foto makrostruktur logam las dan daerah HAZ pelat 20 mm posisi 1G (datar), perbesaran 7 x

Foto makrostruktur posisi tegak (3G)



Gambar 4.4 Foto makrostruktur logam las dan daerah HAZ pelat 10 mm posisi 3G (tegak), perbesaran 7 x

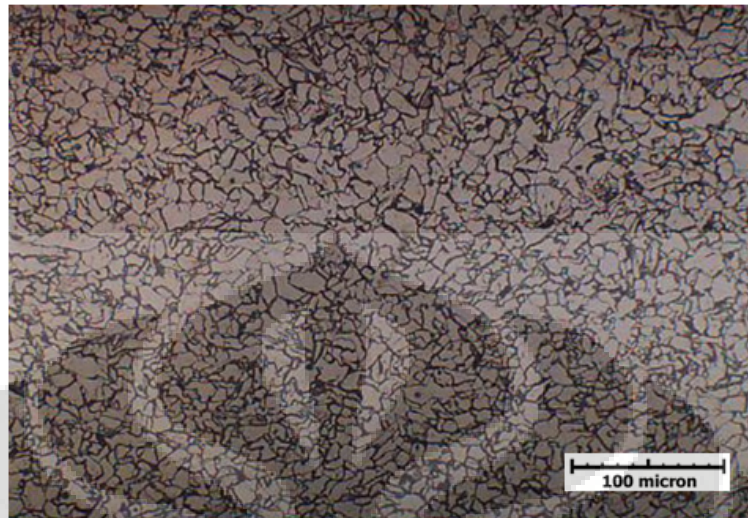


Gambar 4.5 Foto makrostruktur logam las dan daerah HAZ pelat 16 mm posisi 3G (tegak), perbesaran 7 x

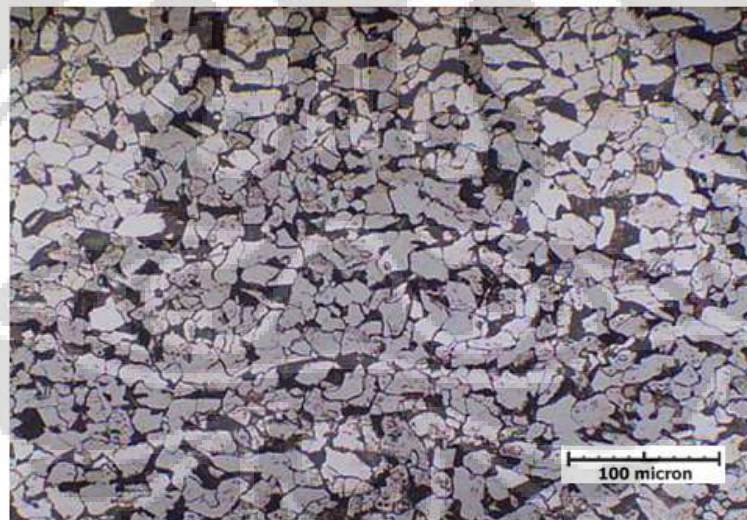


Gambar 4.6 Foto makrostruktur logam las dan daerah HAZ pelat 20 mm posisi 3G (tegak), perbesaran 7 x

Foto mikrostruktur logam dasar

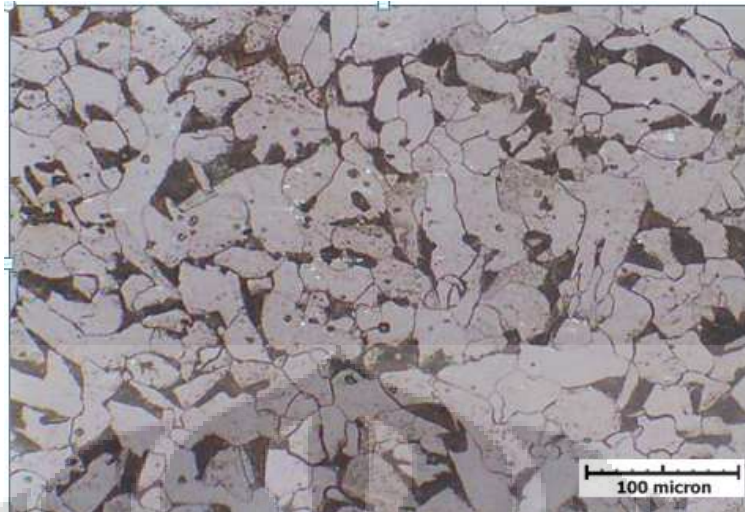


Gambar 4.7 Foto mikrostruktur logam dasar (*base metal*) pelat 10 mm baja karbon rendah perbesaran 200 x etsa nital 5 %



Gambar 4.8 Foto mikrostruktur logam dasar (*base metal*) pelat 16 mm baja karbon rendah perbesaran 200 x etsa nital 5 %

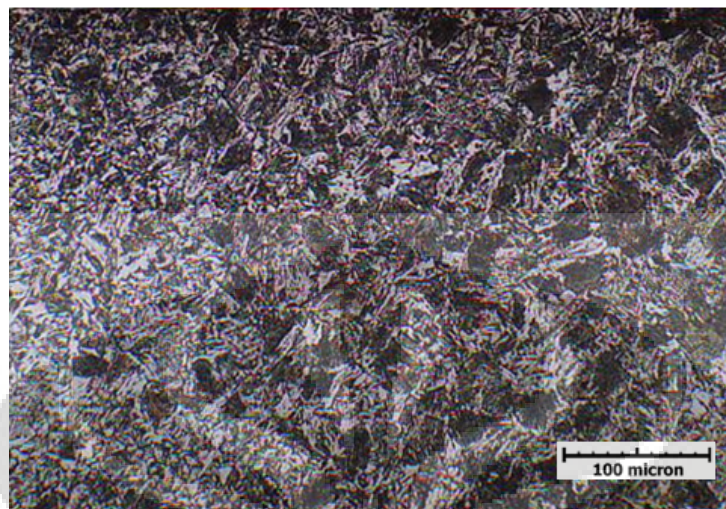




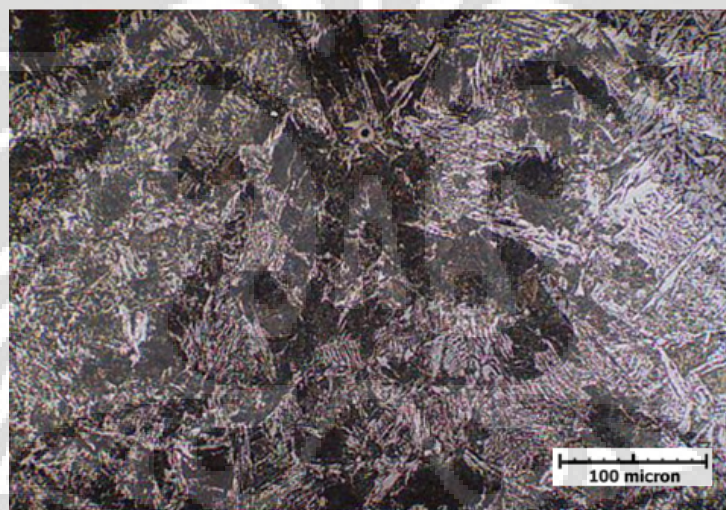
Gambar 4.9 Foto mikrostruktur logam dasar (*base metal*) pelat 20 mm baja karbon rendah perbesaran 200 x etsa nital 5 %



Foto mikrostruktur posisi datar (1G)

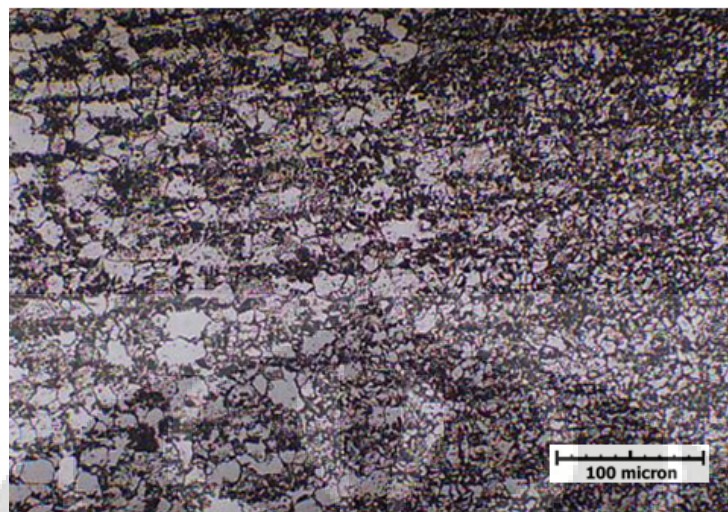


(a)

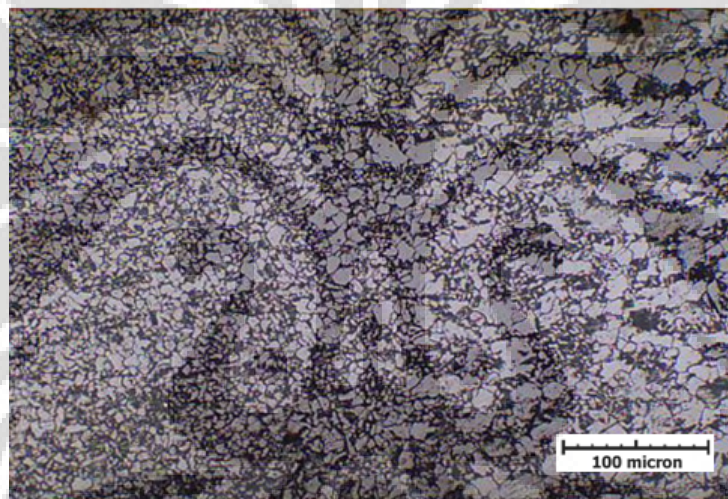


(b)

Gambar 4.10 Foto mikrostruktur daerah HAZ kasar las pelat 10 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (a) HAZ kasar sisi kiri dan (b) HAZ kasar sisi kanan



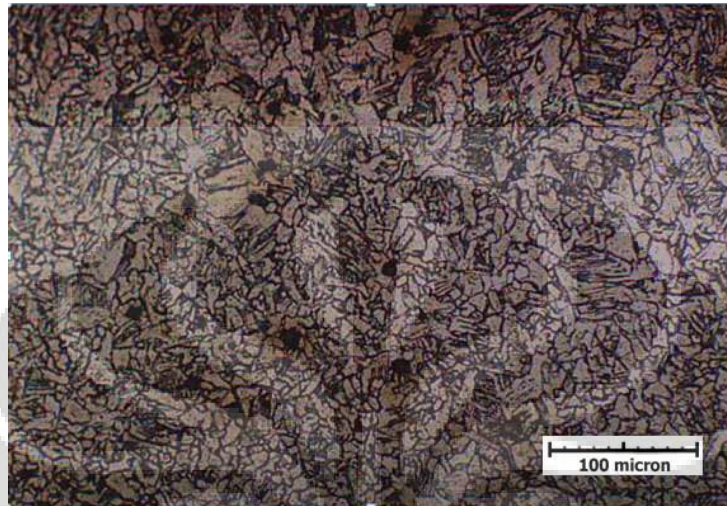
(a)



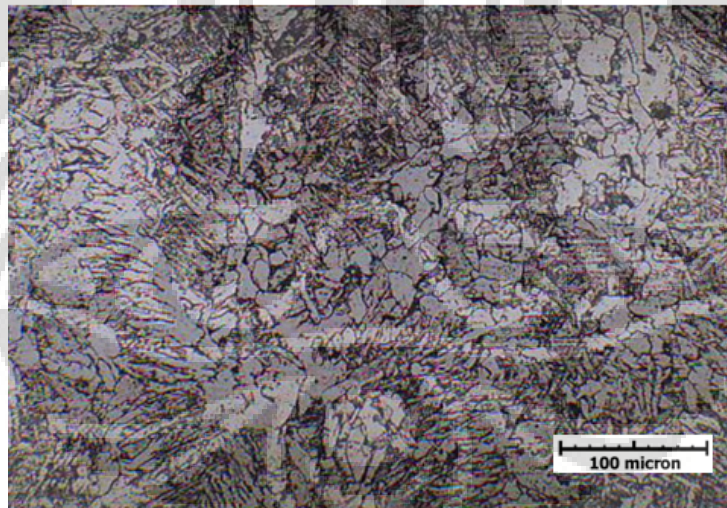
(b)

Gambar 4.11 Foto mikrostruktur daerah HAZ halus las pelat 10 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (a) HAZ halus sisi kiri dan (b) HAZ halus sisi kanan

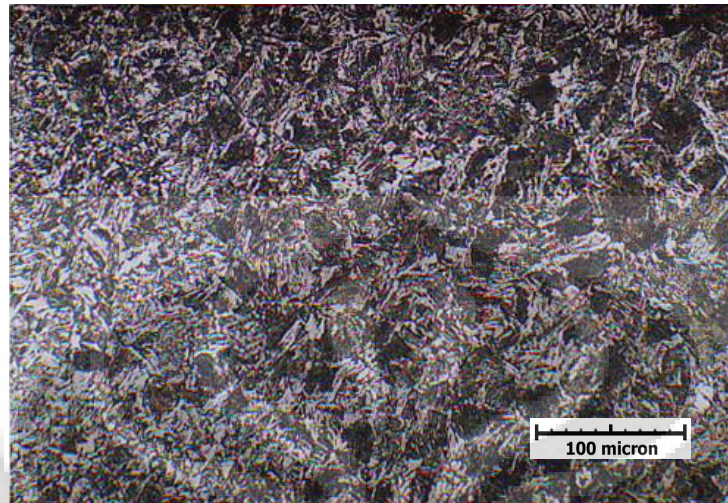




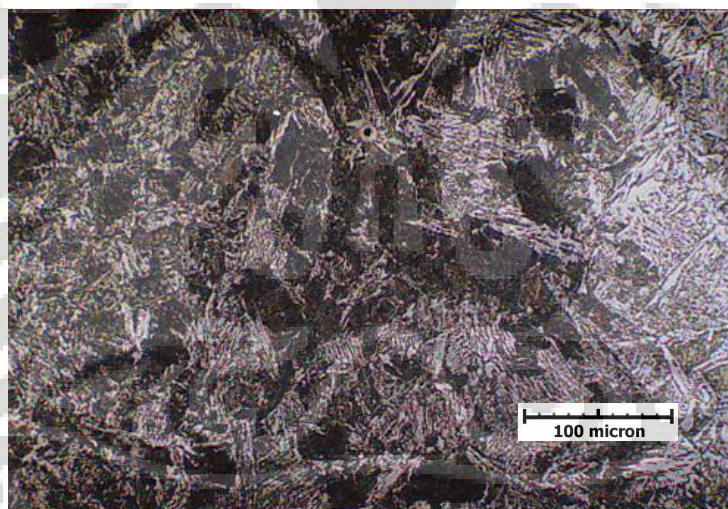
Gambar 4.12 Foto mikrostruktur kampuh pelat las 10 mm posisi 1G (datar), (perbesaran 200 x) etsa nital 5 %



Gambar 4.13 Foto mikrostruktur kampuh pelat las 16 mm posisi 1G (datar), (perbesaran 200 x) etsa nital 5 %



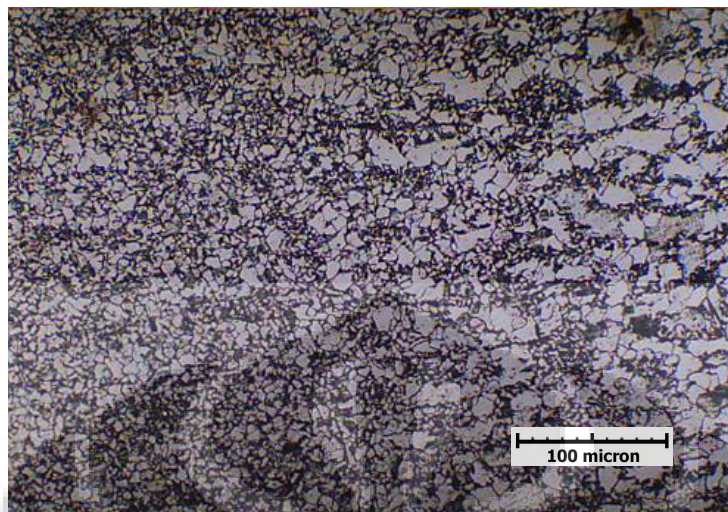
(a)



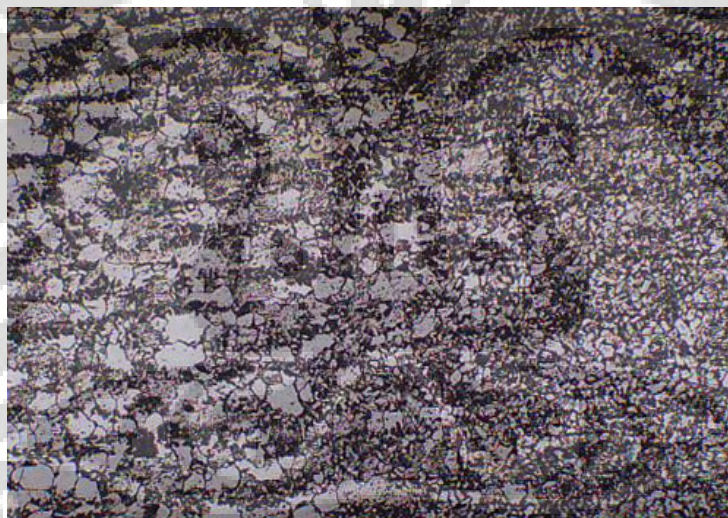
(b)

Gambar 4.14 Foto mikrostruktur daerah HAZ kasar las pelat 16 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (a) HAZ kasar sisi kiri dan (b) HAZ kasar sisi kanan



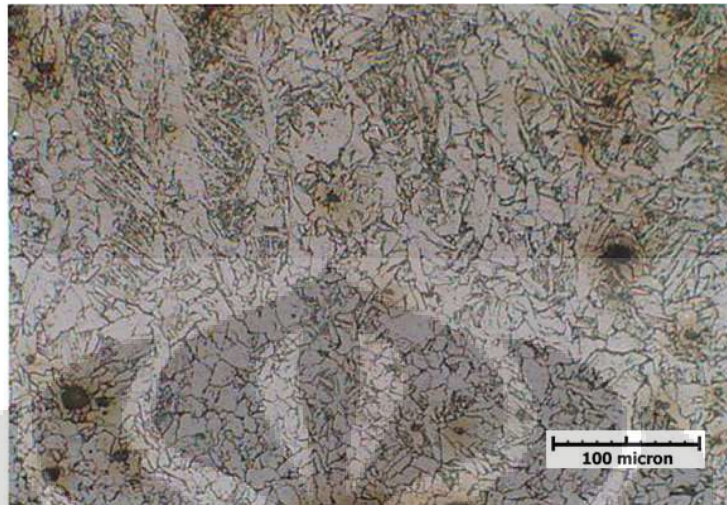


(a)



(b)

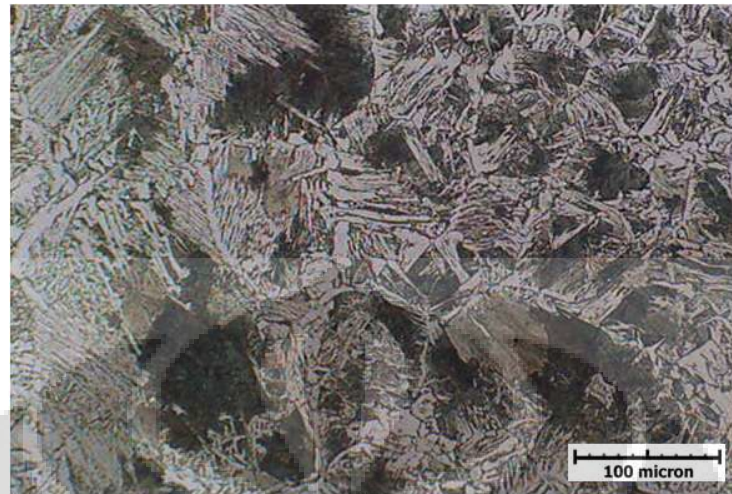
Gambar 4.15 Foto mikrostruktur daerah HAZ halus las pelat 16 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (a) HAZ halus sisi kiri dan (b) HAZ halus sisi kanan



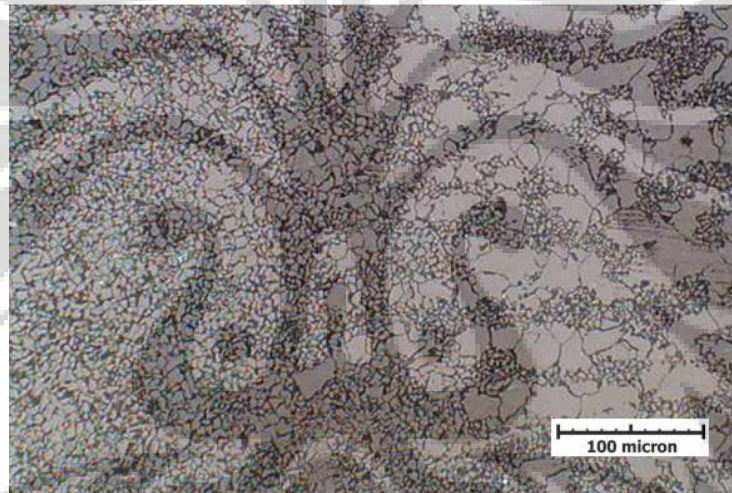
Gambar 4.16 Foto mikrostruktur kampuh pelat 20 mm posisi 1G (datar), (perbesaran 200 x) etsa nital 5 %





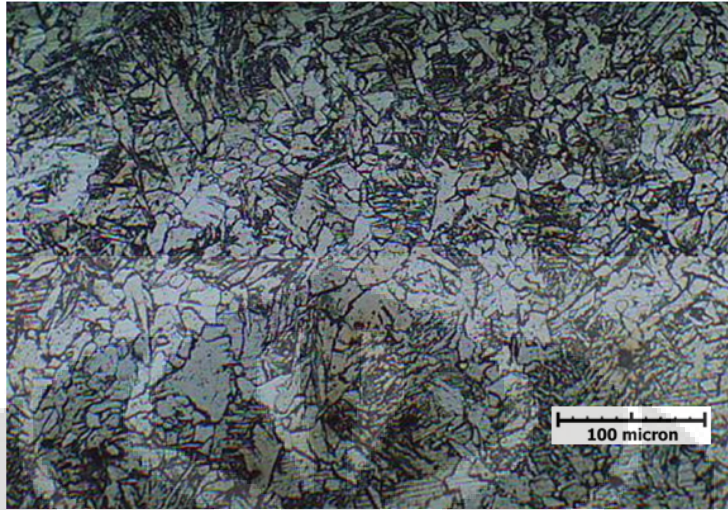


(a)



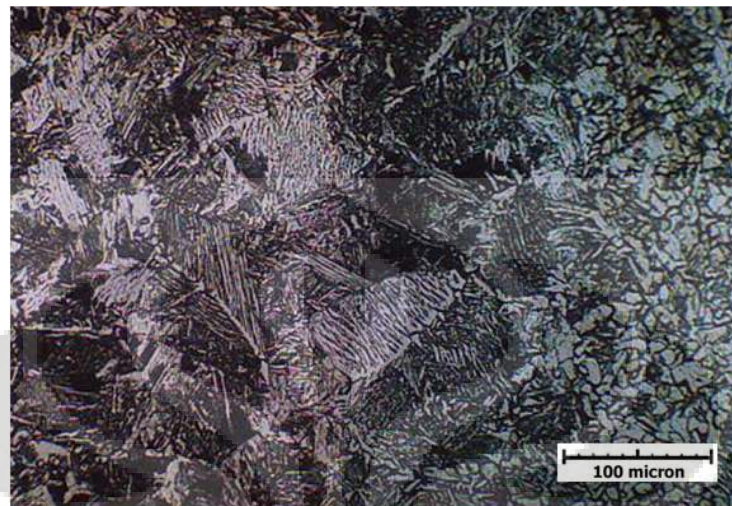
(b)

Gambar 4.17 Foto mikrostruktur daerah HAZ kasar (a) dan HAZ halus (b) pelat 20 mm posisi datar 1G, perbesaran 200 x etsa nital 5 %

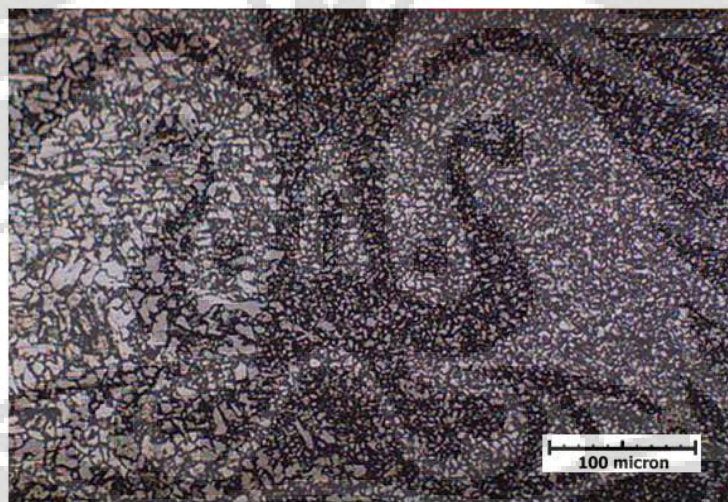


Gambar 4.18 Foto mikrostruktur kampus las pelat 10 mm posisi 3G (datar),  
(perbesaran 200 x) etsa nital 5 %



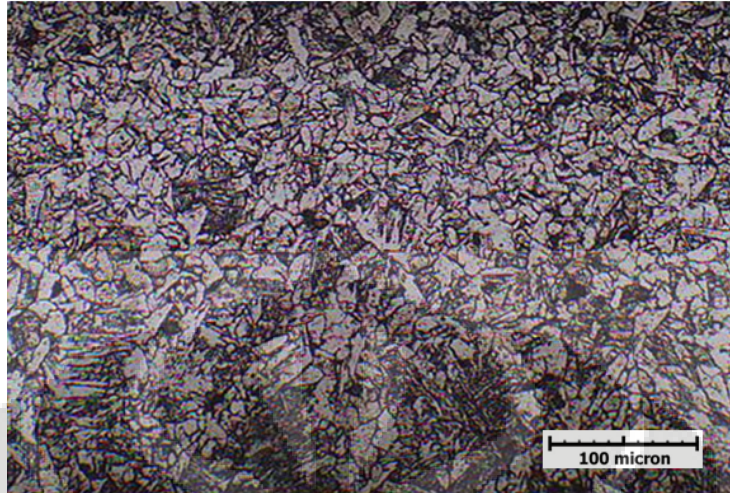


(a)

