



TUGAS AKHIR - VM 180629

**PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN  
SMAW PADA BAJA KARBON RENDAH ASTM  
A36 MENGGUNAKAN ELEKTRODA E6013  
TERHADAPAN DISTORSI TRANSVERSAL  
LONGITUDINAL DAN LEBAR HAZ**

**FEBI ADI GUNAWAN  
NRP.102115 0000 111**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.  
19600623 198803 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019**



**TUGAS AKHIR - VM 180629**

**PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN  
SMAW PADA BAJA KARBON RENDAH ASTM  
A36 MENGGUNAKAN ELEKTRODA E6013  
TERHADAPAN DISTORSI TRANSVERSAL  
LONGITUDINAL DAN LEBAR HAZ**

**FEBI ADI GUNAWAN  
NRP.102115 0000 111**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.  
19600623 198803 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019**



**FINAL PROJECT - VM 180629**

**INFLUENCE VARIATION OF CURRENT FLOW  
USING SMAW IN LOW CARBONED STEEL ASTM  
A36 WITH E6013 ELECTRODE ON  
TRANSVERSAL - LONGITUDINAL DISTORTION  
AND WIDE HAZ**

**FEBI ADI GUNAWAN  
NRP.102115 0000 111**

**Counsellor Lecturer  
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.  
19600623 198803 1 002**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Vocation  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2019**

## LEMBAR PENGESAHAN

# PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN SMAW PADA BAJA KARBON RENDAH ASTM A36 MENGUNAKAN ELEKTRODA E6013 TERHADAP DISTORSI TRANSVERSAL LONGITUDINAL DAN LEBAR HAZ

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Ahli Madya  
Pada Bidang Studi Manufaktur  
Program Studi D-III  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FEBI ADI GUNAWAN**  
**NRP. 102115 00000 111**

Mengetahui dan Menyetujui

**Dosen Pembimbing**



**H. Hari Subiyanto, M.Sc.**  
**NIP. 19600623 198803 1 002**

**SURABAYA,**  
**JANUARI 2019**

**PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN SMAW  
PADA BAJA KARBON RENDAH ASTM A36  
MENGUNAKAN ELEKTRODA E6013 TERHADAP  
DISTORSI TRANSVERSAL LONGITUDINAL DAN  
LEBAR HAZ**

**Nama Mahasiswa** : Febi Adi Gunawan  
**NRP** : 1021150000111  
**Jurusan** : Departemen Teknik Mesin  
Industri Fakultas Vokasi ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Hari Subiyanto M.Sc

**Abstrak**

*Teknik pengelasan memiliki berbagai keuntungan untuk produksi seperti hemat biaya dan variasi bentuk struktur las. Disamping keuntungan tersebut, teknik pengelasan menimbulkan efek yang merugikan, salah satunya adalah distorsi. Faktor yang mempengaruhi kualitas las dimulai dari perencanaan las. Perencanaan las salah satunya adalah pengaturan heat input dapat dilakukan dengan mengatur arus pada saat pengelasan*

*Pada penelitian ini, perlakuan yang diberikan adalah variasi arus pengelasan yang dilakukan dengan metode SMAW (Shielded Metal Arc Welding) pada bahan baja ASTM A36 dengan Elektroda E6013, kampuh V tunggal 65°, dan 28 Volt. Variasi arus yang digunakan dalam penelitian ini adalah 130A, 150A dan 170A kemudian diuji menggunakan uji nilai distorsi, dan makro etsa*

*Pada hasil pengujian nilai distorsi dengan variasi arus berturut-turut 130A, 150A dan 170A didapatkan hasil distorsi transversal rata-rata sebesar 1.24°, 1.60° dan 2.42° distorsi longitudinal sebesar 0.01°, 0.013° dan 0.014°. Untuk hasil pengujian makro etsa didapatkan bahwa lebar HAZ berbanding lurus seiring dengan meningkatnya arus pada saat pengelasan.*