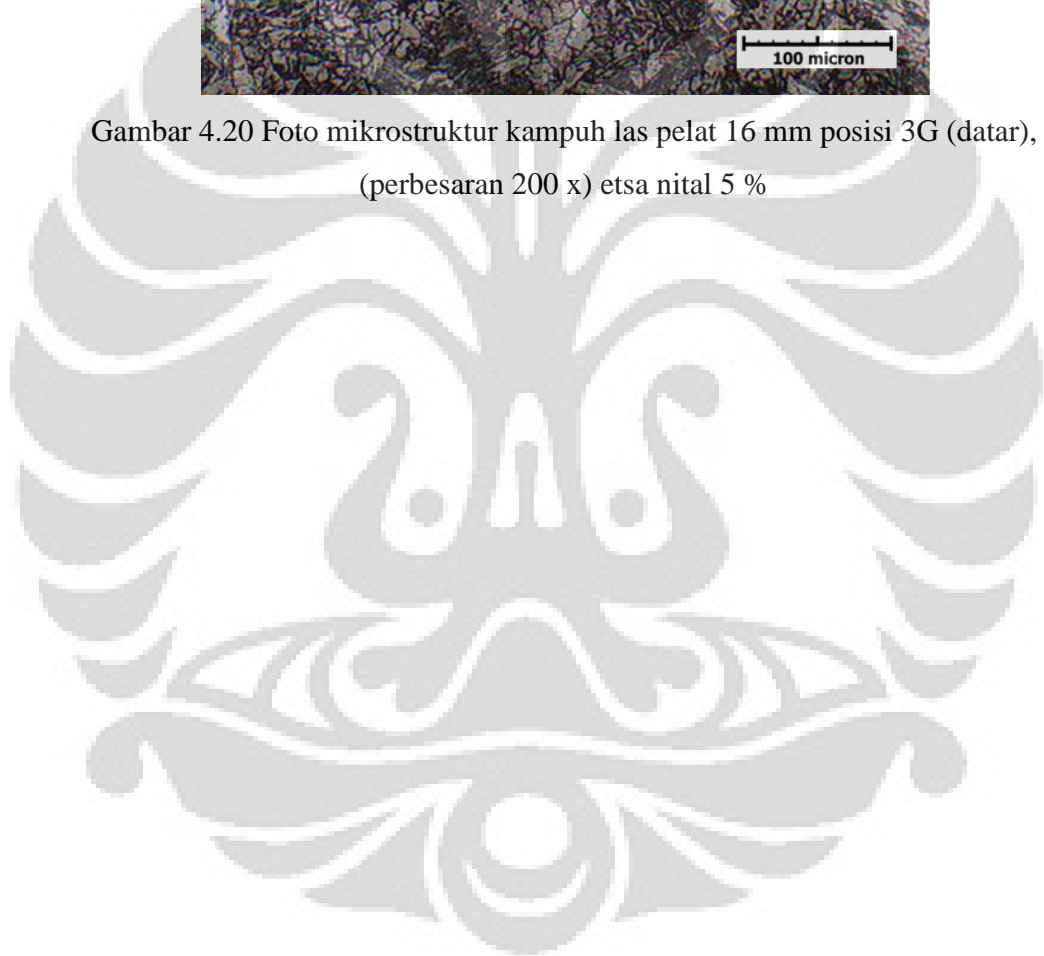


(b)

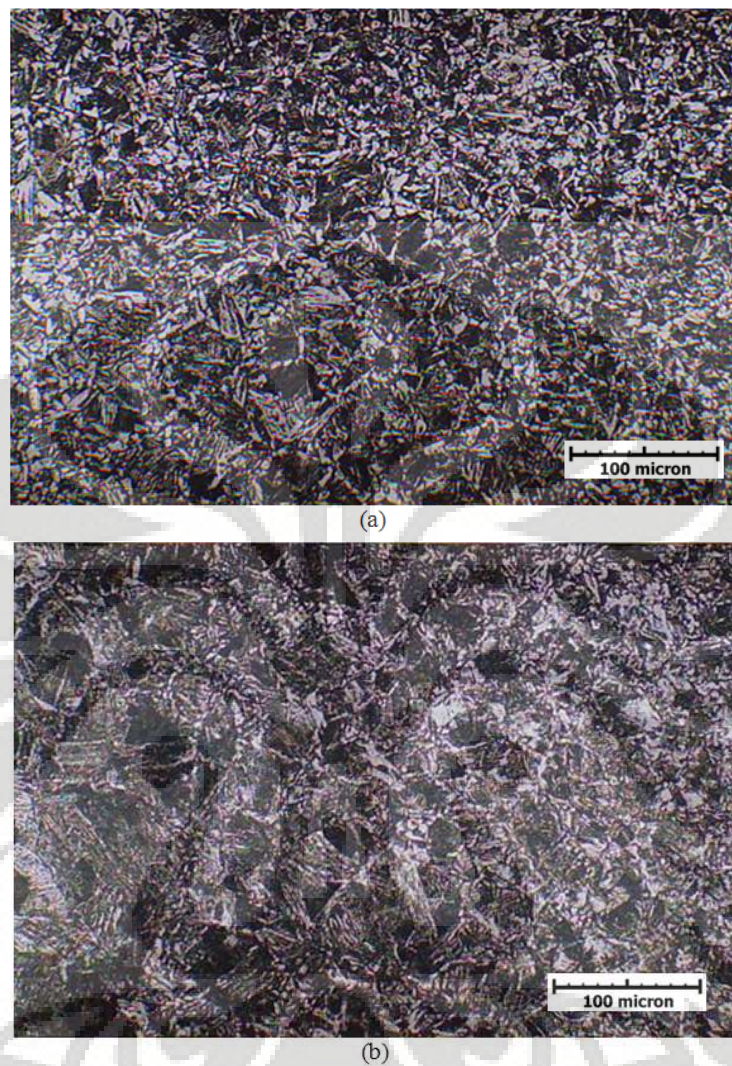
Gambar 4.19 Foto mikrostruktur daerah HAZ kasar (a) dan HAZ halus (b) pelat 10 mm posisi datar 3G, perbesaran 200 x etsa nital 5 %



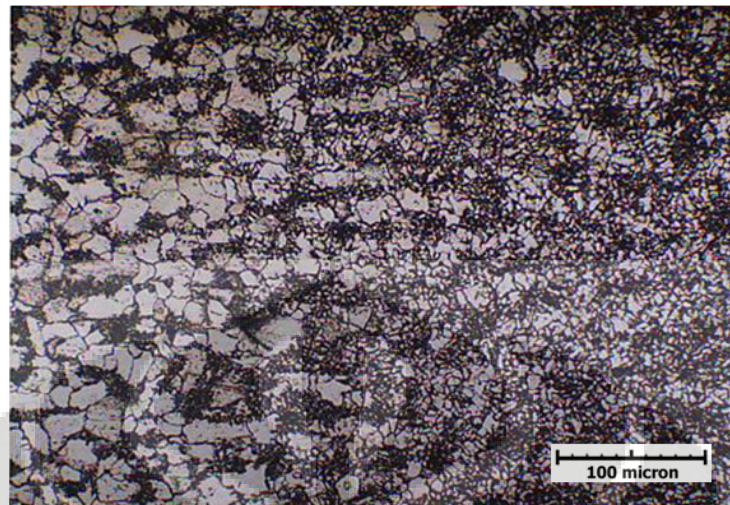
Gambar 4.20 Foto mikrostruktur kampuh las pelat 16 mm posisi 3G (datar),  
(perbesaran 200 x) etsa nital 5 %



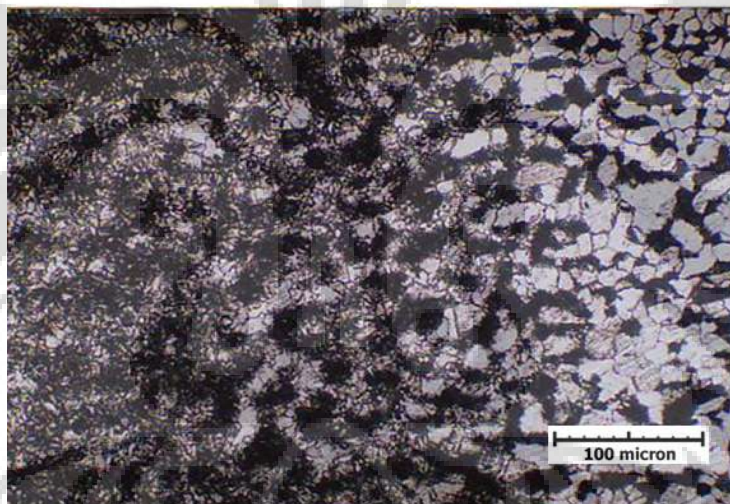




Gambar 4.21 Foto mikrostruktur daerah HAZ kasar las pelat 16 mm posisi tegak 3G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (a) HAZ kasar sisi kiri dan (b) HAZ kasar sisi kanan



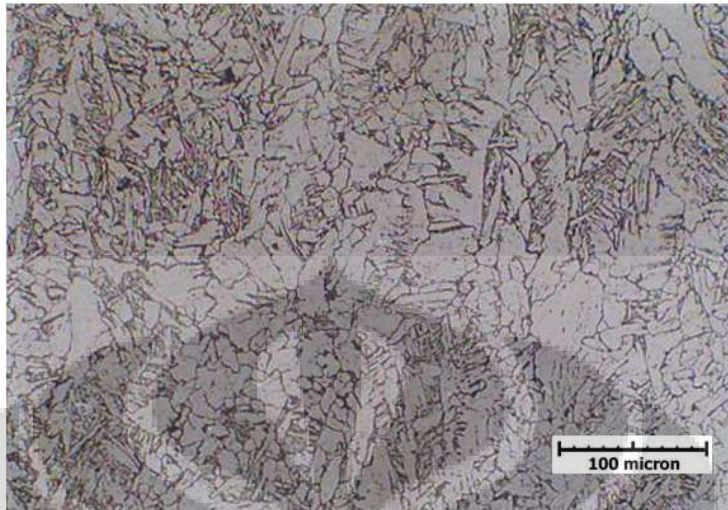
(a)



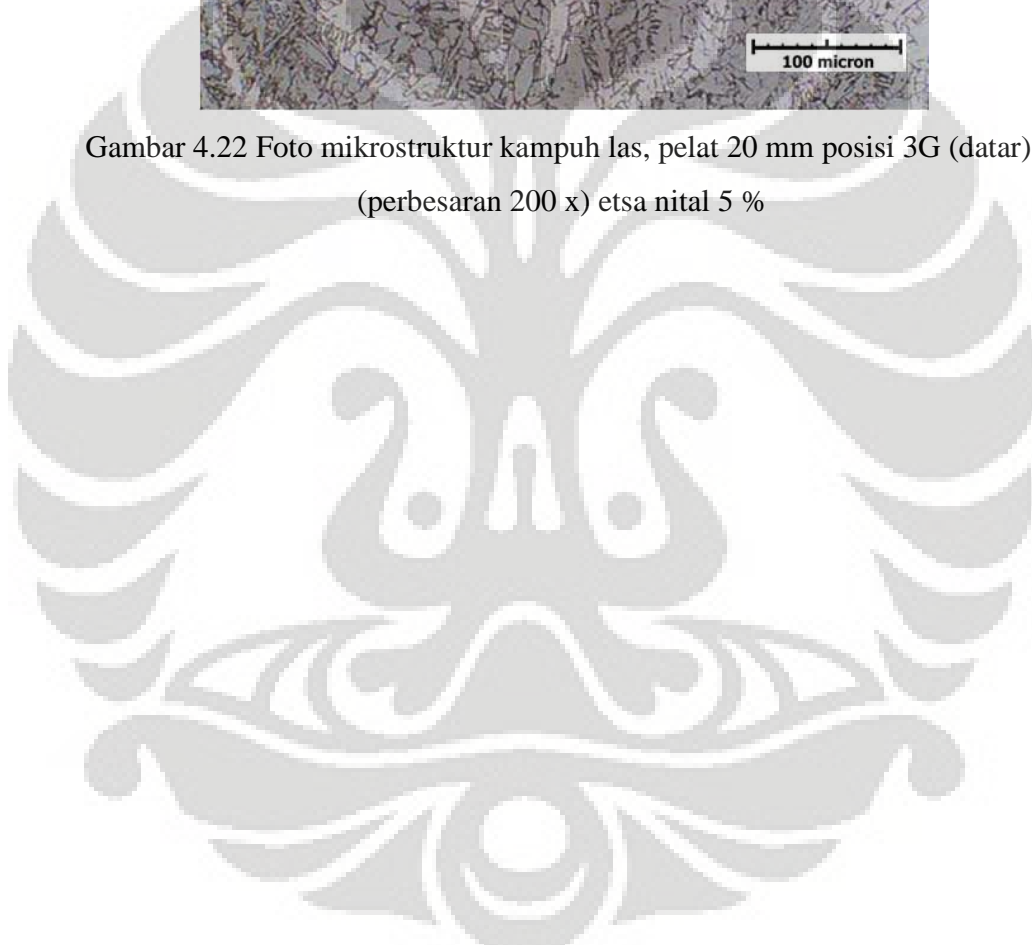
(b)

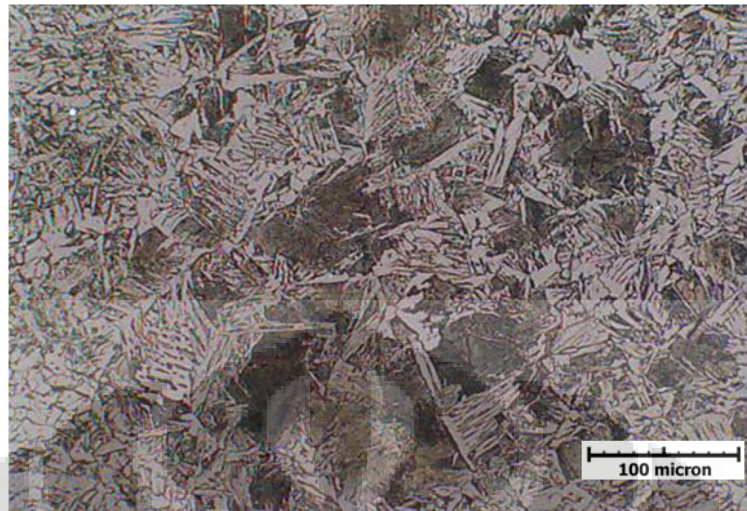
Gambar 4.22 Foto mikrostruktur daerah HAZ halus las pelat 16 mm posisi tegak 3G, perbesaran 200 x etsa nital 5 % (a) HAZ halus sisi kiri (b) HAZ halus sisi kanan



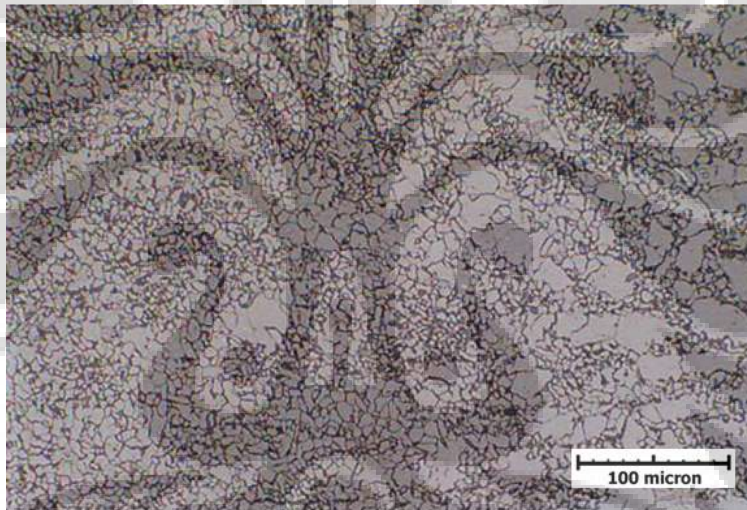


Gambar 4.22 Foto mikrostruktur kampuh las, pelat 20 mm posisi 3G (datar),  
(perbesaran 200 x) etsa nital 5 %





(a)



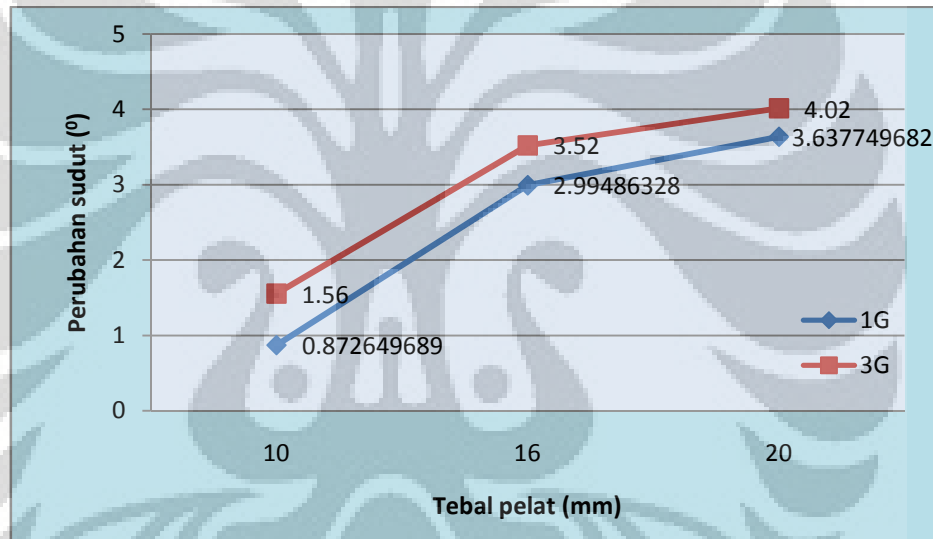
(b)

Gambar 4.23 Foto mikrostruktur daerah (a) HAZ kasar (b) HAZ halus

## BAB V PEMBAHASAN

### 5.1 Analisis nilai distorsi terhadap posisi pengelasan

Dalam pengelasan selalu mengalami ketidaksempurnaan diantaranya distorsi atau perubahan bentuk yang dikarenakan adanya ketidakseragaman temperatur saat pengelasan. Adapun salah bentuknya yaitu distorsi sudut atau perubahan bentuk. Pada pengelasan pelat, selalu ditemukan distorsi akibat pengelasan. Pada percobaan penelitian yang dilakukan yaitu menyambungkan dua belah pelat dengan model sambungan *single V*.



Gambar 5.1 Hubungan antara posisi pengelasan terhadap perubahan sudut

Percobaan yang dilakukan dengan proses GMAW (*gas metal arc welding*) dengan menggunakan 90% gas CO<sub>2</sub> sebagai gas pelindung. Dengan posisi pengelasan yang digunakan sesuai dengan AWS yaitu posisi tegak 3G (tegak) dan posisi datar 1G (datar). Dari data yang diperoleh yang ditampilkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 diperoleh pengelasan pelat dengan posisi 3G (posisi tegak) menghasilkan nilai distorsi yang lebih besar dibandingkan pengelasan dengan posisi 1G (posisi *flat* atau datar).

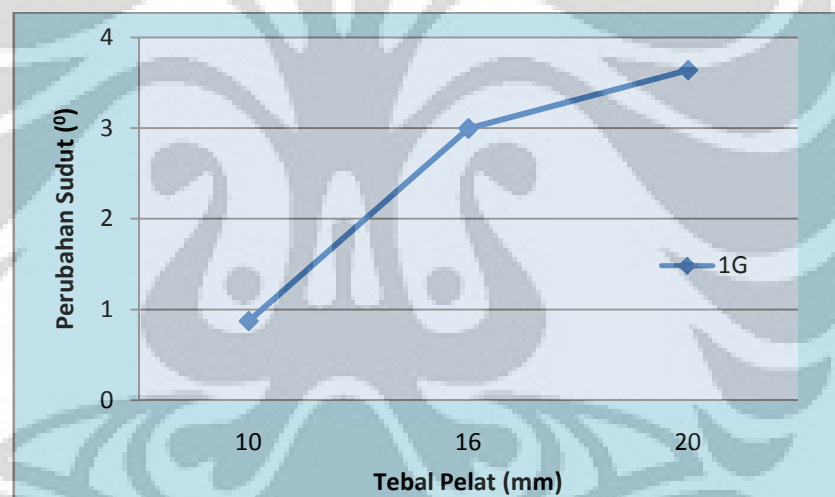
Pelat pada ketebalan 10 mm dengan posisi 3G nilai distorsi *angular* sebesar  $1,55^{\circ}$  terhadap sumbu datar. Lebih tinggi beberapa milimeter dari posisi 1G yang mencapai  $0,87^{\circ}$  terhadap sumbu datar.

Posisi pengelasan dalam hal ini juga mempengaruhi tingkat kecepatan dalam pengelasan, dimana posisi vertikal memiliki kecepatan pengelasan yang lebih lambat dibandingkan posisi datar. Tingkat kecepatan mempengaruhi jumlah masukan panas (*heat input*). Dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 terdapat perbedaan kecepatan pengelasan. Pada pelat 10 mm posisi datar memiliki kecepatan las sebesar 121 mm/min sedangkan pada posisi tegak pada pelat dengan ketebalan 10 mm sebesar 104 mm/min. Adapun masukan panas pada pelat 10 mm untuk posisi datar sebesar 3,8 kJ/mm sedangkan pada pelat 10 mm untuk posisi tegak yaitu 4,9 kJ/mm. Hal ini terlihat jelas bahwa semakin lama waktu kecepatan deposit logam las kedalam logam dasar semakin banyak pula masukan panas yang dibutuhkan, nilai distorsi pun semakin meningkat.

Distorsi *angular* (sudut) pada pengelasan sambungan *single V* sangat rentan. Jumlah deposit logam dari satu sisi dengan posisi tegak lebih banyak dibandingkan jumlah deposit logam las dengan posisi pengelasan datar yang dilakukan per *pass*. Banyaknya deposit logam las dapat dilihat berdasarkan jumlah *pass* pada pengelasan. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4, jumlah *pass* posisi tegak lebih sedikit dibandingkan jumlah *pass* dengan posisi datar. Jumlah *pass* ini juga berkaitan erat dengan kecepatan pengelasan.

## 5.2 Analisis nilai distorsi terhadap ketebalan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan nilai distorsi bertambah dengan bertambahnya ketebalan pelat. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.2 ketebalan pelat vs nilai distorsi pada posisi 1G. Terdapat faktor lain yang mempengaruhi peningkatan nilai tersebut. Rigiditas merupakan tingkat kekakuan. Sejalan dengan bertambahnya nilai rigiditas dari material maka nilai distorsi juga semakin meningkat. Akan tetapi nilai perubahan sudut pada material tersebut bergantung pada ketebalan serta jumlah atau banyaknya elektroda yang dikonsumsi per satuan panjang. Pada suatu titik tertentu perubahan sudut pada distorsi *angular* tersebut akan mencapai titik maksimum dan kemudian mengalami penurunan setelahnya<sup>[10]</sup>.

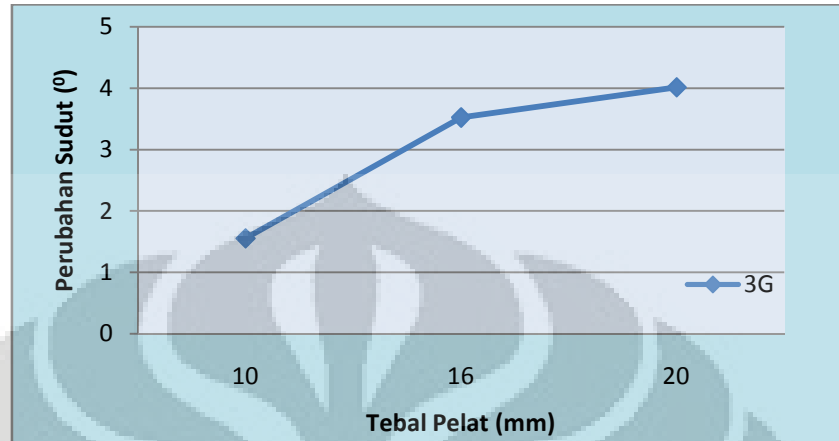


Gambar 5.2 Hubungan antara tebal pelat dengan perubahan sudut dengan posisi pengelasan 1G (Datar)

Berdasarkan hasil pengelasan yang dilakukan nilai perubahan sudut pada pelat 20 mm pada posisi tegak (3G) yaitu  $4,02^{\circ}$  terhadap sumbu datar seperti terlihat pada Gambar 5.3. Sedangkan simpangan terukur untuk pelat 16 mm dan 10 mm berturut-turut adalah  $3,52^{\circ}$  dan  $1,56^{\circ}$ . Hal ini terlihat jelas jika dikaitkan dengan nilai rigiditas yang telah dijelaskan menurut Hirai dan Nakamura<sup>[10]</sup>



dimana pelat yang paling tebal yaitu pelat 20 mm memiliki tingkat rigiditas yang paling tinggi sehingga nilai simpangan distorsinya pun besar.