**Kata Kunci** : *Pengelasan, Distorsi, Arus Pengelasan, SMAW, Baja Karbon Rendah, Longitudinal, Transversal, HAZ*

**INFLUENCE VARIATION OF CURRENT FLOW  
USING SMAW IN LOW CARBONED STEEL ASTM A36  
WITH E6013 ELECTRODE ON TRANSVERSAL  
LONGITUDINAL DISTORTION AND WIDE HAZ**

**Name** : Febi Adi Gunawan  
**No. ID** : 1021150000111  
**Department** : Industrial Mechanical Engineering  
FV-ITS

**Counsellor Lecturer** : Ir. Hari Subiyanto M.Sc

**Abstract**

*Welding techniques have various advantages for production, such as cost savings, size accuracy, and variations in the shape of weld structures. Besides these advantages, welding techniques cause adverse effects, one of which is distortion. Factors affecting the quality of welds are started from welding planning. One of the welding plans is setting the heat input can be done by adjusting the current during welding.*

*In this observation, the research carried out by the researcher was welding with various welding currents carried out by the SMAW method (Shielded Metal Arc Welding) on ASTM A36 steel material with E6013 Electrodes with a single V groove 65° and 28volt. The current variation used in this study was 130A , 150A and 170A then use the distortion value test, and macro etching*

*On the results of testing the variation values with a combination of 130A, 150A and 170A transverse distortions of 1.24°, 1.60° and 2.42° were obtained and , longitudinal distortion of 0.01°, 0.013° and 0.014°. For the results of the macro exam, get the width of the HAZ directly proportional to the release of current during welding.*

**Keywords** : **Welding, Distortion, Welding Current, SMAW, Low Carbon Steel, Longitudinal, Transversal, HAZ**

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Penelitian dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Ibu dan Ayah** yang selalu memberikan dukungan penuh baik secara moril dan materil. Tanpa doa dan motivasi penulis tidak bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
2. **Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.**, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Penelitian ini.
3. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** selaku kepala Departemen Teknik Mesin Industri.
4. **Bapak Ir. Suhariyanto, MSc** selaku koordinator Penelitian Departemen Teknik Mesin Industri.
5. **Para Dosen Penguji** yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Penelitian ini.
6. **Mas Ananta** yang telah banyak memberikan ilmu dan masukan pada penelitian ini.
7. **M. Taufiqi Kusn** atas kerjasamanya dalam mengerjakan dan menjadi patner yang baik dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-Teman **Kos Rego** yang telah memberikan inspirasi dan motivasi pada penelitian ini.
9. Teman-teman **D3MITS 2015** yang telah membantu dan memberikan semangat kepada penulis.

**10.** Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan doa bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat membantu dan mengembangkan Penelitian ini menjadi lebih baik lagi. Akhir kata, semoga Penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, Januari 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metodologi Penelitian .....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4

### **BAB II DASAR TEORI**

2.1 Tinjauan pustaka .....	5
2.2 Baja Karbon .....	5
2.2.1 Baja ASTM A36.....	8
2.3 Definisi Pengelasan .....	8
2.3.1 Shielded Metal Arc Welding .....	10
2.3.2 Kawat Las.....	12
2.3.3 Bahan Fluks.....	14
2.3.4 Posisi Pengelasan .....	15
2.3.5 Sambungan Pengelasan .....	17
2.3.6 Sambungan Tumpul .....	17
2.4 Heat Input.....	19
2.5 Tegangan Sisa .....	20
2.5.1 Distribusi Tegangan Sisa .....	21
2.6 Distorsi .....	22
2.6.1 Jenis-jenis Distorsi.....	23
2.6.2 Faktor-faktor penyebab Distorsi .....	24