Gambar 5.3 Hubungan antara tebal pelat terhadap perubahan sudut posisi pengelasan 3G (Tegak)

Ketebalan pelat sangat mempengaruhi distribusi panas pada material khususnya pada bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu baja karbon rendah. Sedangkan dengan bertambahnya ketebalan pelat maka meningkat pula jumlah deposit logam las yang dibutuhkan. Dengan jumlah *pass* yang semakin banyak maka *heat input* yang digunakan semakin besar karena tinggi arus yang digunakan serta *voltage* (tegangan) yang sesuai. Semakin tinggi nilai *heat input* yang digunakan maka panas yang dihasilkan semakin tinggi sehingga material bahan yang digunakan harus mampu mentransfer (menyebarkan) panas yang diterima pada kampuh las. Pada bahan dengan ketebalan 20 mm memiliki waktu yang cukup cepat dalam hal kecepatan pendinginan karena transfer panas yang lambat. Dibandingkan sampel dengan ketebalan 10 mm yang membutuhkan waktu kecepatan pendinginan yang lebih lama. Hal ini mempengaruhi tingkatan perbedaan temperatur di seluruh bagian bahan yang dilakukan pengelasan. Akibatnya nilai distorsi yang dihasilkan material memiliki ketebalan paling besar mengalami penyimpangan yang paling besar yaitu pelat 20 mm dibanding pelat yang relatif lebih tipis yaitu pada ketebalan 10 mm. Adapun kecepatan pendinginan dan nilai ketebalan bahan adalah berbanding lurus. Dengan

bertambahnya ketebalan pelat maka kecepatan pendinginan meningkat. Sebaliknya dengan bahan yang tipis maka kecepatan pendinginan semakin lambat.

$$R = 2\pi k\rho C\left(\frac{h}{H}\right)^2 (T_c - T_o)^3 \quad (5.1)$$

dimana R; tingkat pendinginan, k; konduktivitas termal,  $\rho$ ; berat jenis material, C; *specific heat*, h; tebal pelat, H; masukan panas,  $T_o$ ; temperatur awal pelat,  $T_c$ ; temperatur saat tingkat pendinginan diukur. Dari persamaan tersebut dapat diamati tingkat pendinginan dan masukan panas serta tebal pelat dapat mempengaruhi nilai distorsi yang dihasilkan.

Jenis sambungan juga mempengaruhi nilai distorsi. Pada jenis sambungan *butt* dengan tipe *groove V* akan menghasilkan nilai distorsi yang besar<sup>[1]</sup>. Berdasarkan dari ukuran dari elektroda yang digunakan maka ukuran elektroda yang paling besar menghasilkan nilai distorsi yang besar pula.

Dengan nilai masukan panas yang berbeda-beda maka kecenderungan nilai distorsi yang dihasilkan juga semakin besar. Nilai distorsi yang dihasilkan setiap *pass* pengelasan juga berbeda-beda. Nilai distorsi juga bergantung pada *root gap* (*pass* pertama) semakin meningkat jumlah deposit logam las pada saat *pass* pertama maka penyusutan meningkat pula<sup>[1]</sup>. Pada percobaan yang dilakukan ketika pengelasan *root* (*pass* pertama), nilai masukan panas pada pelat ketebalan 20 mm pada posisi 3G memiliki nilai masukan panas yang lebih besar yaitu 2.02 kJ/mm dibandingkan masukan panas pada pelat 10 mm yaitu 1.52 kJ/mm. Sehingga nilai distorsi pelat 20 mm untuk posisi pengelasan vertikal memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan pelat 10 mm.

### 5.3 Analisis uji kekerasan dan mikrostruktur

#### 5.3.1 Analisa mikrostruktur daerah-daerah logam las

Secara umum daerah logam las, daerah HAZ serta logam dasar pada pengamatan yang dilakukan menunjukkan mikrostruktur yang sama pada daerah-daerah tersebut. Komposisi fasa yang diperoleh pada daerah las bergantung pada kecepatan pendinginan dan ketebalan pelat.

Pada logam dasar terlihat perbedaan fasa ferit pada tiap-tiap ketebalan. Dapat dilihat pada Gambar 4.6, 4.7 dan 4.8. Pelat 10 mm memiliki komposisi ferit yang cukup banyak dengan bentuk butir yang agak memanjang. Sedangkan untuk pelat 16 mm memiliki bentuk panjang butir yang lebih pendek dibandingkan pelat 10 mm. kemudian untuk pelat 20 mm memiliki bentuk butir yang agak sedikit bulat meski terdapat butir yang memanjang.

Pada kumpuh las (*weldpool*) merupakan hasil pembekuan dari elektroda dimana elektroda yang digunakan merupakan jenis baja karbon rendah dengan komposisi C 0.09% Wt. Secara keseluruhan pada setiap ketebalan pelat pada kumpuh las yang diamati pada Foto mikrostruktur terdiri atas *acicular ferrite* dan fasa *ferrite-pearlite* dengan struktur *widmanstatten* yang sedikit. Pada Gambar 4.12, 4.13, 4.16, 4.22 kumpuh las dapat diamati mikrostruktur dari kumpuh las dengan struktur *ferrite-pearlite* dengan struktur *widmanstatten* yang sangat sedikit. Berbeda pada Gambar 4.18 dan 4.20 terlihat *acicular ferrite-pearlite* dengan komposisi struktur *widmanstatten* yang cukup banyak. Gambar struktur *ferrite-pearlite* dengan orientasi struktur *widmanstatten* terlihat jelas.

Sedangkan pada daerah yang terkena pengaruh langsung dengan logam las yaitu HAZ. Daerah HAZ ini terbagi 2 yaitu HAZ kasar dan rekristalisasi. HAZ kasar merupakan daerah logam las yang menerima temperatur lasan yang tinggi serta mengalami pembekuan paling pertama dan berbatasan langsung dengan logam dasar. Pada daerah ini logam las mengalami pembekuan dari arah logam dasar menuju ke tengah kumpuh las.

Pemanasan berlebih pada batas antara deposit las dan logam dasar mengakibatkan batas tersebut mencapai temperatur A3 pada diagram Fe<sub>3</sub>C yaitu pada kisaran 723<sup>0</sup>C, dimana pada temperatur ini dapat mengakibatkan



transformasi dari *ferrite-austenite* menjadi struktur *ferrite-pearlite* dengan struktur *widmanstatten* serta rekristalisasi dan pertumbuhan butir akibat adanya pengaruh panas dari kampuh las. Komposisi struktur tersebut ditentukan oleh kecepatan pendinginan dan komposisi karbon pada logam dasar dan logam las. Pada Gambar 4.10, 4.14, 4.21 dapat dilihat HAZ kasar untuk dua sisi dari sampel uji yaitu (a) untuk sisi kiri dan (b) untuk sisi kanan serta pada Gambar 4.17 (a), 4.19 (a) dan 4.22 (a). Perbedaan dari gambar-gambar tersebut hanya terletak pada komposisi *acicular ferrite* dan struktur *widmanstatten*. Terlihat bahwa pelat 20 mm memiliki komposisi *widmanstatten* yang lebih banyak dibandingkan dengan pelat 16 mm dan 10 mm.

Sedangkan pada daerah lainnya yaitu HAZ dengan butir yang lebih halus dapat dilihat adalah struktur *ferrite-pearlite*. Pada Gambar 4.11, 4.15, 4.22 serta pada Gambar 4.17 (b), 4.19 (b) dan 4.22 (b). dapat diamati bahwa terdapat pertumbuhan butir.

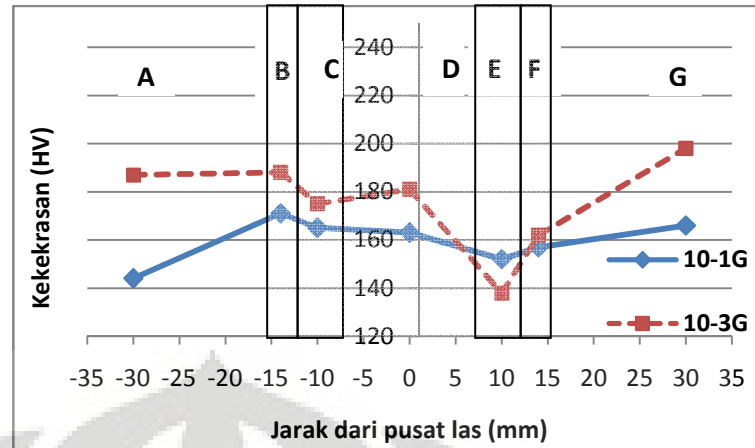
Sedangkan untuk foto makrostruktur dapat diamati pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6. dapat diamati perbedaan setiap daerah las.

### 5.3.2 Analisa nilai kekerasan pada daerah logam las dan HAZ serta logam dasar

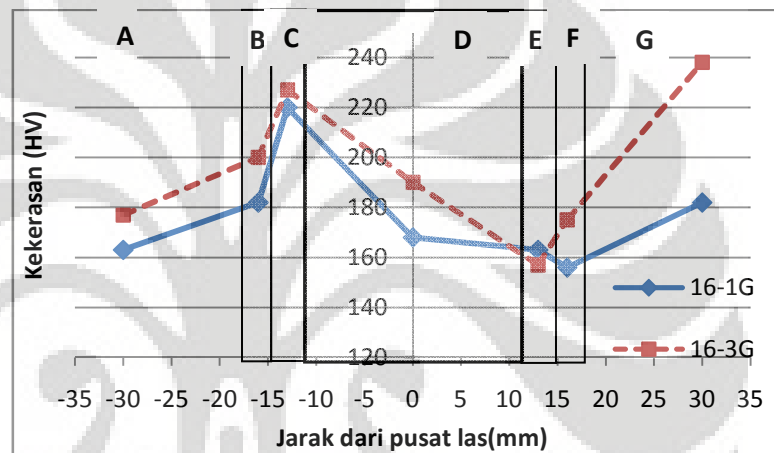
Telah dilakukan pengujian nilai kekerasan pada daerah logam las yaitu pada daerah kampuh las (*weldpool*), HAZ kasar (*coarse grain*), HAZ halus (*fine grain*), serta *base metal* (logam dasar). Hasil pengujian dibawah ini memperlihatkan perbandingan nilai kekerasan untuk setiap daerah las kemudian diperbandingkan dengan posisi pengelasan yaitu posisi tegak (3G) dan posisi datar (1G). Perbandingan pada Gambar 5.4 merupakan perbandingan untuk setiap nilai ketebalan yaitu 10 mm, 16 mm dan 20 mm. Sisi sebelah kiri dari kampuh las pada Gambar 5.4 merupakan bagian yang dijepit (*clamping*).

Keterangan :

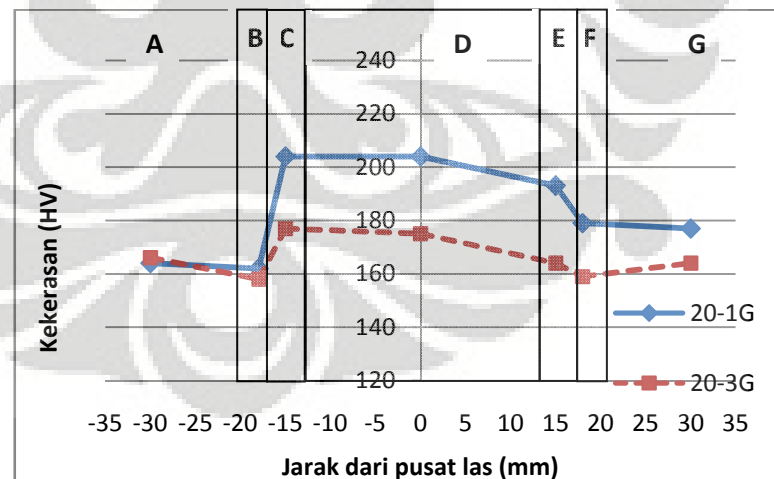
- (A) Logam dasar sisi kiri
- (B) HAZ halus sisi kiri
- (C) HAZ kasar sisi kiri
- (D) Kampuh las
- (E) HAZ kasar sisi kanan
- (F) HAZ halus sisi kanan
- (G) Logam dasar sisi



(a)



(b)



(c)

Gambar 5.4 nilai kekerasan pada daerah-daerah lasan untuk masing-masing ketebalan dengan posisi las tegak dan datar (a) 10 mm, (b) 16 mm, (c) 20 mm

Berdasarkan Gambar 5.4 dapat diamati bahwa bagian yang dijepit (*clamping*) memiliki nilai kekerasan yang lebih besar dibandingkan yang tidak di jepit. Sisi sebelah kiri dari kampuh las merupakan bagian yang dijepit. Sedangkan untuk setiap daerah lasan dapat diamati nilai kekerasan pada daerah-daerah tersebut. Daerah HAZ kasar merupakan daerah dengan nilai kekerasan yang terbesar, kemudian *weldpool* (kampuh las) sedangkan daerah rekristalisasi HAZ halus (*fine grain*) memiliki nilai kekerasan yang lebih kecil. Nilai kekerasan yang kecil ini dipengaruhi oleh butir-butir yang kecil. Sedangkan pada daerah HAZ kasar (*coarse grain*) memiliki struktur *acicular ferrite* yang lancip-lancip. Struktur tersebut mempengaruhi nilai kekerasan. Begitu pula pada struktur *widmanstatten* yang mempengaruhi nilai kekerasan pada sampel uji.

Nilai kekerasan pada *base metal* (logam dasar) seharusnya memiliki nilai yang sama untuk setiap ketebalan. Pada pelat 16 mm pada posisi tegak mencapai 238 VHN sedangkan pada pelat 10 mm mencapai 198 VHN. Nilai pada pengujian yang dilakukan memperoleh hasil yang berbeda-beda. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh kesalahan saat pengambilan titik uji. Adapun beban indentor yang digunakan pun adalah 300 gf yang dapat mempengaruhi keakuratan pengambilan jejak uji. Nilai beban indentor yang kecil dapat menghasilkan jejak yang kecil pada fasa sehingga dapat menjejaki satu butir. Oleh karenanya dapat mengakibatkan ketidak akuratan hasil uji.

Pada Gambar 5.4 dapat diamati pula perbandingan nilai kekerasan untuk dua macam posisi pengelasan yaitu pada posisi datar (1G) dan posisi tegak (3G). Berdasarkan dari ketiga grafik tersebut diamati nilai kekerasan setiap daerah yang dilakukan dengan posisi tegak (3G) memiliki nilai kekerasan yang lebih besar dibandingkan posisi datar (1G). Hal tersebut jika dikaitkan pada hasil pengukuran pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 adalah dikarenakan nilai masukan panas posisi tegak lebih besar dibandingkan posisi datar. Masukan panas tersebut dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan dimana posisi tegak kecepatan pengelasan lebih lambat dibandingkan posisi datar. Dengan masukan panas yang besar maka logam cair

yang masuk pada kampuh akan semakin mudah dan mempengaruhi logam dasar saat berinteraksi. Pengaruh masukan panas tersebut juga mempengaruhi struktur mikro pada logam las. Nilai kekerasan pada pelat 10 mm untuk sisi kiri berturut-turut dari HAZ kasar, HAZ halus yaitu 175 dan 188 VHN sedangkan untuk sisi kanan yaitu 138 dan 162 VHN. Kemudian untuk kampuh las yaitu 181 VHN, untuk logam dasar (kiri) 187 VHN dan 198 VHN (kanan). Sedangkan untuk posisi datar secara umum memiliki nilai VHN yang lebih kecil. Demikian halnya pada pelat 16 mm dimana pada posisi tegak pada HAZ kasar, HAZ halus (bagian kiri) yaitu 227 dan 200 VHN sedangkan (bagian kanan) yaitu 163 dan 175 VHN kemudian untuk kampuh las 190 VHN, untuk logam dasar 177 dan 238 VHN untuk sisi kiri dan kanan. Sedangkan untuk posisi datar memiliki nilai keekrasan yang lebih kecil dibandingkan sisi posisi tegak. Berbeda halnya, pada pelat 20 mm. Hasil pengukuran untuk posisi datar lebih besar dibandingkan posisi tegak pada HAZ kasar, HAZ halus bagian (kiri) yaitu 204 dan 162 VHN dan bagian (kanan) 193 dan 179 VHN. Untuk kampuh las 204 VHN. Sedangkan pada logam dasar (kiri) 166 VHN dan 164 VHN (kanan).

Pada penelitian ini juga dilakukan pengamatan pada mikrostruktur dan makrostruktur serta pengukuran nilai kekerasan pada bahan. Berikut Tabel 4.3, dapat dilihat dari data tersebut bahwa nilai kekerasan yang ditunjukkan pada tabel bagian sampel uji yang tidak ditahan (*restraint*) memiliki nilai kekerasan yang lebih kecil dalam hal ini pada pelat 10 mm posisi datar bagian yang ditahan adalah sebelah kanan sampel uji.

#### **5.4 Analisis hasil uji tegangan sisa**

Tegangan sisa yang terjadi pada daerah lasan merupakan hasil regangan internal akibat adanya perlakuan termal. Adanya masukan panas pada benda uji dalam rentan waktu tertentu menyebabkan adanya deformasi dan perubahan mikrostruktur. Interaksi dari hal-hal tersebut menghasilkan tegangan sisa. Tegangan sisa pada benda uji berbentuk pelat dapat diukur berdasarkan tiga arah sumbu antara lain tegangan pada arah longitudinal, tegangan arah transversal dan tegangan arah normal.

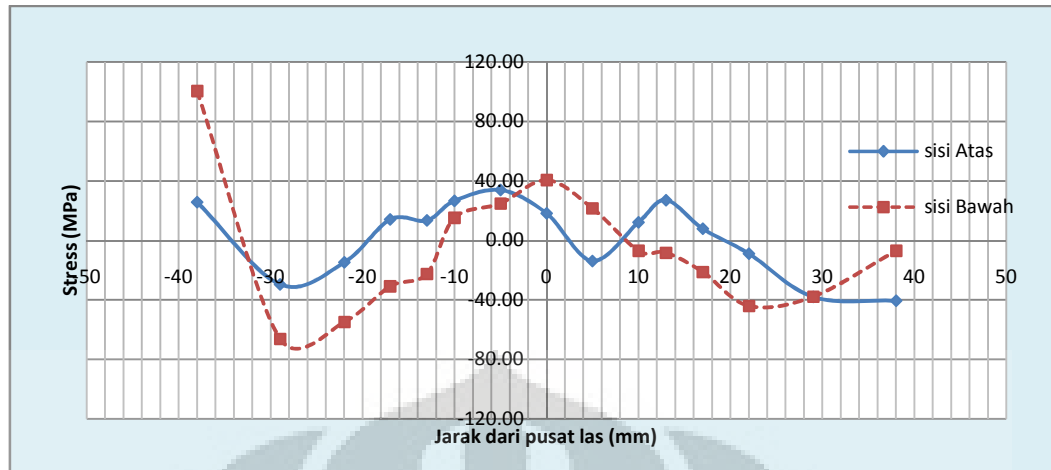
Tegangan arah longitudinal yaitu tegangan yang terjadi pada daerah lasan dimana tegangan yang terjadi searah dengan arah lasan (*parallel*). Tegangan arah transversal yaitu tegangan yang terjadi pada daerah lasan dimana arah tegangan tegak lurus (memotong) terhadap arah lasan. Sedangkan tegangan arah normal yaitu tegangan yang diukur pada arah normal dari longitudinal dan transversal.

Hasil pengukuran dapat diamati pada gambar berikut. Gambar 5.5 menunjukkan tegangan sisa pada arah longitudinal. Gambar 5.5 merupakan tegangan sisa pada posisi pengelasan datar (1G). Pada grafik tersebut dibandingkan antara daerah bagian atas dan bagian bawah. Grafik yang diamati bahwa pada posisi 0 mm dari pusat las kurva berada pada posisi puncak dalam hal ini mengalami tegangan tarik (*tensile stress*) untuk kedua posisi pengelasan datar dan tegak. Pada posisi datar (1G) nilai tegangan sisa mencapai 40,54 MPa untuk sisi bawah sedangkan pada posisi datar sisi atas 33,88 MPa yang berjarak -5 mm dari pusat lasan. Kemudian semakin menjauh dari pusat las nilai tegangan semakin menurun. Pada jarak -10 mm dan 10 mm dari pusat las nilai tegangan sisa pada sisi atas yaitu 26,25 MPa dan 12,17 MPa. Sedangkan untuk sisi bawah, nilai tegangan pada jarak -10 mm dan 10 mm yaitu 15,14 dan -7,1 MPa. Kecenderungan dari perbandingan grafik tersebut masih terlihat sama. Perbedaan terlihat pada nilai tegangan sisa yang hadir pada sampel uji untuk dua posisi tersebut. Terlihat bahwa tegangan tarik pada sisi bagian bawah lebih besar dibandingkan bagian atas. Kemudian seterusnya menjauhi dari pusat lasan nilai tegangan sisa menjadi negatif yang berarti bahwa pada daerah tersebut mengalami tegangan tekan (*compress*). Tegangan tekan pada posisi datar (1G) sisi bawah ditunjukkan pada Gambar 5.5 sebelah kiri berupa menurun. Tegangan tekan terjadi di atas -13 - (-33) mm dan 13 - 38 mm dari pusat lasan. Sedangkan pada sisi atas pada jarak positif terlihat kurva mengalami optimal (puncak) yang menunjukkan tegangan tarik. Tegangan tekan terjadi pada jarak 22 mm dari pusat las.

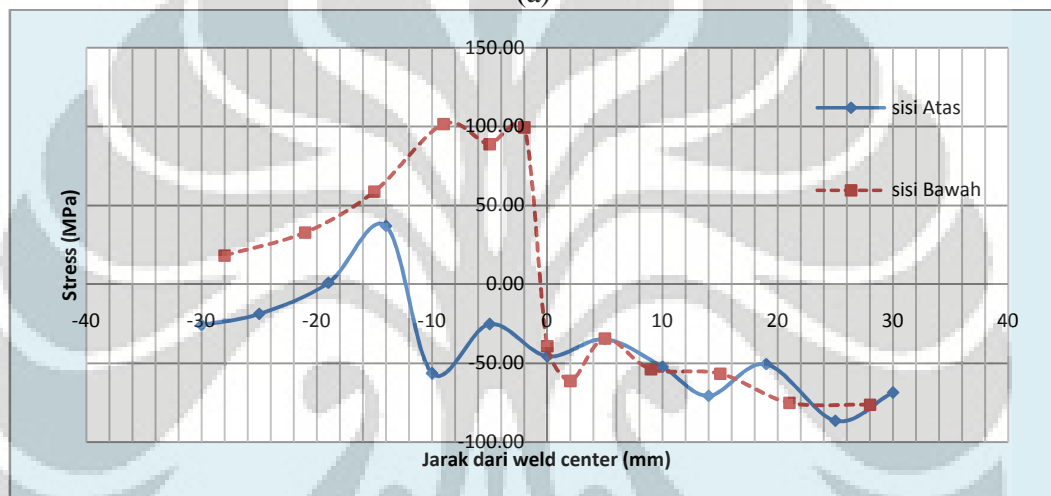
Untuk sisi atas pada jarak negatif yaitu dari -20 - (-34) mm menunjukkan kurva tegangan tekan. Kemudian diatas jarak -36 mm tegangan sisa mendekati nol dan jarak positif tidak terlihat dari grafik tegangan sisa mendekati nol. Jika

dibanding pada kedua sisi tersebut maka nilai tegangan sisa pada sisi bawah lebih besar dibandingkan sisi atas. Kemudian nilai tegangan sisa pada sisi sebelah kiri memiliki nilai yang lebih besar dari pada sebelah kanan dari pusat las. Hal tersebut dikarenakan sisi sebelah kiri pusat las merupakan bagian yang di jepit (*clamping*). Untuk melihat kecenderungan Gambar 5.5 dapat dilihat pada lampiran. Pada Lampiran 4 dapat diamati kecenderungan grafik tersebut.

Gambar 5.5 (b) merupakan hasil pengukuran tegangan sisa arah longitudinal dengan posisi tegak (3G). Pada sisi atas terlihat grafik memiliki beberapa kurva puncak dan menurun. Pada jarak 0, -5, -10, -14, -19, berturut-turut adalah -45,56; -25,15; -56,37 dan 0,95 MPa. Sedangkan pada jarak positif untuk nilai jarak yang sama yaitu -34,76; -52,31; -70,14 dan -50,57 MPa. Terlihat grafik kurva dari jarak -10 mm sampai 10 mm tidak memperlihatkan adanya tegangan tarik berupa kurva puncak. Kecenderungan tegangan tarik pada daerah logam las masih belum terlihat. Begitu pula tegangan tekan yang pada grafik masih belum terlihat. Akan tetapi pada sisi bawah pada sisi kiri pusat lasan (sisi negatif) dapat diamati nilai tegangan tarik yang cukup besar yaitu 101,61 MPa.



(a)

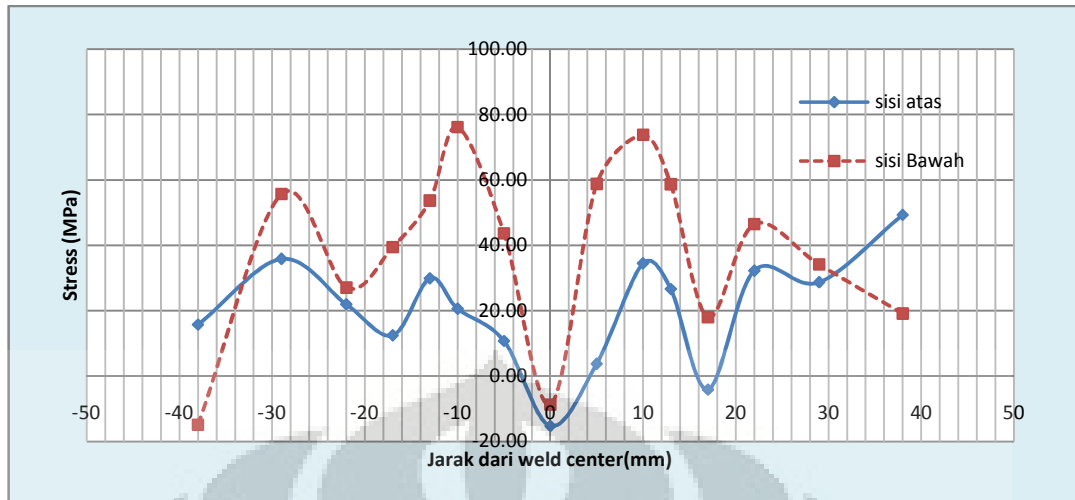


(b)

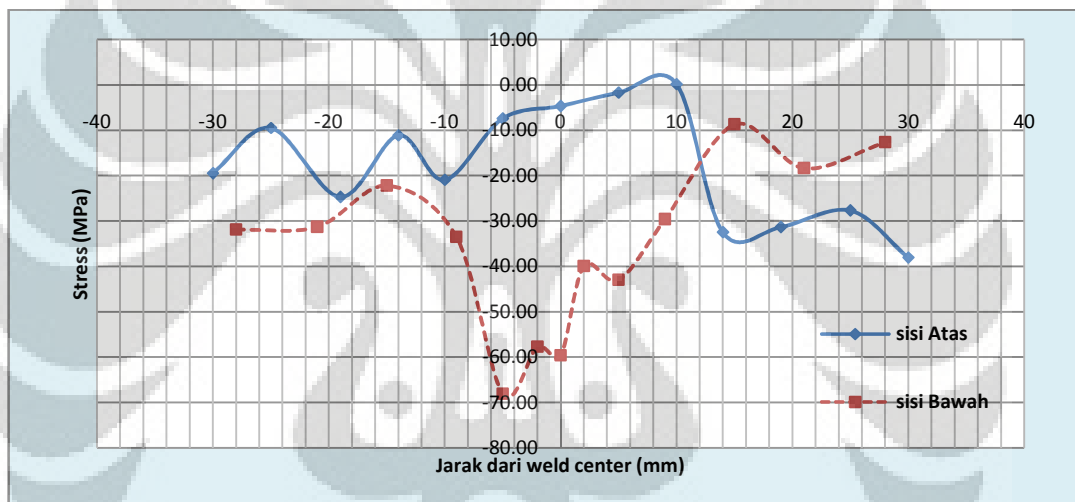
Gambar 5.5 Tegangan sisa arah longitudinal pelat 16 mm, (a) posisi pengelasan datar (1G), (b) posisi pengelasan tegak (3G)

Jika dibandingkan tegangan sisa yang hadir pada sampel uji untuk kedua posisi las tersebut, maka tegangan sisa yang hadir pada posisi tegak (3G) memiliki nilai yang cukup besar dibandingkan pada posisi datar. Hal ini dipengaruhi oleh nilai *heat input* yang cukup besar. Masukan panas yang besar dengan kecepatan las yang lambat menghasilkan nilai simpangan distorsi *angular* besar dan tegangan sisa yang besar pula.





(a)



(b)

Grafik 5.6 tegangan sisa arah transversal pelat 16 mm, atas posisi pengelasan datar (1G), bawah posisi pengelasan tegak (3G)

Lain halnya pada tegangan sisa pada arah transversal. Tegangan sisa pada arah transversal digambarkan dengan nilai tegangan tarik yang kecil pada daerah kampuh las kemudian nilai tegangan tekan yang cukup besar pada daerah yang terpengaruh oleh panas (HAZ). Hasil pengukuran tegangan sisa arah transversal ditampilkan pada Gambar 5.6. Pada Gambar 5.6 (a) merupakan tegangan sisa pada posisi datar. Dengan mengamati pada sisi atas diamati pada rentang -10 mm sampai 10 mm menampilkan tegangan tekan. Pada pusat las tegangan sisa mencapai -15,25 MPa. Diikuti tegangan tarik untuk kedua sisi dari pusat las masih



terlihat kecenderungan grafik yang sama. Kemudian masih diteruskan dengan kurva menurun yang menunjukkan adanya tegangan tekan untuk kedua daerah tersebut dan diakhiri dengan mendekati nilai nol untuk nilai tegangan sisa.

Sedangkan untuk sisi bawah kecenderungan grafik yang ditampilkan mirip dengan sisi atas. Akan tetapi nilai tegangan sisa yang dihasilkan lebih besar dibandingkan nilai tegangan sisi atas. Puncak tegangan tekan yaitu  $-8,72$  MPa pada posisi  $0$  mm, kemudian untuk tegangan tekan yaitu pada titik  $-10$  mm dan  $10$  mm dengan nilai tegangan tekan  $76,15$  dan  $73,8$  MPa. Selanjutnya masih terdapat kurva yang menggambarkan tegangan tekan yaitu pada  $17$  mm ( $18,02$  MPa) dan  $-22$  mm dari pusat lasan  $27,09$  MPa. Kemudian setelahnya mendekati nilai  $0$  untuk tegangan sisa.

Pada hasil Gambar 5.6 tegangan sisa arah transversal memperlihatkan adanya dua tegangan tekan dan tarik. Sedangkan pada umumnya tegangan sisa hanya menampilkan satu kurva tegangan tarik dan tegangan tekan. Hal ini dapat diperoleh jika grafik hasil penelitian dilihat dengan menggunakan garis kecenderungan (*trendline*) dengan 3 rata-rata data terukur. Dapat diamati grafik kecenderungan tegangan arah transversal pada Lampiran 4.

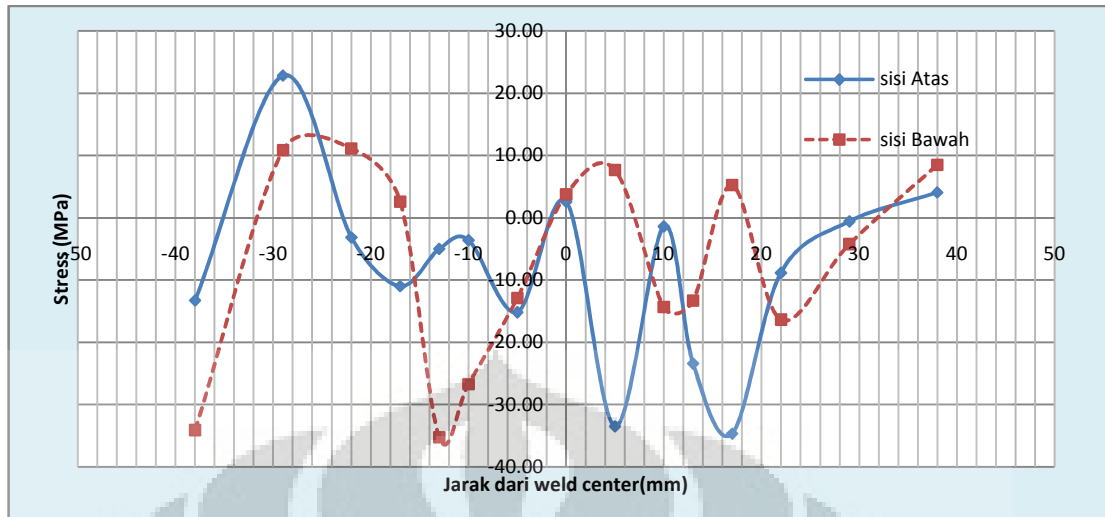
Gambar 5.6 (b) merupakan grafik tegangan sisa pada posisi tegak. Pada sisi atas (garis biru) ditampilkan grafik pada jarak positif dari pusat lasan masih terlihat adanya kurva tegangan tekan dan tarik meskipun terdapat sedikit kecenderungannya kecil nilai tegangan sisa pada pusat lasan yaitu  $-4,68$  MPa. Kemudian puncak tegangan tarik pada jarak  $10$  mm ( $0,15$  MPa) dan tegangan tekan pada  $14$  mm ( $-32,46$  MPa) dari pusat lasan. Sedangkan pada jarak negatif kecenderungan tegangan tekan terlihat pada jarak  $-10$  mm ( $-20,94$  MPa). Kemudian masih dilanjutkan dengan adanya kurva tegangan tarik yaitu pada jarak  $-14$  ( $-11,46$  MPa) dan selanjutnya mendekati nilai nol.

Sedangkan pada sisi bawah (garis merah) untuk posisi tegak, dapat diamati pada jarak  $-5$  mm merupakan puncak dari tegangan tekan dengan nilai  $-68,03$  MPa. Tegangan tarik pada kedua sisi terdapat pada jarak yang sama yaitu  $-15$  mm

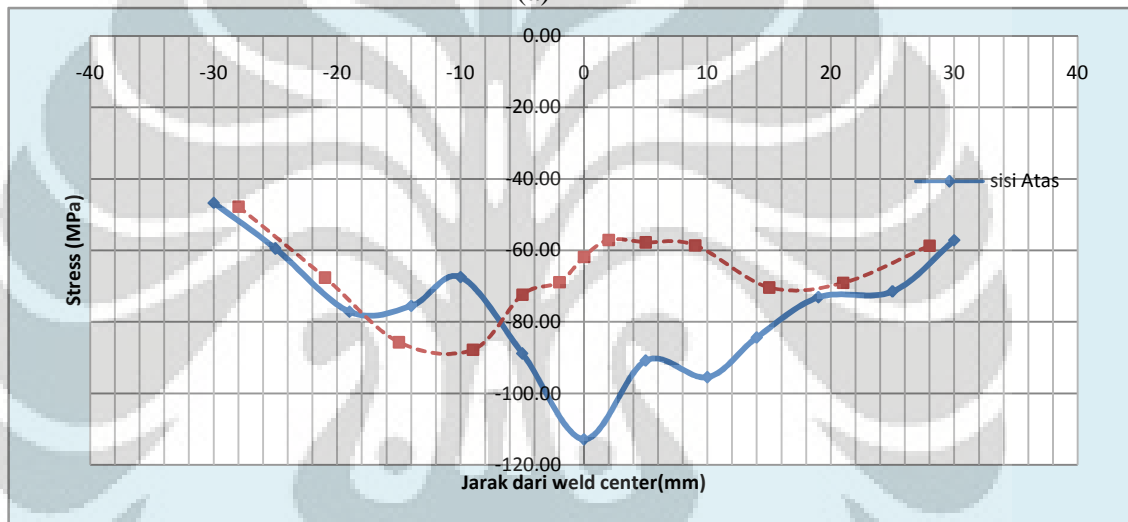
dan 15 mm dari pusat lasan. Kemudian mendekati nilai nol pada sisi positif. Sedangkan pada jarak negatif masih belum mendekati nol. Hal tersebut dapat dikarenakan pengukuran yang belum tepat.

Jika Gambar 5.6 (b) diamati dengan melihat kecenderungan garis (*trendline*) terlihat bahwa pada jarak -14 mm (sisi atas) merupakan puncak tegangan tekan (dapat diamati pada lampiran 4). Terlihat perbedaan pada grafik yang cukup jauh antar sisi atas dan sisi bawah. Hasil yang ditampilkan pada grafik seharusnya memiliki kecenderungan yang sama.





(a)



(b)

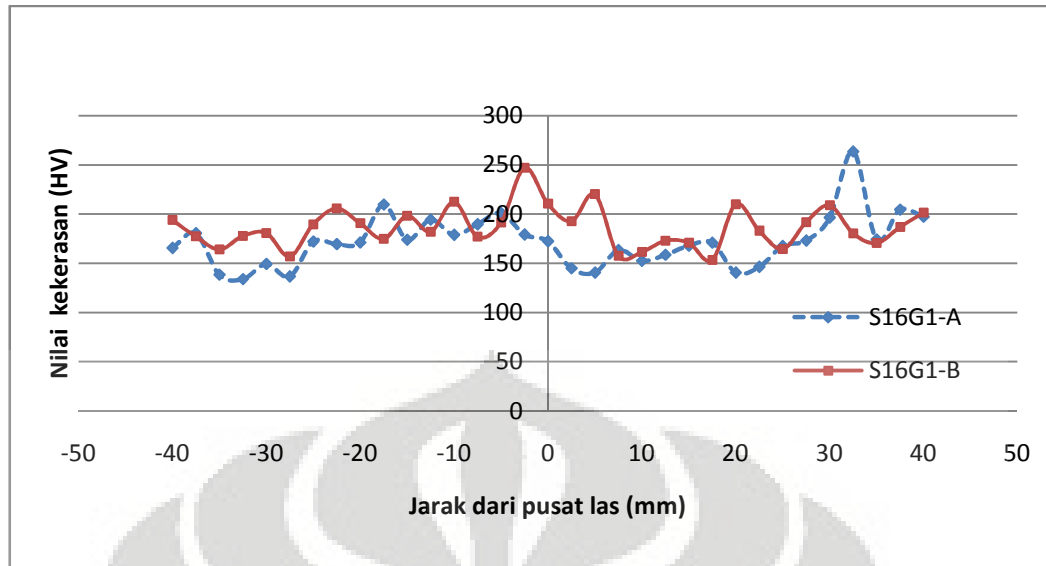
Grafik 5.7 tegangan sisa arah normal pelat 16 mm, (a) posisi pengelasan datar (1G), (b) posisi pengelasan tegak (3G)

Pada tegangan arah normal dapat dilihat pada Gambar 5.7 (a) posisi pengelasan datar. Secara umum grafik antara sisi atas dan bawah memiliki kecenderungan kurva yang sama meskipun pada jarak -14 mm terlihat perbedaan. Pada Grafik 5.7 (a) terlihat bahwa terdapat dua kurva tegangan tarik dan tekan. Dari Gambar ini masih belum bisa di tarik kesimpulan terhadap kecenderungan grafik yang di tampilkan. Meskipun seharusnya data yang digambarkan kedalam grafik memiliki kurva tegangan tarik dan tekan yang lebih kecil dibandingkan tegangan arah longitudinal dan transversal. Sedangkan pada Gambar 5.7 (b) merupakan grafik tegangan sisa arah normal posisi tegak. Kurva tegangan tekan

terlihat jelas kemudian diikuti tegangan tekan pada rentang -5 sampai 5 mm dan nilai tegangan tekan (-112,82 MPa) sedangkan kurva tegangan tarik pada sisi negatif -10 mm (-67,46 MPa), sedangkan pada sisi positif masih belum terlihat adanya kurva tegangan tarik meskipun terdapat kurva puncak. Pada kedua jarak positif dan negatif mendekati nilai nol.

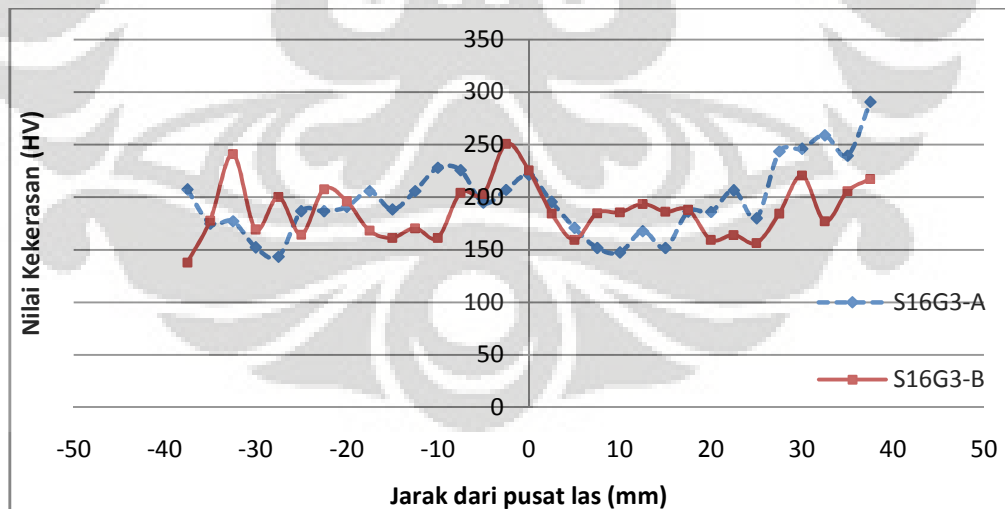
Berbeda halnya pada sisi bawah untuk posisi tegak pada Gambar 5.7. Terlihat grafik dengan kurva tegangan tarik pada posisi pusat las kemudian diikuti dengan kurva tegangan tekan. Meskipun nilai tegangan sisa bernilai negatif akan tetapi kecenderungan distribusi tegangan sisa masih terlihat. Perpindahan dari tegangan tarik dan tegangan tekan berada pada jarak -10 mm dan 10 mm. Hal tersebut yang sesuai dengan daerah rentang daerah kempuh las serta merupakan perbatasan daerah yang terpengaruh panas ( HAZ ).

Berikut ini merupakan grafik dari hasil pengukuran nilai kekerasan pada pelat 16 mm. Dari pengukuran dibawah ini diharapkan nilai yang hadir dapat menggambarkan distribusi tegangan sisa pada sampel uji. Pada Gambar 5.8 memperlihatkan nilai kekerasan yang besar pada rentang -10 mm hingga 10 mm. Hal tersebut disebabkan oleh daerah kempuh las yang memiliki struktur mikro yang tidak seragam dengan komposisi *acicular ferrite* dan pada daerah HAZ merupakan bagian dengan komposisi struktur *widmanstatten* yang cukup banyak. Sehingga memberikan kontribusi nilai kekerasan yang besar. Setelah menjauhi -10 mm dan 10 mm nilai kekerasan beranjak turun. Jika dibandingkan nilai kekerasan pada sisi atas dan bawah, maka secara keseluruhan nilai kekerasan pada bagian bawah memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan bagian atas.



Gambar 5.8 Grafik nilai kekerasan pada sampel pelat 16 mm sisi atas (A) dan bawah (B) posisi datar (1G)

Pada Gambar 5.8 menampilkan nilai kekerasan pelat 16 mm dengan posisi tegak. Gambar 5.9 menunjukkan hal yang serupa dengan Gambar 5.8 dengan nilai kekerasan yang cukup tinggi pada rentang -10 mm dan 10 mm. Nilai kekerasan yang besar pada sisi bawah serta nilai kekerasan yang besar pula pada sisi positif.



Gambar 5.9 Grafik nilai kekerasan pada sampel pelat 16 mm sisi atas (A) dan bawah (B) posisi tegak (3G)

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

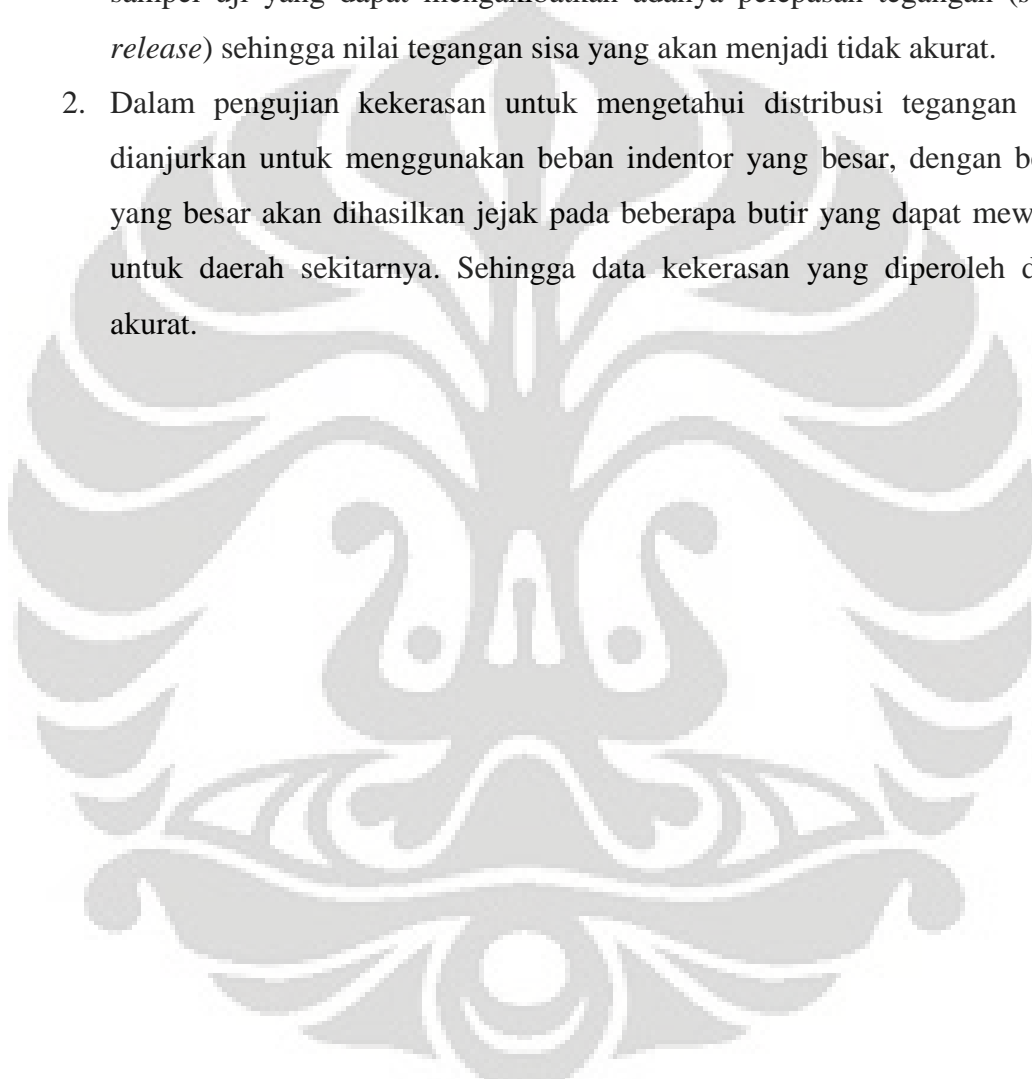
Dari penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Nilai distorsi *angular* meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan pelat. Pada pelat 20 mm memiliki nilai distorsi yang paling besar kemudian diikuti 16 mm dan 10 mm.
2. Posisi pengelasan tegak atau *vertical* (3G) menghasilkan nilai distorsi *angular* yang lebih besar dibandingkan posisi datar (1G). Nilai simpangan distorsi *angular* dengan posisi tegak pada ketebalan 20 mm, 16 mm dan 10 mm adalah berturut-turut  $4,02^{\circ}$ ;  $3,52^{\circ}$  dan  $1,56^{\circ}$ . Sedangkan untuk posisi datar pada ketebalan 20, 16 dan 10 mm berturut-turut yaitu  $3,64^{\circ}$ ;  $2,99^{\circ}$  dan  $0,87^{\circ}$  dari sumbu datar.
3. Pengukuran tegangan sisa (*residual stress*) dilakukan pada pelat 16 mm. Nilai tegangan sisa terbesar pada arah longitudinal dengan posisi tegak (3G) yaitu 101,61 MPa pada jarak -9 mm dari pusat las. Sedangkan pada posisi datar (1G) nilai tegangan sisa arah longitudinal yaitu 40,54 MPa.
4. Kekerasan pada bagian yang dijepit (*clamping*) lebih besar dibandingkan dengan bagian yang tidak dijepit dengan mengamati distribusi kekerasannya pada ketebalan 16 mm.
5. Nilai tegangan sisa yang diperoleh pada pelat 16 mm besarnya 101.61 MPa dimana memiliki nilai kekerasan tertinggi 227 HV yang terletak di HAZ dengan butir yang kasar.

## 6.2 Saran

Berikut beberapa saran agar penelitian selanjutnya memperoleh hasil yang lebih baik yaitu

1. Pada pengukuran tegangan sisa dengan menggunakan difraksi neutron harus dilakukan dengan preparasi yang baik. Terutama pada saat pemotongan sampel uji yang dapat mengakibatkan adanya pelepasan tegangan (*stress release*) sehingga nilai tegangan sisa yang akan menjadi tidak akurat.
2. Dalam pengujian kekerasan untuk mengetahui distribusi tegangan sisa, dianjurkan untuk menggunakan beban indentor yang besar, dengan beban yang besar akan dihasilkan jejak pada beberapa butir yang dapat mewakili untuk daerah sekitarnya. Sehingga data kekerasan yang diperoleh dapat akurat.