2.6.3 Pengendalian Distorsi .....	25
2.7 Makro Etsa .....	28

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Rancangan Penelitian .....	31
3.2 Diagram Alir (Flow Chart) .....	31
3.3 Waktu Penelitian .....	34
3.4 Tempat .....	34
3.5 Persiapan Bahan dan Spesimen .....	34
3.5.1 Persiapan Bahan .....	34
3.5.2 Persiapan Spesimen .....	35
3.6 Parameter Pengelasan .....	37
3.7 Proses Pengelasan .....	37
3.8 Pengambilan Data .....	39
3.8.1 Pengujian Nilai Distorsi.....	40
3.8.2 Pemotongan Material.....	42
3.8.3 Pengujian Makro Etsa.....	42
3.8.4 Menghitung Lebar HAZ .....	45

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1 Parameter Pengelasan .....	47
4.2 Pengujian Nilai Distorsi .....	48
4.2.1 Hasil Data dan Grafik Aktual Pengukuran Nilai Distorsi .....	48
4.2.2 Hasil Data Distorsi Arah Transversal dan Longitudinal .....	48
4.2.3 Hasil Grafik dan Besar sudut distorsi transversal dan longitudinal .....	48
4.2.4 Pembahasan Hasil Pengujian Nilai Distorsi .....	53
4.3 Pengujian Makro Etsa .....	55
4.3.1 Perhitungan Lebar HAZ .....	55
4.3.2 Pembahasan Hasil Pengujian Makro Etsa.....	60

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61

**DAFTAR PUSTAKA  
LAMPIRAN  
BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Klasifikasi Pengelasan.....	9
<b>Gambar 2.2</b>	Pengelasan SMAW.....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Polaritas Pengelasan .....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Posisi Pengelasan 1G .....	16
<b>Gambar 2.5</b>	Posisi Pengelasan 2G.....	16
<b>Gambar 2.6</b>	Posisi Pengelasan 3G.....	16
<b>Gambar 2.7</b>	Posisi Pengelasan 4G .....	17
<b>Gambar 2.8</b>	Jenis-Jenis Sambungan Dasar.....	17
<b>Gambar 2.9</b>	Ilustrasi Mekanisme Terjadi Tegangan Sisa .....	20
<b>Gambar 2.10</b>	Distribusi Tegangan Termal .....	21
<b>Gambar 2.11</b>	Jenis-Jenis Distorsi.....	24
<b>Gambar 2.12</b>	Overweld .....	26
<b>Gambar 2.13</b>	Intermittent Welding .....	26
<b>Gambar 2.14</b>	Presetting.....	27
<b>Gambar 2.15</b>	Macam-Macam Jig Pengelasan .....	27
<b>Gambar 2.16</b>	Daerah HAZ.....	28
<b>Gambar 3.1</b>	Flow chart diagram .....	33
<b>Gambar 3.2</b>	Sket Dimensi material .....	34
<b>Gambar 3.3</b>	Foto Material Asli .....	35
<b>Gambar 3.4</b>	Elektroda E 6013.....	35
<b>Gambar 3.5</b>	Sket Dimensi Material Pengelasan .....	36
<b>Gambar 3.6</b>	Gerinda Tangan.....	36
<b>Gambar 3.7</b>	Foto Material Setelah digerinda .....	36
<b>Gambar 3.8</b>	Mesin Las SMAW Focus 400A .....	38
<b>Gambar 3.9</b>	Tang Ampere.....	38
<b>Gambar 3.10</b>	Proses Pengelasan .....	39
<b>Gambar 3.11</b>	Proses Backgouging .....	39
<b>Gambar 3.12</b>	Material Hasil Pengelasan .....	39
<b>Gambar 3.13</b>	Dial Indikator .....	40
<b>Gambar 3.14</b>	Pengukuran Distorsi .....	40
<b>Gambar 3.15</b>	Tahap Pengambilan Nilai Distorsi.....	41
<b>Gambar 3.16</b>	Pemotongan Makro Etsa .....	42
<b>Gambar 3.17</b>	Kertas Gosok.....	43
<b>Gambar 3.18</b>	Autosol.....	43
<b>Gambar 3.19</b>	Spesimen Uji .....	43