## REFERENSI

- [1]. Masubuchi, K, 1980. Analysis of Welded Structure, First Ed. Pergamon Press Ltd. Oxford, England.
- [2]. Welding Handbook Volume 1, eighth Ed, American Welding Society Miami, Florida, USA
- [3]. Metals Handbook, (2001), Vol. 6 – Welding, Brazing and Soldering, American Society For Metals International,
- [4]. Metals Handbook, (2001), Vol. 8 – Mechanical testing, American Society For Metals International,
- [5]. Zhili Feng, 2005. Processes and mechanisms of welding residual stress and distortion Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of The Institute of Materials, Minerals & Mining
- [6]. Sindo Kou, 2002. Welding metallurgy 2nd ed. “A Wiley-Interscience publication
- [7]. <http://www.lincolnelectric.com/knowledge/articles/list.asp> diakses tanggal 6/11/2008 pukul 2.10 pm)
- [8]. Gas Metal Arc Welding Carbon, Low Alloy, and Stainless Steels and Aluminum Lincoln elektrik
- [9]. Hirai dan Nakamura. research on *angular* change in fillet welds, Ishikawajina Review, pp29-68)) on 1 analisis of welded structure.
- [10]. Analysis of Residual Stress by Diffraction using Neutron and Synchrotron Radiation, 2003. Taylor & Francis 11 New Fetter Lane, London EC4P 4EE
- [11]. Metals Handbook, (2001), Vol. 10 – Materials Characterization, American Society For Metals International,

- [12]. Callister, William D J. 2004. Materials Science and Engineering an Introduction. Singapore ; John Wiley & Sons



LAMPIRAN

Lampiran 1

Perhitungan panjang gelombang

Calculation of RESA Lambda at 2003/12/12								
RSG-GAS Serpong								
	Si	a=	5.43094	Used Si : (NBS 640b)		$\lambda_0 =$	<b>1.825</b>	
			$\Delta 2T_0 =$	-0.0537				
h	k	l	d	2Theta	Lambda	2Theta cal	$1/d \cdot \cos \theta$	$\Delta 2\text{Theta}$
1	1	1	3.135555	34.02663	1.834889	33.8377	0.333519	0.188915
2	2	0	1.920127	57.12523	1.836098	56.7485	0.592966	0.376718
3	1	1	1.637490	68.20732	1.836255	67.7324	0.737527	0.474929
4	0	0	1.357735	85.0927	1.836164	84.4549	0.999715	0.637838
3	3	1	1.245943	94.88553	1.835529	94.1721	1.186712	0.713462
			Lambda (avr) 111 to 331 =		<b>1.835851</b>			
				33.97293				
				57.07153				
				68.15362				
				85.039				
				94.83183				

## Lampiran 2

10G1

Run No.	Current (A)					Voltage (V)					Duration (second)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input KJ/mm
	1	2	3	4	average	1	2	3	4	average			
1	138	154	137	175	151.00	19.9	21.01	20.75	20.95	20.65	182	99	1.89
2	237	242	230	221	232.50	32.5	32.78	32.68	32.95	32.73	52	346	0.52
3	262	252	255	262	257.75	32.68	31.9	31.89	32.57	32.26	52	346	0.70
4	278	263	265	242	262.00	32.8	31.5	32.13	32.48	32.23	54	333	0.69
													3.8

16G1

Run No.	Current (A)					Voltage (V)					Duration (second)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input KJ/mm
	1	2	3	4	average	1	2	3	4	average			
1	111	102	118	121	113.00	22.22	21.78	21.93	21.14	21.77	231	78	1.72
2	201	215	207	208	207.75	31.7	30.5	29.5		30.57	69	261	1.06
3	207	211	198	210	206.50	31.09	31.49	32.22	31.57	31.59	86	209	1.21
4	221	212	214	217	216.00	31.7	31.24	30.93	31	31.22	140	129	2.82
5	231	224	230	227	228	30.85	30.86	31	30.78	30.87	158	114	3.64
													9.7

## 20G1

Run No.	Current (A)					Voltage (V)					Duration (second)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input KJ/mm
	1	2	3	4	average	1	2	3	4	average			
1	105	88	97	94	96.00	21.16	20.86	22.03	20.25	21.08	194	93	1.31
2	202	222	218	233	218.75	30.85	30.15	30.57	30.76	30.58	48	375	1.33
3	231	246	219	245	235.25	30.21	30.16	30.69	30.33	30.35	80	225	0.95
4	214	224	193	212	210.75	32.15	32.49	32.6	31.97	32.30	93	194	1.89
5	231	246	224	235	234.00	30.44	30.23	30.72	30.59	30.50	93	194	2.55
6	267	271	268	241	261.75	29.97	30.16	30.24	29.66	30.01	135	133	3.77
													11.8

## 10G3

Run No.	Current (A)					Voltage (V)					Duration (second)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input KJ/mm
	1	2	3	4	average	1	2	3	4	average			
1	111	125	120	147	125.75	21.17	21.69	20.85	20.65	21.09	172	105	1.52
2	122	117	94	108	110.25	27.53	21.58	22.14	21.97	23.31	170	106	1.32
3	120	113	126	117	119.00	21.11	20.92	21.03	21.09	21.04	253	71	2.06



Lmpiran 3  
Perhitunag 2 teta

Lambda	<b>1.8E+0</b>		E (pa) Steel	2E+11		$E/(1+n)(1-2n)$	6.15E+10				
2Theta offset	-0.0537		Poison ratio	0.3							
		Powder (Do)		1.433501							
		Bulk	Longitudinal	1.434103							
		Bulk	Normal	1.434131							
		Bulk	Transverse	1.433447							
<b>S16G3</b>											
Posisi		arah	20		W		A		time	nomer file	20 corr
0	A	normal	79.71387	0.01188	0.66645	0.0311	174.5171	9.53395	120	E560R003.CSV	79.71387



5	A	normal	79.67956	0.01031	0.70031	0.028	192.4531	9.17324	120	E560R004.CSV	79.67956
10	A	normal	79.6868	0.01066	0.67246	0.02823	217.4559	10.67285	120	E560R005.CSV	79.6868
14	A	normal	79.66946	0.01143	0.66512	0.03027	337.7412	17.8313	120	E560R006.CSV	79.66946
19	A	normal	79.65195	0.00937	0.62946	0.02375	396.1298	17.08317	120	E560R007.CSV	79.65195
25	A	normal	79.64947	0.01022	0.69047	0.02695	425.683	19.89897	120	E560R008.CSV	79.64947
30	A	normal	79.62721	0.01138	0.67614	0.02983	411.3219	21.49227	120	E560R009.CSV	79.62721
-5	A	normal	79.67645	0.00807	0.69575	0.02165	261.393	9.74607	120	E560R010.CSV	79.67645
-10	A	normal	79.64322	0.00943	0.69529	0.02526	334.229	14.52469	120	E560R011.CSV	79.64322
-14	A	normal	79.65576	0.00912	0.64942	0.02323	445.1795	18.65681	120	E560R012.CSV	79.65576
-19	A	normal	79.6583	0.00798	0.66083	0.02061	447.5305	16.40693	120	E560R013.CSV	79.6583
-25	A	normal	79.63081	0.00874	0.64445	0.0219	418.2509	16.70735	120	E560R014.CSV	79.63081
-30	A	normal	79.61098	0.01218	0.68838	0.03176	394.3966	21.94014	120	E560R015.CSV	79.61098
0	A	trans	79.59127	0.01319	0.67606	0.03488	93.09977	5.63515	120	E560R016.CSV	79.59127

5	A	trans	79.58669	0.01478	0.65572	0.03797	113.6548	7.68976	120	E560R017.CSV	79.58669
10	A	trans	79.58378	0.01592	0.627	0.04059	109.7303	8.06581	120	E560R018.CSV	79.58378
14	A	trans	79.63444	0.01304	0.67934	0.0345	112.182	6.74801	120	E560R019.CSV	79.63444
19	A	trans	79.63267	0.0109	0.62038	0.02761	116.1143	5.88799	120	E560R020.CSV	79.63267
25	A	trans	79.627	0.01686	0.62881	0.04288	121.7619	9.47768	120	E560R021.CSV	79.627
30	A	trans	79.64314	0.01281	0.6431	0.03289	118.7742	7.00384	120	E560R022.CSV	79.64314
-5	A	trans	79.59555	0.01391	0.5908	0.0348	61.74672	4.03815	120	E560R023.CSV	79.59555
-10	A	trans	79.61653	0.01117	0.64723	0.02882	75.48524	3.9007	120	E560R024.CSV	79.61653
-14	A	trans	79.6013	0.0109	0.66184	0.02852	91.54782	4.59273	120	E560R025.CSV	79.6013
-19	A	trans	79.62236	0.01354	0.62429	0.03457	97.50068	6.14298	120	E560R026.CSV	79.62236
-25	A	trans	79.59877	0.01045	0.60414	0.02634	95.89609	4.6724	120	E560R027.CSV	79.59877
-30	A	trans	79.61426	0.01466	0.66945	0.03869	103.5299	7.00692	120	E560R028.CSV	79.61426
0	B	trans	79.67665	0.00903	0.67384	0.02357	120.3286	5.00244	120	E560R029.CSV	79.67665
2	B	trans	79.64603	0.00874	0.67483	0.02285	132.0815	5.3024	120	E560R030.CSV	79.64603

5	B	trans	79.65076	0.01017	0.65696	0.02639	133.3662	6.24994	120	E560R031.CSV	79.65076
9	B	trans	79.62997	0.00937	0.63607	0.02392	119.5169	5.15391	120	E560R032.CSV	79.62997
15	B	trans	79.5975	0.01191	0.6677	0.03116	117.9316	6.4446	120	E560R033.CSV	79.5975
21	B	trans	79.61248	0.01251	0.66702	0.03255	123.8914	7.08617	120	E560R034.CSV	79.61248
28	B	trans	79.60361	0.01641	0.62883	0.04089	114.0733	8.5716	120	E560R035.CSV	79.60361
-2	B	trans	79.67365	0.01287	0.64459	0.03255	92.85355	5.47467	120	E560R036.CSV	79.67365
-5	B	trans	79.68978	0.01132	0.687	0.02948	90.85791	4.69049	120	E560R037.CSV	79.68978
-9	B	trans	79.63604	0.01513	0.6512	0.03869	81.68892	5.65917	120	E560R038.CSV	79.63604
-15	B	trans	79.61846	0.01136	0.62499	0.02901	109.4454	5.75339	120	E560R039.CSV	79.61846
-21	B	trans	79.63258	0.01623	0.64895	0.04119	140.3199	10.42295	120	E560R040.CSV	79.63258
-28	B	trans	79.63355	0.00922	0.63061	0.02297	132.596	5.58402	120	E560R041.CSV	79.63355
0	B	norm	79.63446	0.01195	0.68671	0.03145	449.9518	24.56638	120	E560R042.CSV	79.63446
2	B	norm	79.62707	0.00928	0.68436	0.02466	414.3481	17.7093	120	E560R043.CSV	79.62707
5	B	norm	79.62811	0.00736	0.67643	0.01938	397.0655	13.44639	120	E560R044.CSV	79.62811

9	B	norm	79.6294	0.00971	0.65358	0.02485	413.3477	18.33201	120	E560R045.CSV	79.6294
15	B	norm	79.64777	0.0092	0.65958	0.02367	428.311	18.05446	120	E560R046.CSV	79.64777
21	B	norm	79.64578	0.01188	0.67431	0.03041	400.9266	21.6496	120	E560R047.CSV	79.64578
28	B	norm	79.62953	0.00875	0.66447	0.0224	391.2763	15.58386	120	E560R048.CSV	79.62953
-2	B	norm	79.64548	0.00939	0.69335	0.0248	286.7724	12.32495	120	E560R049.CSV	79.64548
-5	B	norm	79.6509	0.00856	0.6587	0.02175	293.8119	11.4076	120	E560R050.CSV	79.6509
-9	B	norm	79.67489	0.01006	0.67969	0.02654	311.8488	14.43911	120	E560R051.CSV	79.67489
-15	B	norm	79.67164	0.0087	0.68677	0.02306	367.5503	14.70822	120	E560R052.CSV	79.67164
-21	B	norm	79.64343	0.01081	0.64439	0.02728	358.156	17.67643	120	E560R053.CSV	79.64343
-28	B	norm	79.61257	0.00924	0.00924	0.02318	365.9721	15.49456	120	E560R054.CSV	79.61257
0	A	longi	79.61105	0.01697	0.65144	0.04634	94.65269	8.0409	840	E561R007.CSV	79.61105
5	A	longi	79.59426	0.02035	0.70868	0.05869	66.40604	6.91811	120	E561R009.CSV	79.59426
10	A	longi	79.62154	0.01241	0.65672	0.03294	83.35283	5.12673	120	E561R010.CSV	79.62154
14	A	longi	79.65001	0.0198	0.70491	0.05582	98.98626	9.89608	120	E561R011.CSV	79.65001

19	A	longi	79.61883	0.02492	0.65432	0.06899	95.47198	12.0188	120	E561R012.CSV	79.61883
25	A	longi	79.67461	0.01224	0.65815	0.03403	109.2283	6.75791	120	E561R013.CSV	79.67461
30	A	longi	79.6467	0.01324	0.57817	0.03294	108.7747	7.14541	120	E561R014.CSV	79.6467
0	B	longi	79.60111	0.01861	0.7069	0.0533	72.41572	6.90893	120	E561R015.CSV	79.60111
2	B	longi	79.63536	0.01591	0.77219	0.05131	72.72156	6.31538	120	E561R016.CSV	79.63536
5	B	longi	79.59349	0.01442	0.72895	0.04265	67.67438	5.06385	120	E561R017.CSV	79.59349
9	B	longi	79.62377	0.01473	0.65855	0.03942	81.54231	5.98856	120	E561R018.CSV	79.62377
15	B	longi	79.62828	0.01644	0.6685	0.04457	111.4774	9.14934	120	E561R019.CSV	79.62828
21	B	longi	79.65691	0.01687	0.66399	0.04548	115.0658	9.65064	120	E561R020.CSV	79.65691
28	B	longi	79.6588	0.01903	0.66253	0.05158	113.4973	10.82953	120	E561R021.CSV	79.6588
-2	B	longi	79.38631	0.01526	0.63207	0.03964	74.10894	5.49341	120	E569R014.CSV	79.38631
-5	B	longi	79.40273	0.01407	0.5908	0.03547	80.05814	5.56225	120	E569R015.CSV	79.40273
-9	B	longi	79.38303	0.01803	0.68701	0.0491	106.6516	9.32208	120	E569R016.CSV	79.38303
-15	B	longi	79.44915	0.00996	0.59865	0.02535	107.0924	5.25376	120	E569R017.CSV	79.44915

-21	B	longi	79.48928	0.01024	0.66103	0.02779	121.3284	6.18225	120	E569R018.CSV	79.48928
-28	B	longi	79.51192	0.01636	0.65007	0.04395	112.2001	9.1326	120	E569R019.CSV	79.51192
-5	A	longi	79.57934	0.01349	0.67098	0.03861	86.39058	5.95588	120	E563R059.CSV	79.57934
-10	A	longi	79.62786	0.01172	0.67368	0.03596	115.5944	8.18541	120	E563R060.CSV	79.62786
-14	A	longi	79.48294	0.01501	0.67077	0.04132	107.0542	8.02537	120	E569R010.CSV	79.48294
-19	A	longi	79.53882	0.02548	0.63673	0.02548	114.899	5.44821	120	E569R011.CSV	79.53882
-25	A	longi	79.56932	0.01327	0.62462	0.03509	109.4805	7.25032	120	E569R012.CSV	79.56932
-30	A	longi	79.58013	0.01581	0.65693	0.04304	110.1171	8.7343	120	E569R013.CSV	79.58013
<b>S16G1</b>											
Posisi		arah	2θ		W		A		time	nomer file	2θ corr
0	A	normal	79.58812	0.01329	0.69877	0.03631	109.3391	6.69921	60	E535R002.CSV	79.58812
5	A	normal	79.64411	0.01213	0.66877	0.03211	104.698	5.82651	60	E535R003.CSV	79.64411
10	A	normal	79.59428	0.01624	0.64622	0.04145	119.9438	8.93808	60	E535R004.CSV	79.59428

13	A	normal	79.62846	0.0113	0.66075	0.02939	209.7191	10.91791	60	E535R005.CSV	79.62846
17	A	normal	79.64594	0.00978	0.65847	0.02541	204.4361	9.22188	60	E535R006.CSV	79.64594
22	A	normal	79.60587	0.01053	0.64195	0.02695	216.283	10.46596	60	E535R007.CSV	79.60587
29	A	normal	79.59303	0.01153	0.67312	0.0301	226.3609	11.90003	60	E535R008.CSV	79.59303
38	A	normal	79.58583	0.01103	0.62018	0.02761	215.0525	10.92072	60	E535R009.CSV	79.58583
0											
0	A	transv	79.66139	0.01838	0.69952	0.05	58.47432	4.97259	60	E535R0010.CSV	79.66139
5	A	transv	79.63188	0.01373	0.60984	0.03408	62.84401	3.98411	60	E535R0011.CSV	79.63188
10	A	transv	79.58423	0.01411	0.54982	0.03364	58.6582	3.93425	60	E535R0012.CSV	79.58423
13	A	transv	79.59641	0.01629	0.71761	0.04443	63.8347	4.8011	60	E535R0013.CSV	79.59641
17	A	transv	79.64411	0.01213	0.66877	0.03211	104.698	5.82651	60	E537R003.CSV	79.64411
22	A	transv	79.58768	0.0168	0.66762	0.04332	65.15291	4.99802	60	E537R004.CSV	79.58768
29	A	transv	79.59321	0.01759	0.65507	0.04501	67.93781	5.48829	60	E537R005.CSV	79.59321
38	A	transv	79.56128	0.01311	0.63094	0.03377	109.6254	6.65748	60	E537R006.CSV	79.56128
0											
1.5	B	transv	79.65125	0.01359	0.73978	0.03826	58.55119	3.70397	60	E537R007.CSV	79.65125



6.5	B	transv	79.54656	0.01807	0.65961	0.04667	58.37724	4.81624	60	E537R008.CSV	79.54656
9.5	B	transv	79.52332	0.01843	0.68665	0.04861	59.42813	4.96865	60	E537R009.CSV	79.52332
13.5	B	transv	79.54672	0.01136	0.59591	0.02793	64.95134	3.43051	60	E537R010.CSV	79.54672
18.5	B	transv	79.60974	0.01551	0.62991	0.0393	63.39351	4.52842	60	E537R011.CSV	79.60974
23.5	B	transv	79.56558	0.01449	0.65583	0.03737	67.03129	4.45283	60	E537R012.CSV	79.56558
30.5	B	transv	79.58474	0.01032	0.61135	0.02573	65.58283	3.12886	60	E537R013.CSV	79.58474
39.5	B	transv	79.608	0.01386	0.64831	0.03556	129.5517	8.23743	60	E537R014.CSV	79.608
											0
1.5	B	normal	79.58631	0.01399	0.69105	0.03719	105.4523	6.75429	30	E537R015.CSV	79.58631
6.5	B	normal	79.58024	0.01281	0.72239	0.03515	125.1236	7.40356	30	E537R016.CSV	79.58024
9.5	B	normal	79.61436	0.01255	0.68328	0.03323	145.3076	8.38026	30	E537R017.CSV	79.61436
13.5	B	normal	79.61277	0.01262	0.66043	0.03256	144.775	8.36037	30	E537R018.CSV	79.61277
18.5	B	normal	79.58399	0.01227	0.66387	0.03189	141.6635	7.98491	30	E537R019.CSV	79.58399
23.5	B	normal	79.61752	0.00994	0.65517	0.02579	135.4221	6.20631	30	E537R020.CSV	79.61752
30.5	B	normal	79.5987	0.01016	0.64208	0.0259	132.3781	6.16331	30	E537R021.CSV	79.5987

39.5	B	normal	79.57896	0.0121	0.66296	0.03141	134.425	7.45571	30	E537R022.CSV	79.57896
											0
-5	B	normal	79.62015	0.0122	0.69945	0.03289	114.7543	6.45455	30	E537R023.CSV	79.62015
0	B	normal	79.60651	0.01959	0.751	0.05557	85.78775	7.8597	30	E537R024.CSV	79.60651
-5	B	normal	79.61212	0.01043	0.6962	0.02801	94.48789	4.53478	30	E537R025.CSV	79.61212
-8	B	normal	79.63361	0.01639	0.71991	0.04512	102.309	7.76488	30	E537R026.CSV	79.63361
											0
-12	B	normal	79.64684	0.00992	0.64123	0.0254	104.7854	4.78911	30	E537R028.CSV	79.64684
-17	B	normal	79.58814	0.00984	0.59652	0.02427	107.7256	4.92614	30	E537R029.CSV	79.58814
-22	B	normal	79.57491	0.01248	0.68169	0.03291	108.4763	6.19989	30	E537R030.CSV	79.57491
-29	B	normal	79.57527	0.01106	0.66413	0.02876	105.7538	5.35631	30	E537R031.CSV	79.57527
-39.5	B	normal	79.64506	0.00977	0.66015	0.02537	126.9568	5.68362	30	E537R032.CSV	79.64506
											0
-5	B	transv	79.56999	0.01913	0.68069	0.05014	46.03341	4.00564	60	E537R033.CSV	79.56999
-8	B	transv	79.51969	0.01972	0.64312	0.04981	42.15918	3.77434	60	E537R034.CSV	79.51969

-12	B	transv	79.55442	0.02338	0.72154	0.0637	47.80013	5.12367	60	E537R035.CSV	79.55442
-17	B	transv	79.57653	0.02002	0.64824	0.05132	52.06901	4.77763	60	E537R036.CSV	79.57653
-22	B	transv	79.59568	0.01439	0.60148	0.03566	62.76483	4.19138	60	E537R037.CSV	79.59568
-29	B	transv	79.55134	0.02037	0.64235	0.05187	70.16496	6.54525	60	E537R038.CSV	79.55134
-39.5	B	transv	79.66078	0.01051	0.63751	0.02689	66.19363	3.2058	60	E537R039.CSV	79.66078
											0
-5	A	transv	79.62102	0.02727	0.65535	0.07057	47.78407	5.98335	60	E537R040.CSV	79.62102
-10	A	transv	79.60575	0.01726	0.69171	0.04595	41.28672	3.26999	60	E537R041.CSV	79.60575
-13	A	transv	79.59131	0.01539	0.7166	0.042	44.19414	3.1331	60	E537R042.CSV	79.59131
-17	A	transv	79.61834	0.01639	0.66033	0.04238	57.6068	4.312	60	E537R043.CSV	79.61834
-22	A	transv	79.60368	0.01924	0.64564	0.04924	62.0096	5.47135	60	E537R044.CSV	79.60368
-29	A	transv	79.58213	0.01859	0.65327	0.04792	57.86803	4.92967	60	E537R045.CSV	79.58213
38	A	transv	79.61326	0.01168	0.61399	0.02917	58.78985	3.16989	60	E537R046.CSV	79.61326
											0
-5	A	normal	79.61566	0.01289	0.65801	0.03343	91.93001	5.43774	50	E537R047.CSV	79.61566

-10	A	normal	79.59772	0.01653	0.69236	0.04406	124.0586	9.40425	50	E537R048.CSV	79.59772
-13	A	normal	79.5999	0.01116	0.66164	0.02894	160.2724	8.19002	50	E537R049.CSV	79.5999
-17	A	normal	79.60917	0.00844	0.64482	0.0216	184.1569	7.12873	50	E537R050.CSV	79.60917
-22	A	normal	79.59704	0.01214	0.66285	0.03158	203.6565	11.33159	50	E537R051.CSV	79.59704
-29	A	normal	79.55675	0.00974	0.66451	0.02523	173.4808	7.71392	50	E537R052.CSV	79.55675
-38	A	normal	79.6127	0.0091	0.65338	0.02352	215.0819	8.9834	50	E537R053.CSV	79.6127
											0
0	A	Longi	79.56573	0.01522	0.6767	0.03778	64.14945	4.0395	120	E539R001.CSV	79.56573
5	A	Longi	79.6154	0.01797	0.713	0.05315	82.12256	7.68314	120	E539R002.CSV	79.6154
10	A	Longi	79.57512	0.01318	0.66255	0.03629	100.1916	6.651	120	E539R003.CSV	79.57512
13	A	Longi	79.55194	0.01903	0.70707	0.05526	112.6061	10.9983	120	E539R004.CSV	79.55194
17	A	Longi	79.58171	0.01095	0.59415	0.02813	111.6217	6.09823	120	E539R005.CSV	79.58171
22	A	Longi	79.60773	0.0156	0.67851	0.04388	116.8578	9.23964	120	E539R006.CSV	79.60773
29	A	Longi	79.65311	0.01116	0.71199	0.03297	122.1253	7.1071	120	E539R007.CSV	79.65311
38	A	Longi	79.65706	0.00912	0.66589	0.02543	120.4355	5.58198	120	E539R008.CSV	79.65706

											0
1.5	B	Longi	79.51173	0.02774	0.74307	0.08357	59.81453	8.6456	120	E539R009.CSV	79.51173
6.5	B	Longi	79.56047	0.01512	0.66287	0.0417	78.56699	5.98347	120	E539R010.CSV	79.56047
9.5	B	Longi	79.60501	0.01259	0.68771	0.03587	87.99723	5.6665	120	E539R011.CSV	79.60501
13.5	B	Longi	79.60675	0.01422	0.66123	0.04469	105.4443	9.46805	120	E539R012.CSV	79.60675
18.5	B	Longi	79.62676	0.01063	0.67011	0.0294	129.6892	6.93839	120	E540R002.CSV	79.62676
23.5	B	Longi	79.66239	0.0103	0.63911	0.02791	100.6842	5.18546	120	E540R003.CSV	79.66239
29.5	B	Longi	79.65259	0.01557	0.62535	0.03916	107.8422	7.72439	120	E540R004.CSV	79.65259
39.5	B	Longi	79.60495	0.0138	0.69538	0.03945	112.9653	7.93965	120	E540R005.CSV	79.60495
											0
-5	A	Longi	79.54148	0.01754	0.68178	0.04903	77.45614	6.86327	120	E541R005.CSV	79.54148
-10	A	Longi	79.55269	0.01501	0.67849	0.04207	95.45817	7.27789	120	E541R006.CSV	79.55269
-13	A	Longi	79.57324	0.01274	0.68371	0.03599	103.3468	6.68367	120	E541R007.CSV	79.57324
-17	A	Longi	79.57219	0.01407	0.65228	0.03819	111.8649	7.87996	120	E541R008.CSV	79.57219
-22	A	Longi	79.61688	0.01408	0.65594	0.0385	107.0192	7.57221	120	E541R009.CSV	79.61688

-29	A	Longi	79.63995	0.01259	0.62567	0.03339	104.1383	6.55265	120	E541R010.CSV	79.63995
-38	A	Longi	79.55395	0.01611	0.61311	0.04188	109.8032	8.78715	120	E541R011.CSV	79.55395
											0
-1.5	B	Longi	79.53116	0.01862	0.68585	0.05236	66.09795	6.21538	120	E541R012.CSV	79.53116
-6.5	B	Longi	79.55537	0.02145	0.76605	0.06726	72.43724	8.33682	120	E541R013.CSV	79.55537
-9.5	B	Longi	79.57052	0.0127	0.67411	0.03519	85.06292	5.41726	120	E541R014.CSV	79.57052
-13.5	B	Longi	79.62888	0.01384	0.67068	0.03859	107.7192	7.55047	120	E541R015.CSV	79.62888
-18.5	B	Longi	79.64212	0.0088	0.64215	0.02372	111.5464	4.9202	120	E541R016.CSV	79.64212
-23.5	B	Longi	79.67907	0.01607	0.64025	0.04323	114.2666	9.19733	120	E541R017.CSV	79.67907
-29.5	B	Longi	79.69681	0.0166	0.69801	0.04792	131.9944	11.26404	120	E541R018.CSV	79.69681
-39.5	B	Longi	79.43865	0.01465	0.68009	0.04025	106.5741	7.73196	120	E541R019.CSV	79.43865
Lambda	<b>1.8E+0</b>										
2Theta offset	-0.0537										





## Lampiran 2

## Perhitunag 2 teta

Lambda	<b>1.8E+0</b>		E (pa) Steel	2E+11		$E/(1+n)(1-2n)$	6.15E+10				
2Theta offset	-0.0537		Poison ratio	0.3							
			Powder (Do)	1.433501							
		Bulk	Longitudinal	1.434103							
		Bulk	Normal	1.434131							
		Bulk	Transverse	1.433447							
<b>S16G3</b>											
Posisi		arah	2θ		W		A		time	nomer file	2θ corr
0	A	normal	79.71387	0.01188	0.66645	0.0311	174.5171	9.53395	120	E560R003.CSV	79.71387
5	A	normal	79.67956	0.01031	0.70031	0.028	192.4531	9.17324	120	E560R004.CSV	79.67956
10	A	normal	79.6868	0.01066	0.67246	0.02823	217.4559	10.67285	120	E560R005.CSV	79.6868

14	A	normal	79.66946	0.01143	0.66512	0.03027	337.7412	17.8313	120	E560R006.CSV	79.66946
19	A	normal	79.65195	0.00937	0.62946	0.02375	396.1298	17.08317	120	E560R007.CSV	79.65195
25	A	normal	79.64947	0.01022	0.69047	0.02695	425.683	19.89897	120	E560R008.CSV	79.64947
30	A	normal	79.62721	0.01138	0.67614	0.02983	411.3219	21.49227	120	E560R009.CSV	79.62721
-5	A	normal	79.67645	0.00807	0.69575	0.02165	261.393	9.74607	120	E560R010.CSV	79.67645
-10	A	normal	79.64322	0.00943	0.69529	0.02526	334.229	14.52469	120	E560R011.CSV	79.64322
-14	A	normal	79.65576	0.00912	0.64942	0.02323	445.1795	18.65681	120	E560R012.CSV	79.65576
-19	A	normal	79.6583	0.00798	0.66083	0.02061	447.5305	16.40693	120	E560R013.CSV	79.6583
-25	A	normal	79.63081	0.00874	0.64445	0.0219	418.2509	16.70735	120	E560R014.CSV	79.63081
-30	A	normal	79.61098	0.01218	0.68838	0.03176	394.3966	21.94014	120	E560R015.CSV	79.61098
0	A	trans	79.59127	0.01319	0.67606	0.03488	93.09977	5.63515	120	E560R016.CSV	79.59127
5	A	trans	79.58669	0.01478	0.65572	0.03797	113.6548	7.68976	120	E560R017.CSV	79.58669
10	A	trans	79.58378	0.01592	0.627	0.04059	109.7303	8.06581	120	E560R018.CSV	79.58378