<b>Gambar 3.20</b>	Tempat Etsa.....	44
<b>Gambar 3.21</b>	Larutan Etsa .....	44
<b>Gambar 3.22</b>	Proses Pengetsaan .....	44
<b>Gambar 3.23</b>	Pengeringan Dengan <i>Hairdryer</i> .....	45
<b>Gambar 3.24</b>	Spesimen Setelah diuji etsa .....	45
<b>Gambar 3.25</b>	Metode Pengukuran HAZ .....	46
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Pengukuran Distorsi 130A .....	48
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Pengukuran Distorsi 150 A.....	50
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Pengukuran Distorsi 170 A.....	51
<b>Gambar 4.4</b>	Lebar HAZ Arus 130 A.....	55
<b>Gambar 4.5</b>	Lebar HAZ Arus 130 A (Solidworks) .....	55
<b>Gambar 4.6</b>	Lebar HAZ Arus 150 A.....	56
<b>Gambar 4.7</b>	Lebar HAZ Arus 150 A (Solidworks) .....	56
<b>Gambar 4.8</b>	Lebar HAZ Arus 170 A.....	57
<b>Gambar 4.9</b>	Lebar HAZ Arus 170 A (Solidworks) .....	57
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Lebar HAZ Sebelah Kiri .....	58
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik Lebar HAZ Sebelah Kanan .....	58
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik Lebar HAZ Rata-Rata .....	59
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik Lebar HAZ Umum .....	59

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Klasifikasi Baja Karbon.....	5
<b>Tabel 2.2</b>	Karakteristik Elemen Baja.....	6
<b>Tabel 2.3</b>	Komposisi Kimia <i>ASTM A36</i> .....	8
<b>Tabel 2.4</b>	Sifat Mekanik <i>ASTM A36</i> .....	8
<b>Tabel 2.5</b>	Posisi Pengelasan pada Kodefikasi Ketiga.....	13
<b>Tabel 2.6</b>	Karakteristik Digit Keempat Tipe Fluks dan Arus Listrik.....	13
<b>Tabel 2.7</b>	Fungsi Bahan Fluks. ....	15
<b>Tabel 2.8</b>	Alur Sambungan Las Tumpul.....	18
<b>Tabel 2.9</b>	Efisiensi Perpindahan Panas. ....	19
<b>Tabel 3.1</b>	Parameter Pengelasan .....	37
<b>Tabel 4.1</b>	Material dan Elektroda .....	47
<b>Tabel 4.2</b>	Parameter Pengelasan. ....	47
<b>Tabel 4.3</b>	Data Pengukuran Sudut Distorsi Transversal 130A.....	49
<b>Tabel 4.4</b>	Data Pengukuran Sudut Distorsi Longitudinal 130A.....	49
<b>Tabel 4.5</b>	Data Pengukuran Sudut Distorsi Transversal 150A.....	50
<b>Tabel 4.6</b>	Data Pengukuran Sudut Distorsi Longitudinal 150A.....	51
<b>Tabel 4.7</b>	Data Pengukuran Sudut Distorsi Transversal 170A.....	52
<b>Tabel 4.8</b>	Data Pengukuran Sudut Distorsi Longitudinal 170A.....	56
<b>Tabel 4.9</b>	Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro 130A .....	55
<b>Tabel 4.10</b>	Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro 150A .....	56
<b>Tabel 4.11</b>	Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro 170A .....	57
<b>Tabel 4.12</b>	Lebar HAZ Rata-Rata Umum.....	58

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada era industrialisasi ini teknik pengelasan telah banyak dipergunakan secara luas pada penyambungan material di berbagai industri manufaktur, seperti: otomotif, perkapalan, pesawat terbang, kereta api, konstruksi jembatan, bejana tekan, dan sebagainya. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan teknik penyambungan menjadi ringan dan lebih sederhana dalam proses pembuatannya. Pengelasan merupakan bagian tak terpisahkan dari pertumbuhan peningkatan industri karena memegang peran utama dalam rekayasa dan reparasi produk logam [1]. Teknik pengelasan memiliki berbagai keuntungan untuk produksi seperti hemat biaya, akurasi ukuran, dan variasi bentuk struktur las. Disamping keuntungan tersebut, teknik pengelasan menimbulkan efek yang merugikan, salah satunya adalah distorsi [1].

Distorsi sangat merugikan karena bentuk tidak sesuai dengan desain, ukuran tidak akurat, serta biaya perbaikan yang besar. Seperti dicontohkan pada pembuatan kapal di Australia dan Selandia Baru dengan material high strength steel, distorsi akibat pengelasan tersebut akan menjadi permasalahan yang signifikan. Menurut The Welding Institute (TWI), biaya untuk memperbaiki distorsi pengelasan terhadap biaya total fabrikasi sebesar 30 % [2].

Faktor yang mempengaruhi kualitas las dimulai dari perencanaan las, persiapan pengelasan, dan prosedur saat pengelasan. Perencanaan las salah satunya adalah pengaturan heat input dapat dilakukan dengan mengatur arus pada saat pengelasan. Heat input yang tinggi akan menyebabkan terjadinya distorsi yang besar baik distorsi sudut, distorsi lengkung, maupun buckling pada plat tipis, Hal ini dikarenakan heat input yang besar akan menyebabkan regangan thermal yang tidak merata sehingga regangan ini berakibat pada distorsi pada benda yang tidak ditahan pada ujungnya [1]. Maka dari itu untuk mengusahakan hasil pengelasan yang baik dan berkualitas maka perlu memperhatikan faktor-faktor tersebut. Untuk itu penelitian tentang pengelasan

sangat mendukung dalam rangka memperoleh hasil pengelasan yang baik.

Berkaitan dengan semua latar belakang tersebut maka pada penelitian ini akan dilakukan analisa pada material ASTM A36 yang pada umumnya digunakan dalam proses penyambungan batang pelat, menggunakan metode pengelasan SMAW arus DCEN dengan membedakan variasi besar Arus yaitu 130A, 150A dan 170A. Tujuan dari dilakukannya variasi besar arus tersebut yaitu untuk mengetahui perbedaan besarnya heat input yang akan mempengaruhi besarnya nilai distorsi transversal dan longitudinal dan lebar HAZ dari proses pengelasan pada tiap variasi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dengan adanya latar belakang yang mendorong penelitian ini, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan permasalahan tersebut, diantara rumusan tersebut adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi besar arus pengelasan SMAW terhadap nilai distorsi transversal dan longitudinal pada material ASTM A36 ?
2. Bagaimana pengaruh variasi besar arus pada pengelasan SMAW terhadap lebar HAZ pada material ASTM A36 ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji dalam penelitian ini, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dengan arus rootpass 110A
2. Elektroda menggunakan AWS E6013 diameter 3.2 mm dan 4 mm
3. Spesifikasi material yang digunakan adalah baja ASTM A36 dengan tebal 11 mm (bahan dianggap homogen).
4. Posisi pengelasan 1 G.



5. Jenis sambungan las yang digunakan butt weld joint dengan alur berbentuk V tunggal dengan sudut  $65^{\circ}$ .
6. Polaritas yang digunakan DCEN
7. Pengujian dilakukan dengan
  - Uji nilai distorsi untuk mengetahui besar nilai distorsi
  - Uji Makro Etsa untuk mengetahui lebar HAZ

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui hasil nilai distorsi yang terjadi terhadap variasi arus pengelasan sambungan butt joint pada baja ASTM A36
2. Mengetahui lebar HAZ terhadap variasi arus pengelasan sambungan butt joint pada baja ASTM A36

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Mengetahui pengaruh variasi arus terhadap besarnya nilai distorsi transversal, longitudinal dan lebar HAZ dari pengelasan menggunakan las SMAW pada plat baja ASTM A 36.
2. Dari data-data yang ada dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya dan bagi perusahaan yang bekerjasama dengan penulis.