14	A	trans	79.63444	0.01304	0.67934	0.0345	112.182	6.74801	120	E560R019.CSV	79.63444
19	A	trans	79.63267	0.0109	0.62038	0.02761	116.1143	5.88799	120	E560R020.CSV	79.63267
25	A	trans	79.627	0.01686	0.62881	0.04288	121.7619	9.47768	120	E560R021.CSV	79.627
30	A	trans	79.64314	0.01281	0.6431	0.03289	118.7742	7.00384	120	E560R022.CSV	79.64314
-5	A	trans	79.59555	0.01391	0.5908	0.0348	61.74672	4.03815	120	E560R023.CSV	79.59555
-10	A	trans	79.61653	0.01117	0.64723	0.02882	75.48524	3.9007	120	E560R024.CSV	79.61653
-14	A	trans	79.6013	0.0109	0.66184	0.02852	91.54782	4.59273	120	E560R025.CSV	79.6013
-19	A	trans	79.62236	0.01354	0.62429	0.03457	97.50068	6.14298	120	E560R026.CSV	79.62236
-25	A	trans	79.59877	0.01045	0.60414	0.02634	95.89609	4.6724	120	E560R027.CSV	79.59877
-30	A	trans	79.61426	0.01466	0.66945	0.03869	103.5299	7.00692	120	E560R028.CSV	79.61426
0	B	trans	79.67665	0.00903	0.67384	0.02357	120.3286	5.00244	120	E560R029.CSV	79.67665
2	B	trans	79.64603	0.00874	0.67483	0.02285	132.0815	5.3024	120	E560R030.CSV	79.64603
5	B	trans	79.65076	0.01017	0.65696	0.02639	133.3662	6.24994	120	E560R031.CSV	79.65076
9	B	trans	79.62997	0.00937	0.63607	0.02392	119.5169	5.15391	120	E560R032.CSV	79.62997

15	B	trans	79.5975	0.01191	0.6677	0.03116	117.9316	6.4446	120	E560R033.CSV	79.5975
21	B	trans	79.61248	0.01251	0.66702	0.03255	123.8914	7.08617	120	E560R034.CSV	79.61248
28	B	trans	79.60361	0.01641	0.62883	0.04089	114.0733	8.5716	120	E560R035.CSV	79.60361
-2	B	trans	79.67365	0.01287	0.64459	0.03255	92.85355	5.47467	120	E560R036.CSV	79.67365
-5	B	trans	79.68978	0.01132	0.687	0.02948	90.85791	4.69049	120	E560R037.CSV	79.68978
-9	B	trans	79.63604	0.01513	0.6512	0.03869	81.68892	5.65917	120	E560R038.CSV	79.63604
-15	B	trans	79.61846	0.01136	0.62499	0.02901	109.4454	5.75339	120	E560R039.CSV	79.61846
-21	B	trans	79.63258	0.01623	0.64895	0.04119	140.3199	10.42295	120	E560R040.CSV	79.63258
-28	B	trans	79.63355	0.00922	0.63061	0.02297	132.596	5.58402	120	E560R041.CSV	79.63355
0	B	norm	79.63446	0.01195	0.68671	0.03145	449.9518	24.56638	120	E560R042.CSV	79.63446
2	B	norm	79.62707	0.00928	0.68436	0.02466	414.3481	17.7093	120	E560R043.CSV	79.62707
5	B	norm	79.62811	0.00736	0.67643	0.01938	397.0655	13.44639	120	E560R044.CSV	79.62811
9	B	norm	79.6294	0.00971	0.65358	0.02485	413.3477	18.33201	120	E560R045.CSV	79.6294
15	B	norm	79.64777	0.0092	0.65958	0.02367	428.311	18.05446	120	E560R046.CSV	79.64777

21	B	norm	79.64578	0.01188	0.67431	0.03041	400.9266	21.6496	120	E560R047.CSV	79.64578
28	B	norm	79.62953	0.00875	0.66447	0.0224	391.2763	15.58386	120	E560R048.CSV	79.62953
-2	B	norm	79.64548	0.00939	0.69335	0.0248	286.7724	12.32495	120	E560R049.CSV	79.64548
-5	B	norm	79.6509	0.00856	0.6587	0.02175	293.8119	11.4076	120	E560R050.CSV	79.6509
-9	B	norm	79.67489	0.01006	0.67969	0.02654	311.8488	14.43911	120	E560R051.CSV	79.67489
-15	B	norm	79.67164	0.0087	0.68677	0.02306	367.5503	14.70822	120	E560R052.CSV	79.67164
-21	B	norm	79.64343	0.01081	0.64439	0.02728	358.156	17.67643	120	E560R053.CSV	79.64343
-28	B	norm	79.61257	0.00924	0.00924	0.02318	365.9721	15.49456	120	E560R054.CSV	79.61257
0	A	longi	79.61105	0.01697	0.65144	0.04634	94.65269	8.0409	840	E561R007.CSV	79.61105
5	A	longi	79.59426	0.02035	0.70868	0.05869	66.40604	6.91811	120	E561R009.CSV	79.59426
10	A	longi	79.62154	0.01241	0.65672	0.03294	83.35283	5.12673	120	E561R010.CSV	79.62154
14	A	longi	79.65001	0.0198	0.70491	0.05582	98.98626	9.89608	120	E561R011.CSV	79.65001
19	A	longi	79.61883	0.02492	0.65432	0.06899	95.47198	12.0188	120	E561R012.CSV	79.61883
25	A	longi	79.67461	0.01224	0.65815	0.03403	109.2283	6.75791	120	E561R013.CSV	79.67461



30	A	longi	79.6467	0.01324	0.57817	0.03294	108.7747	7.14541	120	E561R014.CSV	79.6467
0	B	longi	79.60111	0.01861	0.7069	0.0533	72.41572	6.90893	120	E561R015.CSV	79.60111
2	B	longi	79.63536	0.01591	0.77219	0.05131	72.72156	6.31538	120	E561R016.CSV	79.63536
5	B	longi	79.59349	0.01442	0.72895	0.04265	67.67438	5.06385	120	E561R017.CSV	79.59349
9	B	longi	79.62377	0.01473	0.65855	0.03942	81.54231	5.98856	120	E561R018.CSV	79.62377
15	B	longi	79.62828	0.01644	0.6685	0.04457	111.4774	9.14934	120	E561R019.CSV	79.62828
21	B	longi	79.65691	0.01687	0.66399	0.04548	115.0658	9.65064	120	E561R020.CSV	79.65691
28	B	longi	79.6588	0.01903	0.66253	0.05158	113.4973	10.82953	120	E561R021.CSV	79.6588
-2	B	longi	79.38631	0.01526	0.63207	0.03964	74.10894	5.49341	120	E569R014.CSV	79.38631
-5	B	longi	79.40273	0.01407	0.5908	0.03547	80.05814	5.56225	120	E569R015.CSV	79.40273
-9	B	longi	79.38303	0.01803	0.68701	0.0491	106.6516	9.32208	120	E569R016.CSV	79.38303
-15	B	longi	79.44915	0.00996	0.59865	0.02535	107.0924	5.25376	120	E569R017.CSV	79.44915
-21	B	longi	79.48928	0.01024	0.66103	0.02779	121.3284	6.18225	120	E569R018.CSV	79.48928
-28	B	longi	79.51192	0.01636	0.65007	0.04395	112.2001	9.1326	120	E569R019.CSV	79.51192

-5	A	longi	79.57934	0.01349	0.67098	0.03861	86.39058	5.95588	120	E563R059.CSV	79.57934
-10	A	longi	79.62786	0.01172	0.67368	0.03596	115.5944	8.18541	120	E563R060.CSV	79.62786
-14	A	longi	79.48294	0.01501	0.67077	0.04132	107.0542	8.02537	120	E569R010.CSV	79.48294
-19	A	longi	79.53882	0.02548	0.63673	0.02548	114.899	5.44821	120	E569R011.CSV	79.53882
-25	A	longi	79.56932	0.01327	0.62462	0.03509	109.4805	7.25032	120	E569R012.CSV	79.56932
-30	A	longi	79.58013	0.01581	0.65693	0.04304	110.1171	8.7343	120	E569R013.CSV	79.58013
<b>S16G1</b>											
Posisi		arah	2θ		W		A		time	nomer file	2θ corr
0	A	normal	79.58812	0.01329	0.69877	0.03631	109.3391	6.69921	60	E535R002.CSV	79.58812
5	A	normal	79.64411	0.01213	0.66877	0.03211	104.698	5.82651	60	E535R003.CSV	79.64411
10	A	normal	79.59428	0.01624	0.64622	0.04145	119.9438	8.93808	60	E535R004.CSV	79.59428
13	A	normal	79.62846	0.0113	0.66075	0.02939	209.7191	10.91791	60	E535R005.CSV	79.62846
17	A	normal	79.64594	0.00978	0.65847	0.02541	204.4361	9.22188	60	E535R006.CSV	79.64594

22	A	normal	79.60587	0.01053	0.64195	0.02695	216.283	10.46596	60	E535R007.CSV	79.60587
29	A	normal	79.59303	0.01153	0.67312	0.0301	226.3609	11.90003	60	E535R008.CSV	79.59303
38	A	normal	79.58583	0.01103	0.62018	0.02761	215.0525	10.92072	60	E535R009.CSV	79.58583
0											
0	A	transv	79.66139	0.01838	0.69952	0.05	58.47432	4.97259	60	E535R0010.CSV	79.66139
5	A	transv	79.63188	0.01373	0.60984	0.03408	62.84401	3.98411	60	E535R0011.CSV	79.63188
10	A	transv	79.58423	0.01411	0.54982	0.03364	58.6582	3.93425	60	E535R0012.CSV	79.58423
13	A	transv	79.59641	0.01629	0.71761	0.04443	63.8347	4.8011	60	E535R0013.CSV	79.59641
17	A	transv	79.64411	0.01213	0.66877	0.03211	104.698	5.82651	60	E537R003.CSV	79.64411
22	A	transv	79.58768	0.0168	0.66762	0.04332	65.15291	4.99802	60	E537R004.CSV	79.58768
29	A	transv	79.59321	0.01759	0.65507	0.04501	67.93781	5.48829	60	E537R005.CSV	79.59321
38	A	transv	79.56128	0.01311	0.63094	0.03377	109.6254	6.65748	60	E537R006.CSV	79.56128
0											
1.5	B	transv	79.65125	0.01359	0.73978	0.03826	58.55119	3.70397	60	E537R007.CSV	79.65125
6.5	B	transv	79.54656	0.01807	0.65961	0.04667	58.37724	4.81624	60	E537R008.CSV	79.54656
9.5	B	transv	79.52332	0.01843	0.68665	0.04861	59.42813	4.96865	60	E537R009.CSV	79.52332

13.5	B	transv	79.54672	0.01136	0.59591	0.02793	64.95134	3.43051	60	E537R010.CSV	79.54672
18.5	B	transv	79.60974	0.01551	0.62991	0.0393	63.39351	4.52842	60	E537R011.CSV	79.60974
23.5	B	transv	79.56558	0.01449	0.65583	0.03737	67.03129	4.45283	60	E537R012.CSV	79.56558
30.5	B	transv	79.58474	0.01032	0.61135	0.02573	65.58283	3.12886	60	E537R013.CSV	79.58474
39.5	B	transv	79.608	0.01386	0.64831	0.03556	129.5517	8.23743	60	E537R014.CSV	79.608
											0
1.5	B	normal	79.58631	0.01399	0.69105	0.03719	105.4523	6.75429	30	E537R015.CSV	79.58631
6.5	B	normal	79.58024	0.01281	0.72239	0.03515	125.1236	7.40356	30	E537R016.CSV	79.58024
9.5	B	normal	79.61436	0.01255	0.68328	0.03323	145.3076	8.38026	30	E537R017.CSV	79.61436
13.5	B	normal	79.61277	0.01262	0.66043	0.03256	144.775	8.36037	30	E537R018.CSV	79.61277
18.5	B	normal	79.58399	0.01227	0.66387	0.03189	141.6635	7.98491	30	E537R019.CSV	79.58399
23.5	B	normal	79.61752	0.00994	0.65517	0.02579	135.4221	6.20631	30	E537R020.CSV	79.61752
30.5	B	normal	79.5987	0.01016	0.64208	0.0259	132.3781	6.16331	30	E537R021.CSV	79.5987
39.5	B	normal	79.57896	0.0121	0.66296	0.03141	134.425	7.45571	30	E537R022.CSV	79.57896
											0

-5	B	normal	79.62015	0.0122	0.69945	0.03289	114.7543	6.45455	30	E537R023.CSV	79.62015
0	B	normal	79.60651	0.01959	0.751	0.05557	85.78775	7.8597	30	E537R024.CSV	79.60651
-5	B	normal	79.61212	0.01043	0.6962	0.02801	94.48789	4.53478	30	E537R025.CSV	79.61212
-8	B	normal	79.63361	0.01639	0.71991	0.04512	102.309	7.76488	30	E537R026.CSV	79.63361
											0
-12	B	normal	79.64684	0.00992	0.64123	0.0254	104.7854	4.78911	30	E537R028.CSV	79.64684
-17	B	normal	79.58814	0.00984	0.59652	0.02427	107.7256	4.92614	30	E537R029.CSV	79.58814
-22	B	normal	79.57491	0.01248	0.68169	0.03291	108.4763	6.19989	30	E537R030.CSV	79.57491
-29	B	normal	79.57527	0.01106	0.66413	0.02876	105.7538	5.35631	30	E537R031.CSV	79.57527
-39.5	B	normal	79.64506	0.00977	0.66015	0.02537	126.9568	5.68362	30	E537R032.CSV	79.64506
											0
-5	B	transv	79.56999	0.01913	0.68069	0.05014	46.03341	4.00564	60	E537R033.CSV	79.56999
-8	B	transv	79.51969	0.01972	0.64312	0.04981	42.15918	3.77434	60	E537R034.CSV	79.51969
-12	B	transv	79.55442	0.02338	0.72154	0.0637	47.80013	5.12367	60	E537R035.CSV	79.55442
-17	B	transv	79.57653	0.02002	0.64824	0.05132	52.06901	4.77763	60	E537R036.CSV	79.57653

-22	B	transv	79.59568	0.01439	0.60148	0.03566	62.76483	4.19138	60	E537R037.CSV	79.59568
-29	B	transv	79.55134	0.02037	0.64235	0.05187	70.16496	6.54525	60	E537R038.CSV	79.55134
-39.5	B	transv	79.66078	0.01051	0.63751	0.02689	66.19363	3.2058	60	E537R039.CSV	79.66078
											0
-5	A	transv	79.62102	0.02727	0.65535	0.07057	47.78407	5.98335	60	E537R040.CSV	79.62102
-10	A	transv	79.60575	0.01726	0.69171	0.04595	41.28672	3.26999	60	E537R041.CSV	79.60575
-13	A	transv	79.59131	0.01539	0.7166	0.042	44.19414	3.1331	60	E537R042.CSV	79.59131
-17	A	transv	79.61834	0.01639	0.66033	0.04238	57.6068	4.312	60	E537R043.CSV	79.61834
-22	A	transv	79.60368	0.01924	0.64564	0.04924	62.0096	5.47135	60	E537R044.CSV	79.60368
-29	A	transv	79.58213	0.01859	0.65327	0.04792	57.86803	4.92967	60	E537R045.CSV	79.58213
38	A	transv	79.61326	0.01168	0.61399	0.02917	58.78985	3.16989	60	E537R046.CSV	79.61326
											0
-5	A	normal	79.61566	0.01289	0.65801	0.03343	91.93001	5.43774	50	E537R047.CSV	79.61566
-10	A	normal	79.59772	0.01653	0.69236	0.04406	124.0586	9.40425	50	E537R048.CSV	79.59772
-13	A	normal	79.5999	0.01116	0.66164	0.02894	160.2724	8.19002	50	E537R049.CSV	79.5999



-17	A	normal	79.60917	0.00844	0.64482	0.0216	184.1569	7.12873	50	E537R050.CSV	79.60917
-22	A	normal	79.59704	0.01214	0.66285	0.03158	203.6565	11.33159	50	E537R051.CSV	79.59704
-29	A	normal	79.55675	0.00974	0.66451	0.02523	173.4808	7.71392	50	E537R052.CSV	79.55675
-38	A	normal	79.6127	0.0091	0.65338	0.02352	215.0819	8.9834	50	E537R053.CSV	79.6127
											0
0	A	Longi	79.56573	0.01522	0.6767	0.03778	64.14945	4.0395	120	E539R001.CSV	79.56573
5	A	Longi	79.6154	0.01797	0.713	0.05315	82.12256	7.68314	120	E539R002.CSV	79.6154
10	A	Longi	79.57512	0.01318	0.66255	0.03629	100.1916	6.651	120	E539R003.CSV	79.57512
13	A	Longi	79.55194	0.01903	0.70707	0.05526	112.6061	10.9983	120	E539R004.CSV	79.55194
17	A	Longi	79.58171	0.01095	0.59415	0.02813	111.6217	6.09823	120	E539R005.CSV	79.58171
22	A	Longi	79.60773	0.0156	0.67851	0.04388	116.8578	9.23964	120	E539R006.CSV	79.60773
29	A	Longi	79.65311	0.01116	0.71199	0.03297	122.1253	7.1071	120	E539R007.CSV	79.65311
38	A	Longi	79.65706	0.00912	0.66589	0.02543	120.4355	5.58198	120	E539R008.CSV	79.65706
											0
1.5	B	Longi	79.51173	0.02774	0.74307	0.08357	59.81453	8.6456	120	E539R009.CSV	79.51173

6.5	B	Longi	79.56047	0.01512	0.66287	0.0417	78.56699	5.98347	120	E539R010.CSV	79.56047
9.5	B	Longi	79.60501	0.01259	0.68771	0.03587	87.99723	5.6665	120	E539R011.CSV	79.60501
13.5	B	Longi	79.60675	0.01422	0.66123	0.04469	105.4443	9.46805	120	E539R012.CSV	79.60675
18.5	B	Longi	79.62676	0.01063	0.67011	0.0294	129.6892	6.93839	120	E540R002.CSV	79.62676
23.5	B	Longi	79.66239	0.0103	0.63911	0.02791	100.6842	5.18546	120	E540R003.CSV	79.66239
29.5	B	Longi	79.65259	0.01557	0.62535	0.03916	107.8422	7.72439	120	E540R004.CSV	79.65259
39.5	B	Longi	79.60495	0.0138	0.69538	0.03945	112.9653	7.93965	120	E540R005.CSV	79.60495
											0
-5	A	Longi	79.54148	0.01754	0.68178	0.04903	77.45614	6.86327	120	E541R005.CSV	79.54148
-10	A	Longi	79.55269	0.01501	0.67849	0.04207	95.45817	7.27789	120	E541R006.CSV	79.55269
-13	A	Longi	79.57324	0.01274	0.68371	0.03599	103.3468	6.68367	120	E541R007.CSV	79.57324
-17	A	Longi	79.57219	0.01407	0.65228	0.03819	111.8649	7.87996	120	E541R008.CSV	79.57219
-22	A	Longi	79.61688	0.01408	0.65594	0.0385	107.0192	7.57221	120	E541R009.CSV	79.61688
-29	A	Longi	79.63995	0.01259	0.62567	0.03339	104.1383	6.55265	120	E541R010.CSV	79.63995
-38	A	Longi	79.55395	0.01611	0.61311	0.04188	109.8032	8.78715	120	E541R011.CSV	79.55395

											0
-1.5	B	Longi	79.53116	0.01862	0.68585	0.05236	66.09795	6.21538	120	E541R012.CSV	79.53116
-6.5	B	Longi	79.55537	0.02145	0.76605	0.06726	72.43724	8.33682	120	E541R013.CSV	79.55537
-9.5	B	Longi	79.57052	0.0127	0.67411	0.03519	85.06292	5.41726	120	E541R014.CSV	79.57052
-13.5	B	Longi	79.62888	0.01384	0.67068	0.03859	107.7192	7.55047	120	E541R015.CSV	79.62888
-18.5	B	Longi	79.64212	0.0088	0.64215	0.02372	111.5464	4.9202	120	E541R016.CSV	79.64212
-23.5	B	Longi	79.67907	0.01607	0.64025	0.04323	114.2666	9.19733	120	E541R017.CSV	79.67907
-29.5	B	Longi	79.69681	0.0166	0.69801	0.04792	131.9944	11.26404	120	E541R018.CSV	79.69681
-39.5	B	Longi	79.43865	0.01465	0.68009	0.04025	106.5741	7.73196	120	E541R019.CSV	79.43865
Lambda	<b>1.8E+0</b>										
2Theta offset	-0.0537										

## Lampiran 3

## Hasil perhitungan tegangan sisa

S16G1							
Powder (Do)		1.433501286		E (pa) Steel	2E+11	E/(1+n)(1-2n)	6.1538E+10
Bulk	Longitudinal	1.434103196		$\nu$	0.3		
Bulk	Normal	1.434131439					
Bulk	Transverse	1.433446969					
Posisi		arah	d	strain (bulk d0 ref)	$\sigma$	strain (d0 powder ref)	$\sigma$
0	A	normal	1.434191536	4.19E-05	2.6E+6	4.82E-04	29.6E+6
5	A	normal	1.433350953	-5.44E-04	-33.5E+6	-1.05E-04	-6.5E+6
10	A	normal	1.43409899	-2.26E-05	-1.4E+6	4.17E-04	25.7E+6
13	A	normal	1.433585774	-3.80E-04	-23.4E+6	5.89E-05	3.6E+6
17	A	normal	1.433323501	-5.63E-04	-34.7E+6	-1.24E-04	-7.6E+6
22	A	normal	1.43392491	-1.44E-04	-8.9E+6	2.96E-04	18.2E+6
29	A	normal	1.434117768	-9.53E-06	-586.6E+3	4.30E-04	26.5E+6
38	A	normal	1.434225944	6.59E-05	4.1E+6	5.06E-04	31.1E+6
0	A	transv	1.433091794	-2.48E-04	-15.2E+6	-2.86E-04	-17.6E+6
5	A	transv	1.433534449	6.10E-05	3.8E+6	2.31E-05	1.4E+6
10	A	transv	1.434249986	5.60E-04	34.5E+6	5.22E-04	32.1E+6
13	A	transv	1.434066993	4.33E-04	26.6E+6	3.95E-04	24.3E+6
17	A	transv	1.433350953	-6.70E-05	-4.1E+6	-1.05E-04	-6.5E+6
22	A	transv	1.434198147	5.24E-04	32.2E+6	4.86E-04	29.9E+6
29	A	transv	1.434115064	4.66E-04	28.7E+6	4.28E-04	26.3E+6
38	A	transv	1.434594958	8.01E-04	49.3E+6	7.63E-04	47.0E+6
0	B	transv	1.433243855	-1.42E-04	-8.7E+6	-1.80E-04	-11.1E+6
5	B	transv	1.434816339	9.55E-04	58.8E+6	9.17E-04	56.5E+6
8	B	transv	1.435166044	1.20E-03	73.8E+6	1.16E-03	71.5E+6
12	B	transv	1.434813932	9.54E-04	58.7E+6	9.16E-04	56.4E+6
17	B	transv	1.433866795	2.93E-04	18.0E+6	2.55E-04	15.7E+6
22	B	transv	1.434530306	7.56E-04	46.5E+6	7.18E-04	44.2E+6
29	B	transv	1.434242322	5.55E-04	34.1E+6	5.17E-04	31.8E+6
38	B	transv	1.433892923	3.11E-04	19.1E+6	2.73E-04	16.8E+6

0	B	normal	1.434218732	6.09E-05	3.7E+6	5.00E-04	30.8E+6
5	B	normal	1.434309945	1.24E-04	7.7E+6	5.64E-04	34.7E+6
8	B	normal	1.433797427	-2.33E-04	-14.3E+6	2.07E-04	12.7E+6
12	B	normal	1.433821299	-2.16E-04	-13.3E+6	2.23E-04	13.7E+6
17	B	normal	1.434253592	8.52E-05	5.2E+6	5.25E-04	32.3E+6
22	B	normal	1.433749985	-2.66E-04	-16.4E+6	1.73E-04	10.7E+6
29	B	normal	1.434032595	-6.89E-05	-4.2E+6	3.71E-04	22.8E+6
38	B	normal	1.434329182	1.38E-04	8.5E+6	5.78E-04	35.5E+6
0	B	normal	1.433915298	-1.51E-04	-9.3E+6	2.89E-04	17.8E+6
-5	B	normal	1.433831059	-2.09E-04	-12.9E+6	2.30E-04	14.2E+6
-8	B	normal	1.433508489	-4.34E-04	-26.7E+6	5.02E-06	309.2E+3
-12	B	normal	1.433310001	-5.73E-04	-35.2E+6	-1.33E-04	-8.2E+6
-17	B	normal	1.434191235	4.17E-05	2.6E+6	4.81E-04	29.6E+6
-22	B	normal	1.434390052	1.80E-04	11.1E+6	6.20E-04	38.2E+6
-29	B	normal	1.434384641	1.77E-04	10.9E+6	6.16E-04	37.9E+6
-38	B	normal	1.433336702	-5.54E-04	-34.1E+6	-1.15E-04	-7.1E+6
-5	B	transv	1.434464008	7.10E-04	43.7E+6	6.72E-04	41.3E+6
-8	B	transv	1.435220687	1.24E-03	76.1E+6	1.20E-03	73.8E+6
-12	B	transv	1.434698118	8.73E-04	53.7E+6	8.35E-04	51.4E+6
-17	B	transv	1.434365703	6.41E-04	39.4E+6	6.03E-04	37.1E+6
-22	B	transv	1.434077959	4.40E-04	27.1E+6	4.02E-04	24.8E+6
-29	B	transv	1.43474444	9.05E-04	55.7E+6	8.67E-04	53.4E+6
38	B	transv	1.433100941	-2.41E-04	-14.9E+6	-2.79E-04	-17.2E+6
-5	A	transv	1.433697444	1.75E-04	10.8E+6	1.37E-04	8.4E+6
-10	A	transv	1.433926712	3.35E-04	20.6E+6	2.97E-04	18.3E+6
-13	A	transv	1.434143608	4.86E-04	29.9E+6	4.48E-04	27.6E+6
-17	A	transv	1.433737675	2.03E-04	12.5E+6	1.65E-04	10.1E+6
-22	A	transv	1.433957799	3.56E-04	21.9E+6	3.18E-04	19.6E+6
-29	A	transv	1.434281543	5.82E-04	35.8E+6	5.44E-04	33.5E+6
38	A	transv	1.433813942	2.56E-04	15.8E+6	2.18E-04	13.4E+6
-5	A	normal	1.433777909	-2.47E-04	-15.2E+6	1.93E-04	11.9E+6
-10	A	normal	1.434047316	-5.87E-05	-3.6E+6	3.81E-04	23.4E+6
-13	A	normal	1.434014571	-8.15E-05	-5.0E+6	3.58E-04	22.0E+6
-17	A	normal	1.433875354	-1.79E-04	-11.0E+6	2.61E-04	16.1E+6
-22	A	normal	1.43405753	-5.15E-05	-3.2E+6	3.88E-04	23.9E+6
-29	A	normal	1.434663077	3.71E-04	22.8E+6	8.10E-04	49.9E+6