#### **1.6 Metodologi Penelitian**

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan Penelitian ini adalah :

- 1 Studi Literatur Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian berupa uji distorsi dan makro etsa.
- 2 Konsultasi dengan Dosen Pembimbing Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau diskusi dengan dosen pembimbing.
- 3 Observasi Data Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil

- pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.
- 4 Analisa Data Menganalisa hasil pengujian distorsi dan makro etsa yang terjadi pada bagian logam hasil las (HAZ), dan Base Metal setelah dilakukan pengelasan.
  - 5 Membuat Kesimpulan Setelah menyelesaikan laporan Penelitian dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran jelas tugas akhir, diantaranya:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

#### **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini.

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

Bab ini berisi metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi alat dan bahan, serta langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

#### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dijelaskan data yang diperoleh dari percobaan atau pengujian yang dilakukan, serta analisa tentang hasil-hasil yang telah diperoleh selama percobaan dilakukan, pembahasan mengenai hubungan antara hasil percobaan dengan teori yang telah ada, dan berbagai macam analisa penunjang lain yang diperlukan.

#### **BAB V PENUTUP**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Dalam suatu penelitian diperlukan hasil-hasil penelitian yang telah ada sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian tersebut untuk dijadikan sebagai referensi.

Kajian pustaka yang pertama yang ditulis oleh Alhuzori pada tahun 2016. Pengaruh *Travel Speed* Terhadap Distorsi Pengelasan pada Sambungan Tipe Butt yang dilas oleh MIG *Robotic Welding*. Disimpulkan bahwa semakin lambat *travel speed* yang digunakan dalam proses pengelasan maka hasil distorsi yang didapat semakin besar dikarenakan heat input yang semakin besar akan membuat nilai distorsi semakin besar.

Kajian pustaka yang kedua yang ditulis oleh Irsyad pada tahun 2017. Pengaruh variasi Sudut *Groove* pada pengelasan terhadap Distorsi. Disimpulkan bahwa semakin besar sudut groove maka nilai distorsi akan semakin besar dikarenakan sudut *groove* yang semakin lebar akan membuat logam pengisi semakin banyak sehingga *heat input* akan semakin besar.

Dari kajian diatas dapat diketahui bahwa *heat input* pada proses pengelasan sangat penting, sehingga pada penelitian ini akan mengangkat penelitian tentang pengaruh variasi arus pengelasan SMAW pada baja ASTM A36 terhadap nilai distorsi dan lebar HAZ.

#### **2.2 Baja Karbon**

Pada proses pengelasan tidak terlepas dari benda yang akan disambung atau yang biasanya dikenal dengan base metal atau parent material. Pada proses pengelasan base metal berupa baja baik karbon rendah sampai campuran.

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit beberapa paduan kimia lainnya. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, jika kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu, baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Tabel 2.1).[6]

**Tabel 2.1** Klasifikasi Baja Karbon[6]

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Kek. Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kek. Brinel	Penggunaan
Baja Karbon rendah:					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat Tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang, Kawat
Baja Lunak	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-45	112-145	Umum
Baja Karbon Sedang	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-Alat Mesin
Baja Karbon Tinggi:					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Rel, Pegas, Kawat Piano

Selain karbon, terdapat beberapa kandungan kimia pada baja. Kandungan-kandungan yang ada pada baja tersebut memiliki fungsi atau manfaat yang berbeda. Hal tersebut dapat mempengaruhi kemampuan baja untuk dilas. Merujuk tabel 2.2 berikut kandungan-kandungannya.

**Tabel 2.2** Karakteristik Lima Elemen pada Baja [6]

Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya terhadap sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan tapi mengurangi mulurnya	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.

Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silikon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3% silikon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan	Penambahan silikon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%
Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak dingin	Karena penambahan fosfor mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%
Belerang	S	Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak panas.	Karena penambahan belerang mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%. Kandungan belerang yang lebih tinggi juga menyebabkan pembentukan ikatan belerang yang menyebabkan baja retak.

### 2.2.1 Baja ASTM A 36

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material plat ASTM A 36. Material ini sendiri merupakan baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon 0.25% - 0.30% sesuai dengan mill certificate bahan dan memiliki kekuatan luluh minimal 36 ksi atau setara dengan 249 MPa. Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini:

**Tabel 2.3** Komposisi Kimia ASTM A36[3]

Element	Content
Carbon, C	0.25 - 0.290 %
Copper, Cu	0.20 %
Iron, Fe	98.0 %
Manganese, Mn	1.03 %
Phosphorous, P	0.040 %
Silicon, Si	0.280 %
Sulfur, S	0.050 %

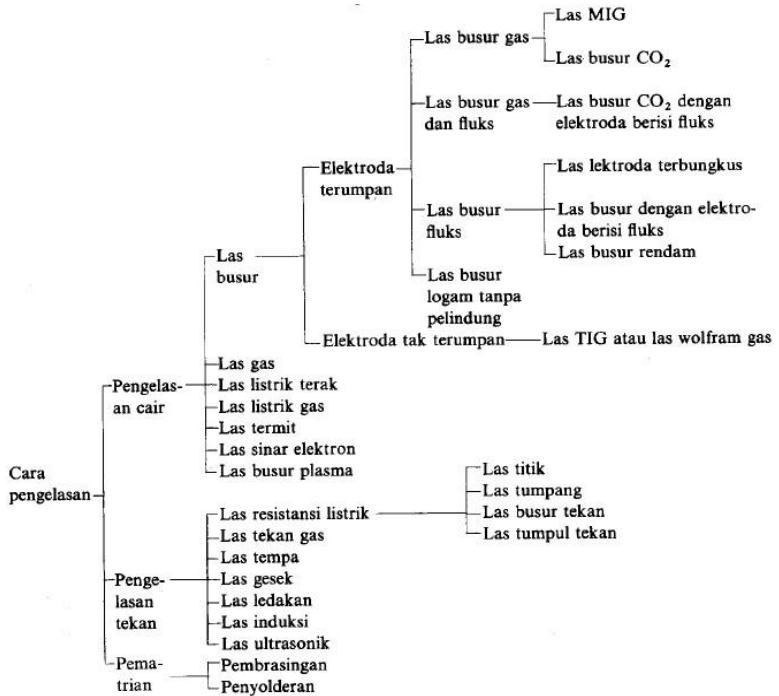
**Tabel 2.4** Sifat Mekanik ASTM A36 [3]

Mechanical Properties	Metric	Imperial
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi
Elongation at Break (in 200 mm)	20.0 %	20.0 %
Elongation at Break (in 50 mm)	23.0 %	23.0 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Bulk Modulus (typical for steel)	140 GPa	20300 ksi
Poissons Ratio	0.260	0.260
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi

### 2.3 Definisi Pengelasan

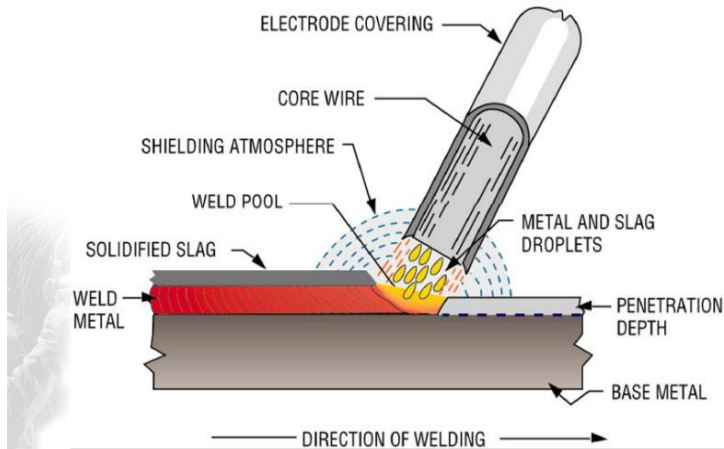
Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. [Wiryosumarto, 1996]. Teknik pengelasan secara sederhana telah ditemukan dalam rentang waktu antara 4000 sampai 3000 SM. Setelah energi listrik dipergunakan dengan mudah, teknologi pengelasan maju dengan pesatnya sehingga menjadi sesuatu teknik penyambungan yang mutakhir. [1]