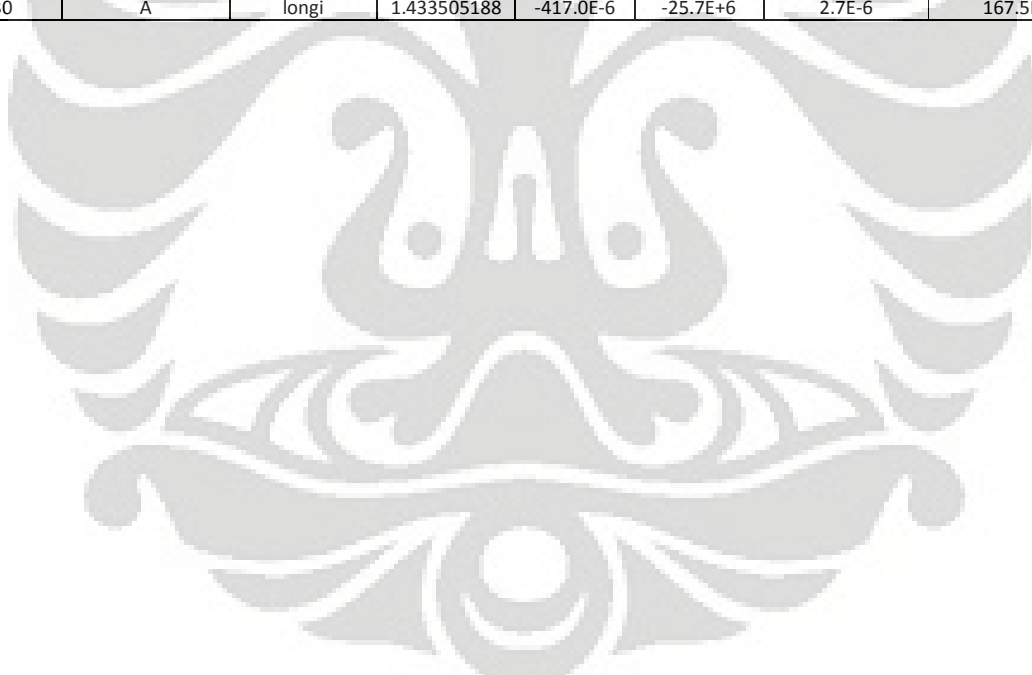
-38	A	normal	1.43382235	-2.16E-04	-13.3E+6	2.24E-04	13.8E+6
0	A	Longi	1.434528051	2.96E-04	18.2E+6	7.16E-04	44.1E+6
5	A	Longi	1.433781813	-2.24E-04	-13.8E+6	1.96E-04	12.0E+6
10	A	Longi	1.434386896	1.98E-04	12.2E+6	6.18E-04	38.0E+6
13	A	Longi	1.434735416	4.41E-04	27.1E+6	8.61E-04	53.0E+6
17	A	Longi	1.434287854	1.29E-04	7.9E+6	5.49E-04	33.8E+6
22	A	Longi	1.433896978	-1.44E-04	-8.8E+6	2.76E-04	17.0E+6
29	A	Longi	1.433215959	-6.19E-04	-38.1E+6	-1.99E-04	-12.2E+6
38	A	Longi	1.433156722	-6.60E-04	-40.6E+6	-2.40E-04	-14.8E+6
1.5	B	Longi	1.43534053	8.63E-04	53.1E+6	1.28E-03	79.0E+6
6.5	B	Longi	1.434607138	3.51E-04	21.6E+6	7.71E-04	47.5E+6
9.5	B	Longi	1.433937825	-1.15E-04	-7.1E+6	3.05E-04	18.7E+6
13.5	B	Longi	1.433911694	-1.34E-04	-8.2E+6	2.86E-04	17.6E+6
18.5	B	Longi	1.433611288	-3.43E-04	-21.1E+6	7.67E-05	4.7E+6
23.5	B	Longi	1.433076801	-7.16E-04	-44.0E+6	-2.96E-04	-18.2E+6
29.5	B	Longi	1.433223757	-6.13E-04	-37.7E+6	-1.94E-04	-11.9E+6
39.5	B	Longi	1.433938726	-1.15E-04	-7.1E+6	3.05E-04	18.8E+6
-5	A	Longi	1.434892761	5.51E-04	33.9E+6	9.71E-04	59.7E+6
-10	A	Longi	1.434724136	4.33E-04	26.6E+6	8.53E-04	52.5E+6
-13	A	Longi	1.434415154	2.18E-04	13.4E+6	6.38E-04	39.2E+6
-17	A	Longi	1.434430937	2.29E-04	14.1E+6	6.49E-04	39.9E+6
-22	A	Longi	1.433759593	-2.40E-04	-14.7E+6	1.80E-04	11.1E+6
-29	A	Longi	1.433413361	-4.81E-04	-29.6E+6	-6.13E-05	-3.8E+6
-38	A	Longi	1.434705186	4.20E-04	25.8E+6	8.40E-04	51.7E+6
-1.5	B	Longi	1.435048045	6.59E-04	40.5E+6	1.08E-03	66.4E+6
-6.5	B	Longi	1.43468383	4.05E-04	24.9E+6	8.25E-04	50.8E+6
-9.5	B	Longi	1.434456041	2.46E-04	15.1E+6	6.66E-04	41.0E+6
-13.5	B	Longi	1.433579471	-3.65E-04	-22.5E+6	5.45E-05	3.4E+6
-18.5	B	Longi	1.433380806	-5.04E-04	-31.0E+6	-8.40E-05	-5.2E+6
-23.5	B	Longi	1.432826768	-8.90E-04	-54.8E+6	-4.71E-04	-29.0E+6
-29.5	B	Longi	1.432560975	-1.08E-03	-66.2E+6	-6.56E-04	-40.4E+6
-39.5	B	Longi	1.436442061	1.63E-03	100.4E+6	2.05E-03	126.2E+6

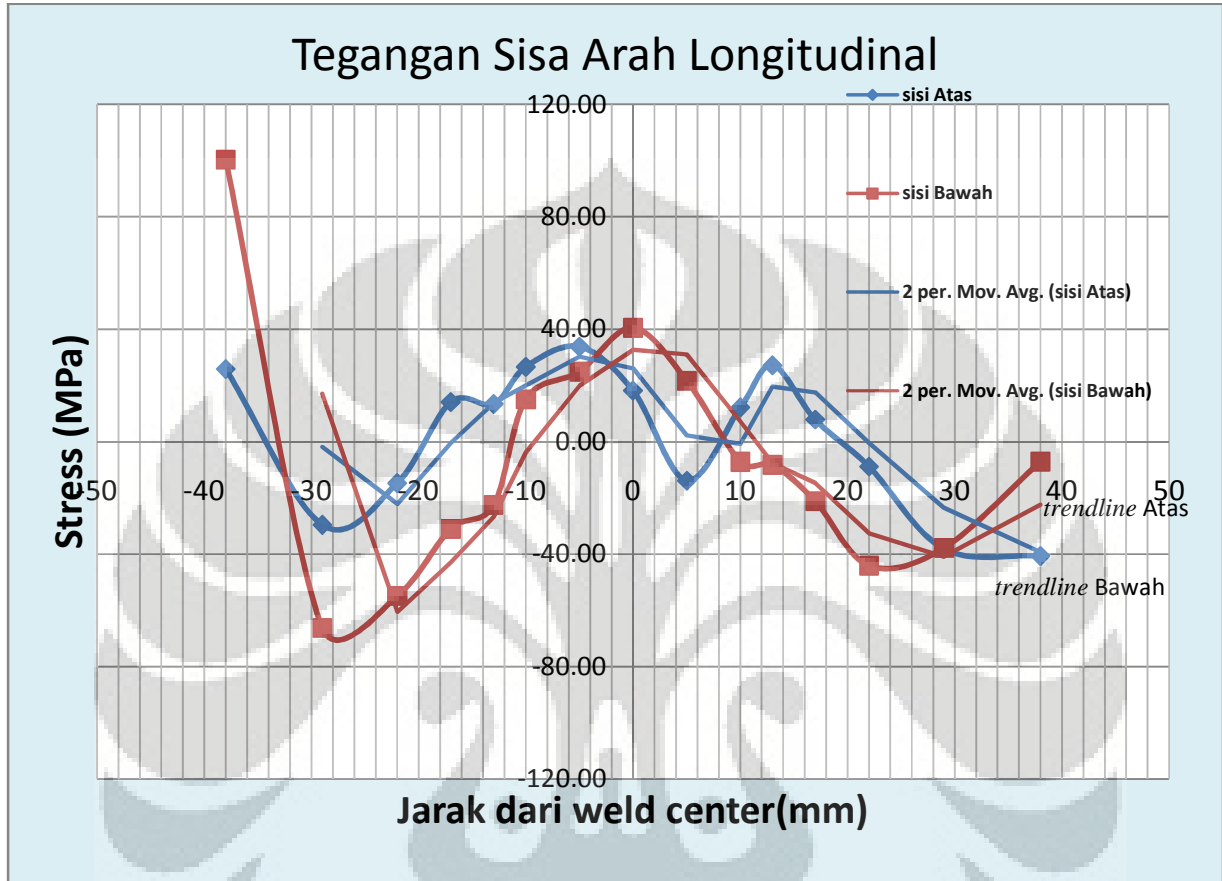


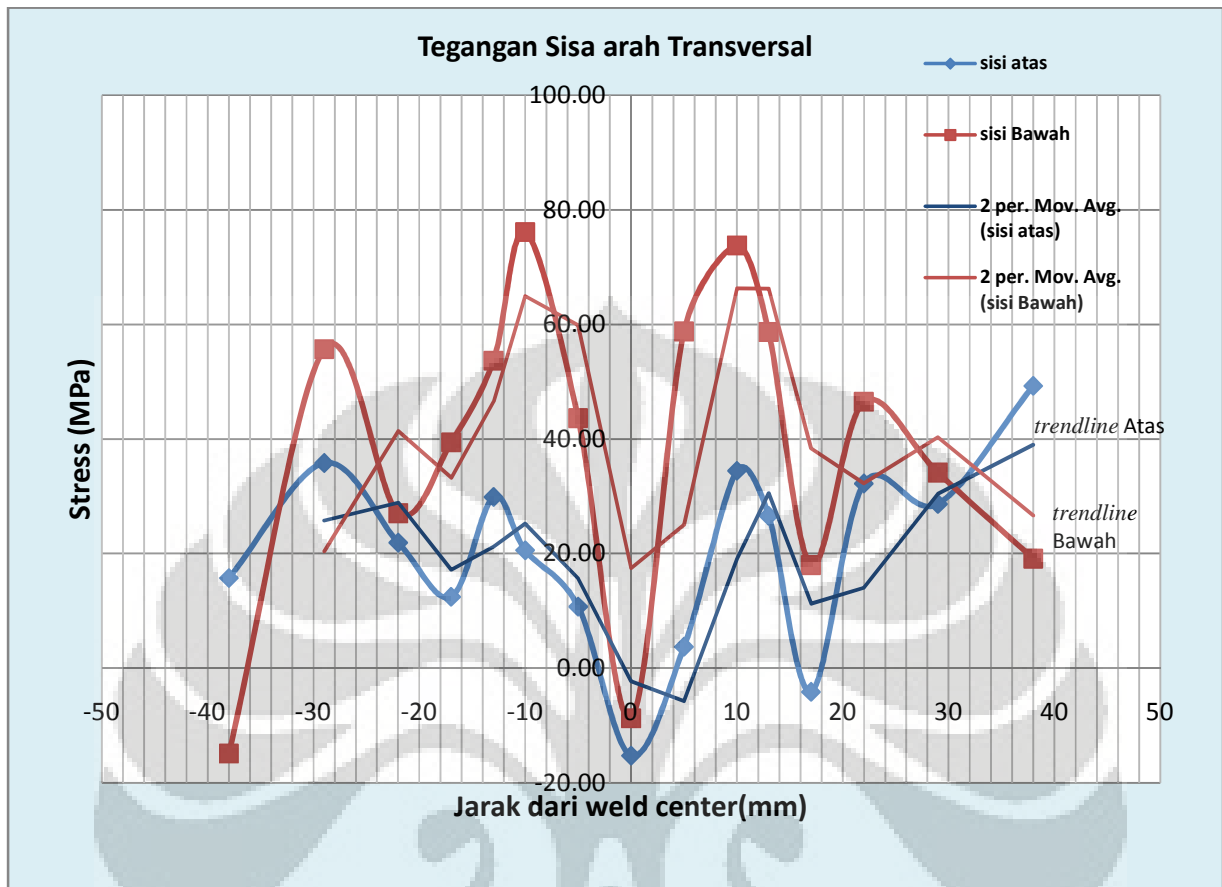
S16G3							
<b>Powder (Do)</b>		1.433501286		E (pa) Steel	2E+11	$E/(1+n)(1-2n)$	61538461538
<b>Bulk</b>	<b>Longitudinal</b>	1.434103196		n	0.3		
<b>Bulk</b>	<b>Normal</b>	1.434131439					
<b>Bulk</b>	<b>Transverse</b>	1.433446969					
				<b>(d0 ref bulk)</b>	<b>ref bulk</b>	<b>d0 ref powder</b>	<b>powder ref</b>
<b>Posisi</b>		<b>arah</b>	<b>d</b>	<b>strain</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>strain</b>	<b><math>\sigma</math></b>
0	A	normal	1.43150212	-1.8E-3	-112.8E+6	-1.4E-3	-85.8E+6
5	A	normal	1.432015272	-1.5E-3	-90.8E+6	-1.0E-3	-63.8E+6
10	A	normal	1.431906947	-1.6E-3	-95.5E+6	-1.1E-3	-68.4E+6
14	A	normal	1.432166426	-1.4E-3	-84.3E+6	-931.2E-6	-57.3E+6
19	A	normal	1.432428577	-1.2E-3	-73.1E+6	-748.3E-6	-46.1E+6
25	A	normal	1.432465717	-1.2E-3	-71.5E+6	-722.4E-6	-44.5E+6
30	A	normal	1.432799193	-929.0E-6	-57.2E+6	-489.8E-6	-30.1E+6
-5	A	normal	1.432061811	-1.4E-3	-88.8E+6	-1.0E-3	-61.8E+6
-10	A	normal	1.432559327	-1.1E-3	-67.5E+6	-657.1E-6	-40.4E+6
-14	A	normal	1.432371525	-1.2E-3	-75.5E+6	-788.1E-6	-48.5E+6
-19	A	normal	1.432333493	-1.3E-3	-77.1E+6	-814.6E-6	-50.1E+6
-25	A	normal	1.432745248	-966.6E-6	-59.5E+6	-527.4E-6	-32.5E+6
-30	A	normal	1.433042467	-759.3E-6	-46.7E+6	-320.1E-6	-19.7E+6
0	A	trans	1.433338052	-76.0E-6	-4.7E+6	-113.9E-6	-7.0E+6
5	A	trans	1.43340676	-28.1E-6	-1.7E+6	-65.9E-6	-4.1E+6
10	A	trans	1.43345042	2.4E-6	148.1E+3	-35.5E-6	-2.2E+6
14	A	trans	1.432690858	-527.5E-6	-32.5E+6	-565.3E-6	-34.8E+6
19	A	trans	1.432717378	-509.0E-6	-31.3E+6	-546.8E-6	-33.7E+6
25	A	trans	1.43280234	-449.7E-6	-27.7E+6	-487.6E-6	-30.0E+6
30	A	trans	1.432560525	-618.4E-6	-38.1E+6	-656.3E-6	-40.4E+6
-5	A	trans	1.433273852	-120.8E-6	-7.4E+6	-158.7E-6	-9.8E+6
-10	A	trans	1.432959265	-340.2E-6	-20.9E+6	-378.1E-6	-23.3E+6
-14	A	trans	1.433187614	-180.9E-6	-11.1E+6	-218.8E-6	-13.5E+6
-19	A	trans	1.432871879	-401.2E-6	-24.7E+6	-439.1E-6	-27.0E+6
-25	A	trans	1.433225557	-154.5E-6	-9.5E+6	-192.3E-6	-11.8E+6
-30	A	trans	1.432993293	-316.5E-6	-19.5E+6	-354.4E-6	-21.8E+6

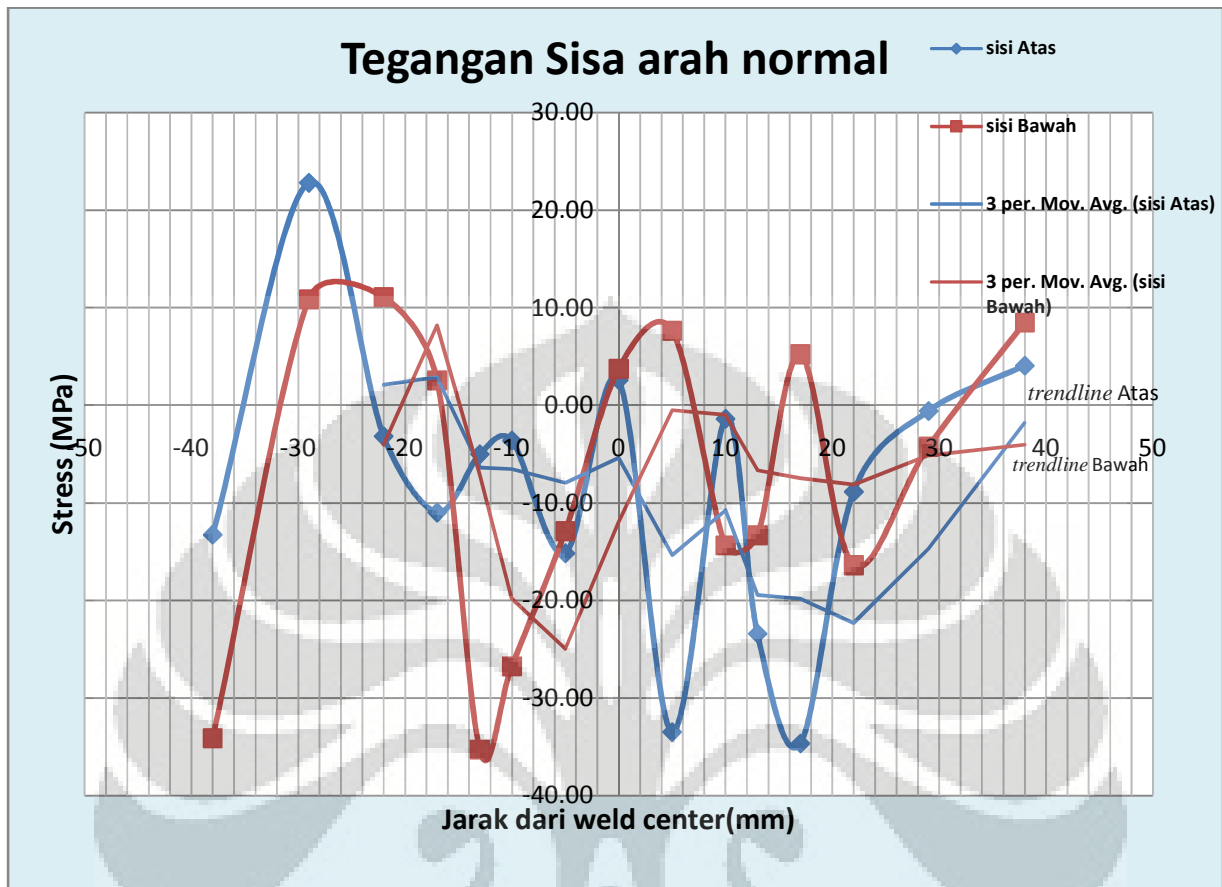
0	B	trans	1.432058818	-968.4E-6	-59.6E+6	-1.0E-3	-61.9E+6
2	B	trans	1.432517238	-648.6E-6	-39.9E+6	-686.5E-6	-42.2E+6
5	B	trans	1.432446398	-698.0E-6	-43.0E+6	-735.9E-6	-45.3E+6
9	B	trans	1.432757835	-480.8E-6	-29.6E+6	-518.6E-6	-31.9E+6
15	B	trans	1.433244604	-141.2E-6	-8.7E+6	-179.1E-6	-11.0E+6
21	B	trans	1.433019978	-297.9E-6	-18.3E+6	-335.8E-6	-20.7E+6
28	B	trans	1.433152973	-205.1E-6	-12.6E+6	-243.0E-6	-15.0E+6
-2	B	trans	1.432103714	-937.1E-6	-57.7E+6	-974.9E-6	-60.0E+6
-5	B	trans	1.431862366	-1.1E-3	-68.0E+6	-1.1E-3	-70.4E+6
-9	B	trans	1.432666886	-544.2E-6	-33.5E+6	-582.1E-6	-35.8E+6
-15	B	trans	1.432930334	-360.4E-6	-22.2E+6	-398.3E-6	-24.5E+6
-21	B	trans	1.432718726	-508.0E-6	-31.3E+6	-545.9E-6	-33.6E+6
-28	B	trans	1.432704193	-518.2E-6	-31.9E+6	-556.0E-6	-34.2E+6
0	B	norm	1.432690558	-1.0E-3	-61.8E+6	-565.6E-6	-34.8E+6
2	B	norm	1.432801291	-927.5E-6	-57.1E+6	-488.3E-6	-30.0E+6
5	B	norm	1.432785707	-938.4E-6	-57.7E+6	-499.2E-6	-30.7E+6
9	B	norm	1.432766376	-951.8E-6	-58.6E+6	-512.7E-6	-31.5E+6
15	B	norm	1.432491177	-1.1E-3	-70.4E+6	-704.6E-6	-43.4E+6
21	B	norm	1.432520982	-1.1E-3	-69.1E+6	-683.9E-6	-42.1E+6
28	B	norm	1.432764428	-953.2E-6	-58.7E+6	-514.0E-6	-31.6E+6
-2	B	norm	1.432525476	-1.1E-3	-68.9E+6	-680.7E-6	-41.9E+6
-5	B	norm	1.432444301	-1.2E-3	-72.4E+6	-737.3E-6	-45.4E+6
-9	B	norm	1.432085156	-1.4E-3	-87.8E+6	-987.9E-6	-60.8E+6
-15	B	norm	1.432133797	-1.4E-3	-85.7E+6	-954.0E-6	-58.7E+6
-21	B	norm	1.432556181	-1.1E-3	-67.6E+6	-659.3E-6	-40.6E+6
-28	B	norm	1.433018629	-775.9E-6	-47.8E+6	-336.7E-6	-20.7E+6
0	A	longi	1.433041417	-740.4E-6	-45.6E+6	-320.8E-6	-19.7E+6
5	A	longi	1.433293201	-564.8E-6	-34.8E+6	-145.2E-6	-8.9E+6
10	A	longi	1.432884169	-850.0E-6	-52.3E+6	-430.5E-6	-26.5E+6
14	A	longi	1.43245763	-1.1E-3	-70.6E+6	-728.0E-6	-44.8E+6
19	A	longi	1.432924788	-821.7E-6	-50.6E+6	-402.2E-6	-24.7E+6
25	A	longi	1.432089347	-1.4E-3	-86.4E+6	-985.0E-6	-60.6E+6
30	A	longi	1.432507203	-1.1E-3	-68.5E+6	-693.5E-6	-42.7E+6
0	B	longi	1.433190464	-636.4E-6	-39.2E+6	-216.8E-6	-13.3E+6
2	B	longi	1.432677074	-994.4E-6	-61.2E+6	-575.0E-6	-35.4E+6
5	B	longi	1.433304751	-556.8E-6	-34.3E+6	-137.1E-6	-8.4E+6

9	B	longi	1.432850747	-873.3E-6	-53.7E+6	-453.8E-6	-27.9E+6
15	B	longi	1.432783159	-920.5E-6	-56.6E+6	-501.0E-6	-30.8E+6
21	B	longi	1.432354305	-1.2E-3	-75.0E+6	-800.1E-6	-49.2E+6
28	B	longi	1.432326007	-1.2E-3	-76.3E+6	-819.9E-6	-50.5E+6
-2	B	longi	1.436421541	1.6E-3	99.5E+6	2.0E-3	125.4E+6
-5	B	longi	1.436173855	1.4E-3	88.9E+6	1.9E-3	114.7E+6
-9	B	longi	1.436471032	1.7E-3	101.6E+6	2.1E-3	127.5E+6
-15	B	longi	1.435474257	956.0E-6	58.8E+6	1.4E-3	84.7E+6
-21	B	longi	1.434870194	534.8E-6	32.9E+6	954.9E-6	58.8E+6
-28	B	longi	1.434529705	297.4E-6	18.3E+6	717.4E-6	44.1E+6
-5	A	longi	1.433517042	-408.7E-6	-25.2E+6	11.0E-6	676.4E+3
-10	A	longi	1.432789453	-916.1E-6	-56.4E+6	-496.6E-6	-30.6E+6
-14	A	longi	1.434965583	601.3E-6	37.0E+6	1.0E-3	62.9E+6
-19	A	longi	1.43412543	15.5E-6	954.1E+3	435.4E-6	26.8E+6
-25	A	longi	1.433667423	-303.9E-6	-18.7E+6	115.9E-6	7.1E+6
-30	A	longi	1.433505188	-417.0E-6	-25.7E+6	2.7E-6	167.5E+3

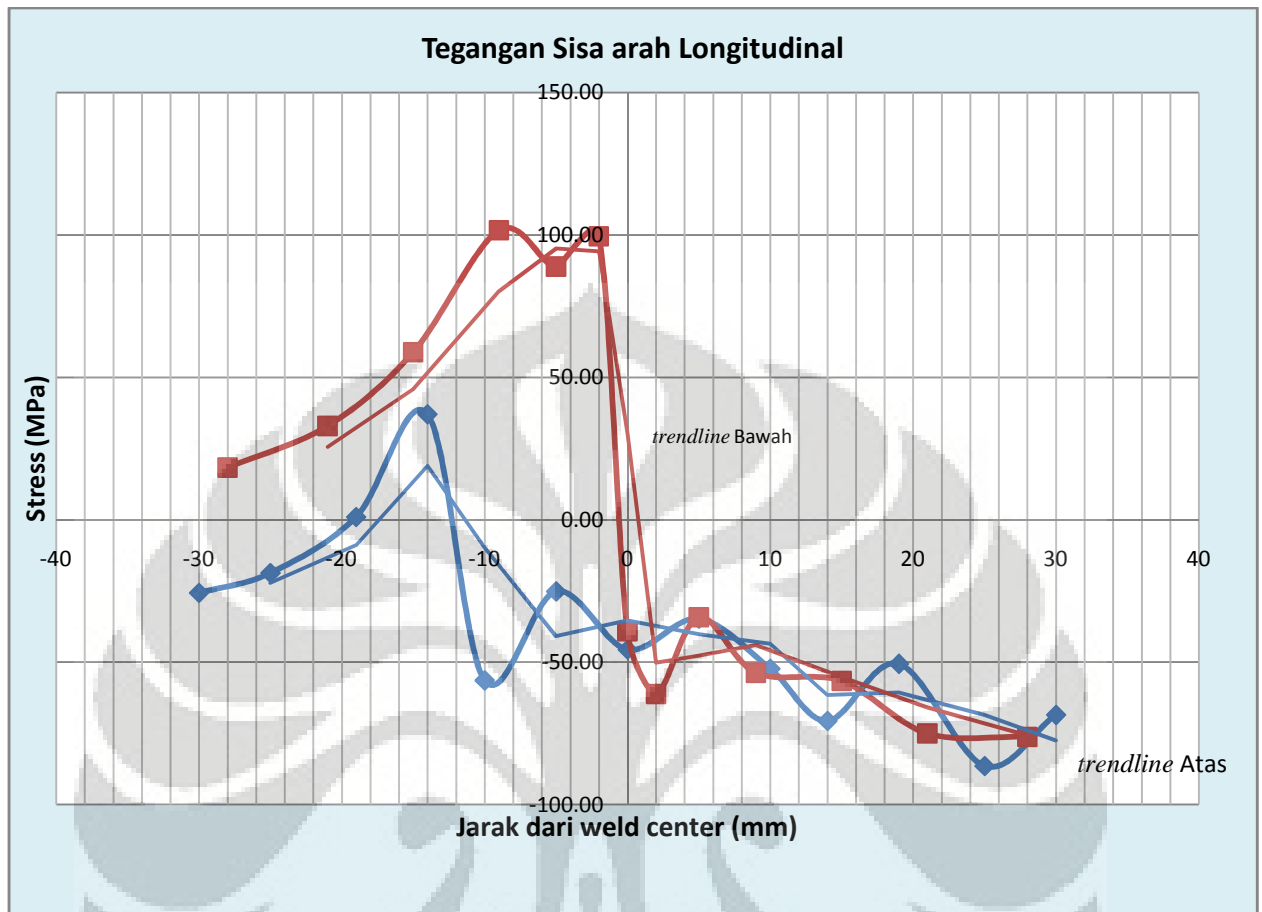




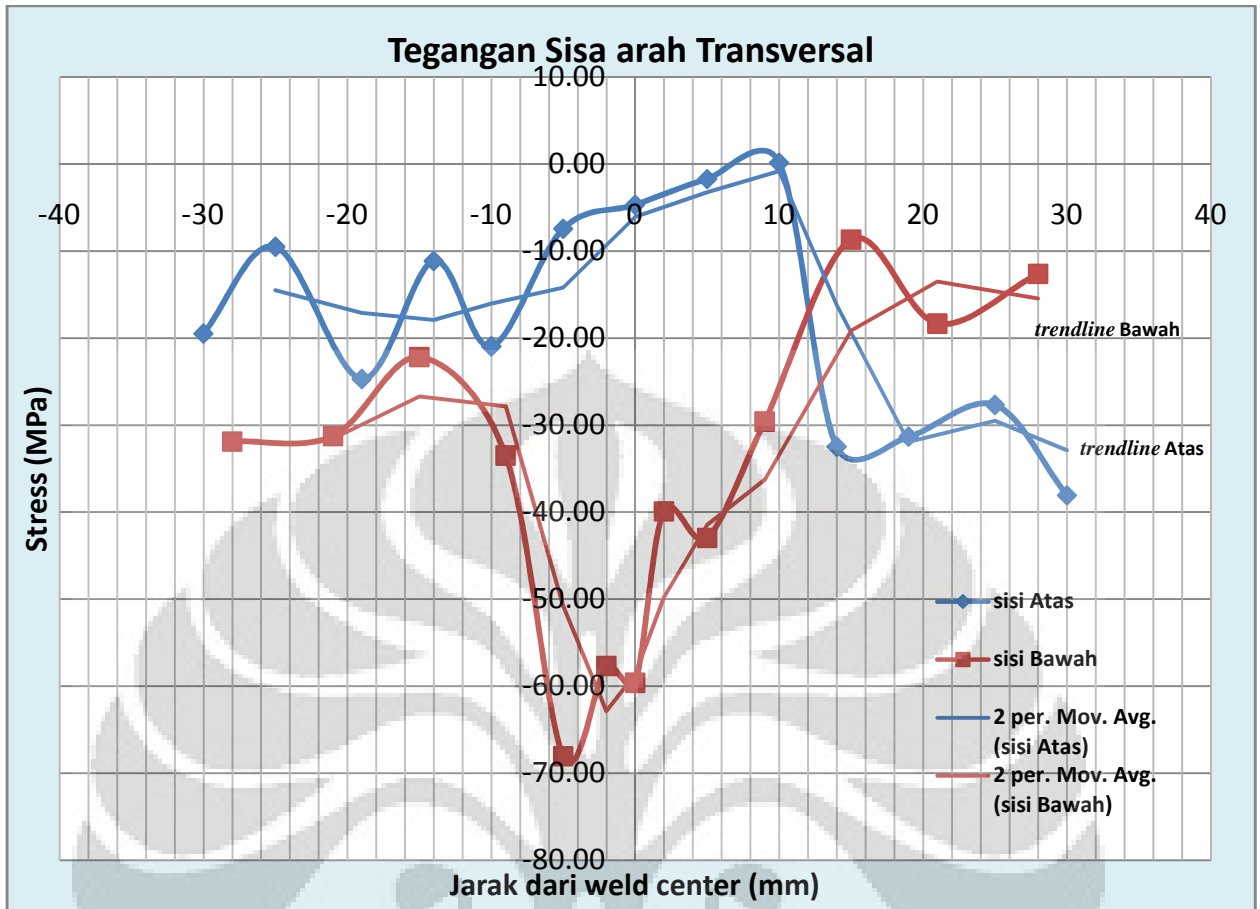


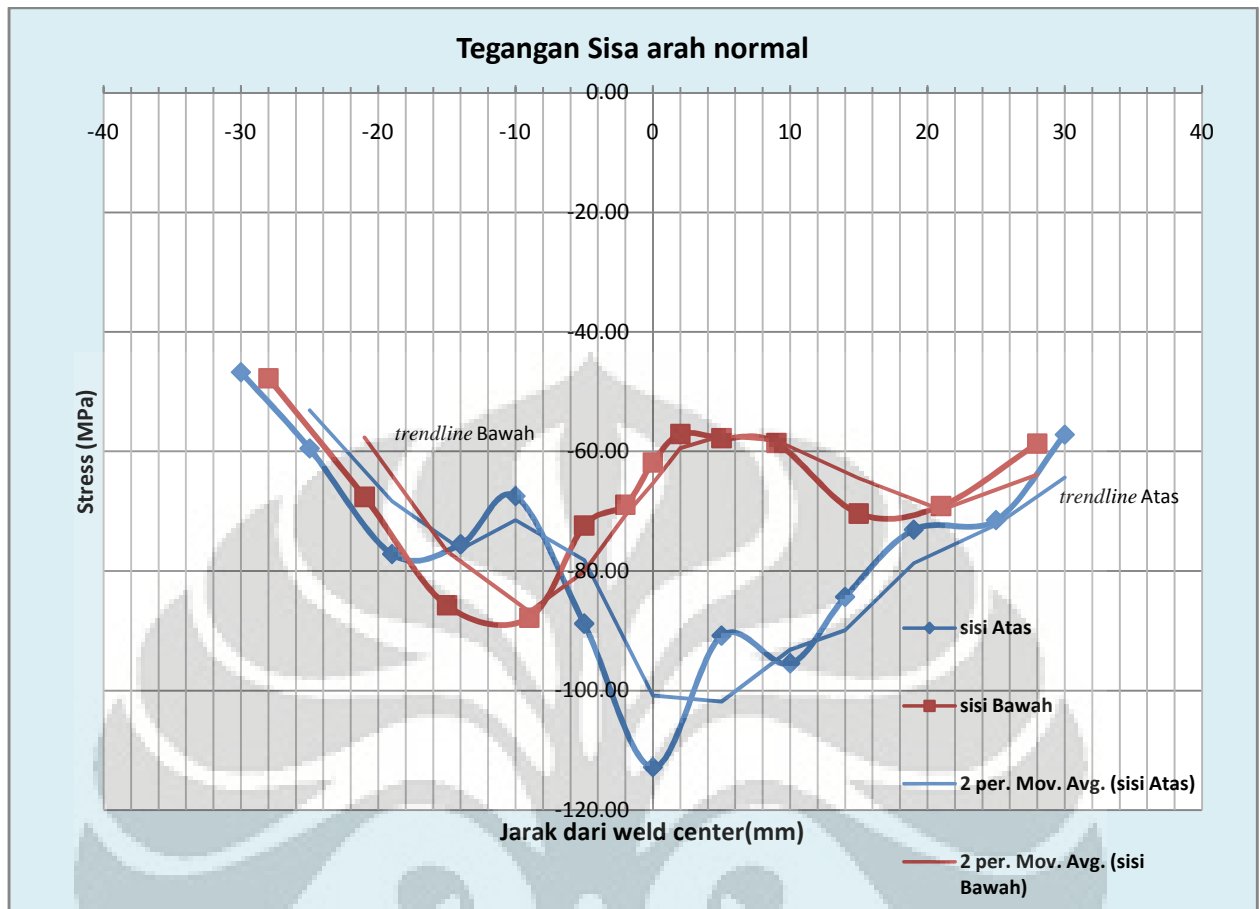


Posisi tegak









Lampiran 5 :

Universitas Indonesia

PT KRAKATAU STEEL (P.T. SERO)

MILL CERTIFICATE

PURCHASER :

CAPABILITY : PRIME NEWLY PRODUCED HOT ROLLED  
STEEL IN SHEET/PLATE MILL EDGE

SPECIFICATION : SIS 5 3101 SS400

CC. NO. :  
CERTIFICATE NO. : B F331601436732/TC/SM/V111/06  
DATE : AGUST 02, 2006  
LOT. NO.  
DELIVERY ORD. NO. :  
SUPPLIER ORD. NO. :  
ORDER NUMBER : F331601

PAGE : 001 OF 002

HEAT NO.	SLAB NO	COIL NO. AND PACKING NO	TEST NO.	DIMENSION T X W X L	IDENTICAL COPY	CHEMICAL COMPOSITION (100%)						TENSILE TEST			BEND TEST.	
						C	SI	MN	P	S	AL	YS	TS	EL		
A162701	10001204042	01	12060421	4.00X1210X 2420	1	58	17.7	18.4	85.5	0.7	0.8	3.91	316	454	24	500B
A163001	20001204042	01	12060121	5.00X1210X 2420	1	45	17.7	1.4	84.4	0.8	1.2	3.71	302	433	25	600B
		1204012 03				11										
A167421	20001204013	01	12060121	5.00X1210X 2420	1	45										
		1204013 02				45										
		1204013 03				11										
A205621	AA491204242	01	12024201	6.00X1524X 6096	1	11	16.3	18.9	64.4	1.1	0.7	3.51	306	439	26	500B
		1202428 02				11										
		1202428 03				11										
		1202428 04				11										
		1202428 05				11										
		1202428 06				7										
S2029P1	74071207322	03	12073221	6.00X1524X 6096	1	91										
S2704P1	31071208093	01	12057771	5.00X1827X 6096	1	11	17.8	1.4	93.6	0.8	1.1	4.01	294	445	31	600B
		1208093 02				11										
A233681	AA831202713	01	12027131	8.00X1524X 6096	1	8	16.3	18.9	64.4	1.1	0.7	3.51	306	439	26	500B
		1202713 02				81										
		AA891202714	01	12027141	10.00X1524X 6096	1	7									
		1202714 02				71										
		1202714 03				71										
		1202714 04				71										
		1202714 05				71										
		1202714 06				31										
S2044P1	12001206057	01	12060571	8.00X1827X 6096	1	7	17.7	18.4	85.5	0.7	0.8	3.91	316	454	24	500B
		1206057 02				71										

RS/MS04/023, ISSUE NO : 03

WE HEREBY CERTIFY THAT DIMENSION, SHAPE AND APPEARANCE OF THE MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN SATISFACTORILY TESTED AND INSPECTED IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE SPECIFICATION

DIVISION OF QUALITY CONTROL



SUPERINTENDENT

HOME : (0264) 771111

PT. DANWO STEEL SEJATI  
QC - DEPT

---

REVIEWED/WITNESSED BY

SIS G3101 SS 400 Matrial

Meel To: SIS G3101 SS 400

QC. *[Signature]* Date: 21/8/07

Lampiran 6

Material Kawat Las GMAW



# Quality Assurance Certificate

Thermadyne

Cigweld Pty Ltd  
 ABN 58 003 228 815  
 71 Dover Street, Preston  
 Victoria, Australia 3072  
 Phone: +61 5 8474 7400  
 Fax: +61 3 8474 7515

THIS IS TO CERTIFY THAT THE FOLLOWING WELDING CONSUMABLES ARE SUPPLIED IN ACCORDANCE WITH THE QUALITY ASSURANCE PROCEDURES OF CIGWELD, FILLER METALS DIVISION.

PRODUCT : AUTOCRAFT LW1-B

Classifications:  
 AWS/ASME-SFA A5.18 ER70S-B

PART No. : 720096

SIZE : 1.2mm

BATCH No. : 216912

**ORIGINAL**

CHEMICAL ANALYSIS OF WELD METAL: (Actual)

%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Cu
0.09	1.49	0.32	0.019	0.014	0.59

MECHANICAL PROPERTIES : (Actual)

Shielding Gas	YP MPa	UTS MPa	%EL	Impact/CVN J @ -20°C
CO <sub>2</sub>	435	567	28	76

PUSKASIRAN SINDIRI SEBAGI  
 GUYA 15 MW/1000/1000/1000/1000/1000  
 AWS SpA A5.18 ER70S-B  
 Made To Order SpA A5.18  
 10/02

*[Signature]*  
 D. Rizal  
 Technical/Quality Manager  
 for and on behalf of CIGWELD Pty Ltd.



## AUTOCRAFT LW1-6

- ▲ A Higher Manganese / Silicon Wire for GMAW Welding of Mild & Low Alloy Steels.
- ▲ Designed for Use with CO<sub>2</sub> and Argon Based Shielding Gases.
- ▲ Wide Range of Minispool, Handispool and Autopak Packaging Options.

**Classifications:**

AS/NZS 2717.1: CS6-GOM-W503A11  
AWS/ASME-SFA A5.18: ER70S-6.

**Description and Applications:**

Autocraft LW1-6 is a high quality copper coated welding wire suitable for the all positional Gas Metal Arc Welding (GMAW) of mild and low alloy steels, used in general fabrication and structural work. The high quality copper coating ensures problem free feeding, smooth current pick-up and minimal contact tip wear. The higher silicon content of Autocraft LW1-6 ensures excellent operator appeal, improved fillet shape / side wall wash at weld toes and very low spatter levels important for welding light to medium gauge sheet and tubular steel sections. Fillet welds exhibit a mitre to slightly convex profile with an even and smooth contour. The higher Manganese / Silicon levels give improved weld metal deoxidation when welding steels with moderate amounts of rust or mill scale.

**Storage Recommendations:**  
When held under the recommended storage conditions unopened packs of Autocraft LW1-6 wires are expected to remain in 'factory fresh' condition for at least 12 months.  
For storage over 12 months or under adverse (damp or high humidity) climatic conditions the use of heated weather proof store rooms/cupboards/containers maintained at 10-15°C above ambient temperature (with a maximum of 40°C) and at a maximum humidity of 60% R.H. is recommended. Product should be stacked on racks or pallets clear of the floor and walls.

**APPROVALS\*:**  
CO<sub>2</sub> & Argoshield Light & Universal:  
Lloyd's Register of Shipping Grade 3S, 3YS  
American Bureau of Shipping Grade 3SA, 3YSA  
Det Norske Veritas Grade 111YMS

\* Approvals do not include 0.6mm and 0.8mm Autocraft LW1-6 wires

**TYPICAL WIRE ANALYSIS:**

C: 0.07%	Mn: 1.55%	Si: 0.88%
S: 0.017%	P: 0.015%	

**TYPICAL DIFFUSIBLE HYDROGEN LEVELS TO AS3752:**  
1.0 - 2.0 ml/g of hydrogen / 100gms of deposited weld metal.

**TYPICAL ALL WELD METAL MECHANICAL PROPERTIES:**

	Argoshield Universal:	Welding Grade CO <sub>2</sub> :
Yield Stress	450 MPa	410 MPa
Tensile Strength	550 MPa	525 MPa
Elongation	29%	32%
CVN Impact Val.	120 J @ -20°C	110 J @ -20°C

**RECOMMENDED SHIELDING GAS:**

- Argoshield Light or Ar + 10-15% CO<sub>2</sub> or equivalent
- Argoshield Universal or Ar + 20-25% CO<sub>2</sub> or equiv.
- Welding Grade CO<sub>2</sub>

**COMPARABLE CIGWELD PRODUCTS:**  
Cimweld LW1-6 TIG rod:  
AWS/ASME-SFA A5.18: ER70S-6

All positional welding applications

Email: [cigweldsales@cigweld.com.au](mailto:cigweldsales@cigweld.com.au)

**CIGWELD**  
A THYSSANPULVERISME COMPANY

GAS METAL ARC WELDING (MIG) WIRES

Lampiran 8 : WPS GMAW 1G

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION ( WPS ) YES   
 PREQUALIFIED \_\_\_\_\_ QUALIFIED BY TESTING   
 or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS ( PQR ) YES

Company Name : **PT. Danwo Steel Sejati**  
 Welding Process(es) : **GMAW**  
 Supporting PQR No (s) : **PQR- DSS - 080**

Identification # **WPS\_DSS - 080, AWS D1.1**  
 Revision **0** Date **04-10-07** By **Masduki**  
 Authorized by **Ir. Hendra Lahidin** Date **04-11-07**  
 Type : Manual  Semi-automatic   
 Machine  Automatic

**JOIN DESIGN USED**

Type : Butt  
 Single :  Double Weld   
 Backing : Yes  No   
 Backing Material : Weld Metal  
 Root Opening : 0-3 mm Root face Dimension 0-3 mm  
 Groove Angle : 45° Radius ( J - U ) : N/A  
 Back Gouging : Yes  No  Methode Carbon Arc Gauging And Grinding

**BASE METAL**

Material Spec ASTM A36  
 Type or Grade N/A  
 Thickness : Groove : 3 mm - Unlimited Fillet : \_\_\_\_\_  
 Diameter (Pipe) : N/A

**POSITION**

Position of Groove 2G Fillet N/A  
 Vertical Progression Up  Down

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Transfer Mode ( GMAW ) Short-Circuiting   
 Globular  Spray   
 Current AC  DCEP  DCEN  Pulsed   
 Other \_\_\_\_\_

Tungsten Electrode ( GTAW )  
 Size : N/A  
 Type : N/A

**FILLER METALS**

AWS Specification A5.18  
 AWS Classification ER 70S-6

**SHIELDING**

Flux : N/A Gas CO<sub>2</sub>  
 Composition 100 % CO<sub>2</sub>  
 Electrode - Flux ( Class ) Flow Rate 34-45 CFH  
 N/A Gas Cup Size # 4

**TECHNIQUE**

Stringer or Weave Bead Both  
 Multi-pass or Single-pass (per side) Multi-pass  
 Number of Electrodes 1  
 Electrode Spacing Longitudinal N/A  
 Lateral N/A  
 Angle N/A  
 Contact Tube to Work Distance 12 - 25 mm  
 Peening N/A  
 Interpass Cleaning Wire Brush

**PREHEAT**

Preheat Temp, min : \_\_\_\_\_ Max \_\_\_\_\_  
 0°C ( thickness : 3 - 20 mm incl ) 318 °C  
 10°C ( thickness : over 20 - 38 mm incl )  
 65°C ( thickness : over 38 - 65 mm incl )  
 110°C ( thickness : over 65 mm )

Interpass Temp, min : \_\_\_\_\_ Max \_\_\_\_\_  
 0°C ( thickness : 3 - 20 mm incl ) 318 °C  
 10°C ( thickness : over 20 - 38 mm incl )  
 65°C ( thickness : over 38 - 65 mm incl )  
 110°C ( thickness : over 65 mm )

**POSTWELD HEAT TREATMENT**

Temp \_\_\_\_\_  
 Temp \_\_\_\_\_

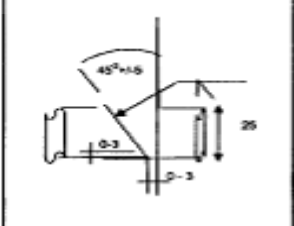
WELDING PROCEDURE

Pass or Weld Layer	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Dia	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			
ALL	GMAW	ER 70S-6	1.2	DCEP	150 - 250	22 - 28	200-300	

PREPARED BY  
**PT. DANWO STEEL SEJATI**

APPROVED BY :  
**PT. APESI**

*(Signature)*  
 Mr. Damarwadi  
**QC - Manager**





Lampiran 9

WPS GMAW 3G

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION ( WPS ) YES   
 PREQUALIFIED \_\_\_\_\_ QUALIFIED BY TESTING   
 or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS ( PQR ) YES

Identification # WPS D88-17G, AWS D1.1  
 Revision 4 Date 28-12-08 By Darmayadi  
 Authorized by Ir. Hendra Lahidin Date 04-11-07  
 Type : Manual  Semi-automatic   
 Machine  Automatic

Company Name : PT. Danwo Steel Sejati  
 Welding Process(es) : GMAW  
 Supporting PQR No (s) : Prequalified

JOIN DESIGN USED

Type : Butt  
 Single :  Double Weld   
 Backing : Yes  No   
 Backing Material : Weld Metal  
 Root Opening : 0-3 mm Root face Dimension : 0-3 mm  
 Groove Angle : 45° Radius ( J-U ) : N/A  
 Back Gouging : Yes  No  Methode : Carbon Arc Gauging And Grinding

POSITION

Position of Groove 3G Fillet N/A  
 Vertical Progression Up  Down

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Transfer Mode ( GMAW ) Short-Circuiting   
 Globular  Spray   
 Current AC  DCEP  DCEN  Pulsed   
 Other \_\_\_\_\_

BASE METAL

Material Spec A8TM A88  
 Type or Grade N/A  
 Thickness : Groove : 3 mm - Unlimited Fillet : \_\_\_\_\_  
 Diameter (Pipe) : N/A

Tungsten Electrode ( GTAW )  
 Size : N/A  
 Type : N/A

FILLER METALS

AWS Specification A5.18  
 AWS Classification ER 70S-6

Stringer or Weave Bead : Both  
 Multi-pass or Single-pass (per side) Multi-pass  
 Number of Electrodes 1  
 Electrode Spacing Longitudinal N/A  
 Lateral N/A  
 Angle N/A

SHIELDING

Flux : N/A Gas CO<sub>2</sub>  
 Composition 100 % CO<sub>2</sub>  
 Electrode - Flux ( Class ) N/A Flow Rate 34-45 CFH  
 Gas Cup Size # 4

Contact Tube to Work Distance 12 - 16 mm  
 Peening N/A  
 Interpass Cleaning Wire Brush

PREHEAT

Preheat Temp , min : \_\_\_\_\_ Max \_\_\_\_\_  
 0°C ( thickness : 3 - 20 mm incl ) 315 °C  
 10°C ( thickness : over 20 - 38 mm incl )  
 65°C ( thickness : over 38 - 65 mm incl )  
 110°C ( thickness : over 65 mm )  
 Interpass Temp , min : \_\_\_\_\_ Max \_\_\_\_\_  
 0°C ( thickness : 3 - 20 mm incl ) 315 °C  
 10°C ( thickness : over 20 - 38 mm incl )  
 65°C ( thickness : over 38 - 65 mm incl )  
 110°C ( thickness : over 65 mm )

POSTWELD HEAT TREATMENT

Temp N/A  
 Temp N/A

WELDING PROCEDURE

Pass or Weld Layer	Process	Filler Metals		Type & Polarity	Current Amperes or Wire Feed Speed	Volts	Travel Speed ( mm )	Joint Details
		Class	Dia ( mm )					
ALL	GMAW	ER 70S-6	1.2	DCEP	120 - 260	20 - 22	200-300	
PREPARED BY PT. DANWO STEEL SEJATI  Ir. Darmayadi QC - Manager				REVIEWED BY : PT. A P E 91  Soegjarto Welding Engineer				