Ditinjau berdasarkan cara kerjanya klasifikasinya (gambar 2.1) pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu : pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian



**Gambar 2.1** Klasifikasi Pengelasan [1]

### 2.3.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)



**Gambar 2.2** Pengelasan SMAW

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) juga sering disebut sebagai stick welding. Hal ini dikarenakan elektrodanya yang berbentuk stick. Las SMAW merupakan suatu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam flux atau slag yang terbentuk, ilustrasi pengelasan SMAW dapat dilihat pada gambar 2.2 diatas.

Electric arc adalah arus electron yang kontinu mengalir melalui media yang pendek antara dua elektroda (+ dan -) yang diketahui dengan terjadinya energi panas dan radiasi udara atau gas antara electrode akan diionisi oleh elektron yang dipancarkan oleh katoda. Untuk menimbulkan arc, kedua elektroda dihubungkan singkat dengan cara digoreskan (arc



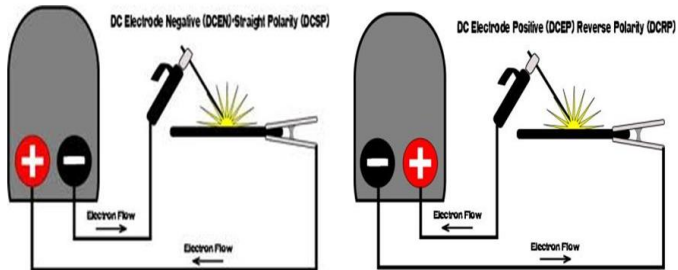
starting) dan pada bagian yang bersentuhan ini akan terjadi pemanasan dan hal tersebut mendorong terjadinya busur listrik. Pancaran electron sendiri dipengaruhi oleh temperature dan kekuatan medan listrik.

Beberapa keuntungan las SMAW sebagai berikut :

1. Peralatan yang digunakan tidak rumit, tidak mahal, dan mudah dipindahkan
2. Elektrodanya telah mempunyai flux
3. Sensitivitasnya terhadap gangguan pengelasan berupa angin cukup baik
4. Dapat dipakai untuk berbagai posisi pengelasan

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir logam cair yang jatuh ke permukaan benda kerja. Transfer logam cair disebabkan oleh gaya gravitasi, ekspansi gas, listrik, dan kekuatan elektromagnetik, dan juga tegangan permukaan. Proses pengelasan dengan proses SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas DCEN (*Direct Current Elektroda Negatif*) dan DCEP (*Direct Current Elektroda Positif*).

Pada arus AC distribusi panasnya terjadi 1/2 untuk benda kerja dan 1/2 untuk elektroda. Pada arus DCEP 2/3 panas terjadi pada elektroda dan 1/3 sisanya terjadi pada benda kerja, sedangkan pada arus DCEN terjadi sebaliknya yaitu 1/3 panas untuk elektroda dan 2/3 panas sisanya terjadi pada benda kerja. (gambar 2.3) Konsekuensi distribusi panas yang berbeda ini akan berpengaruh pada kedalaman penetrasi yang berbeda. Pada AC kedalaman penetrasi sedang dengan lebar kawah sedang. Pada DCEP, lebar kawah lebih besar dengan kedalaman penetrasi lebih dangkal bila dibanding AC. Pada DCEN, Lebar kawah lebih sempit dan kedalaman penetrasi lebih dalam bila dibandingkan AC.



**Gambar 2.3** Polaritas Pengelasan

### 2.3.2 Kawat Las (Elektroda)

Bagian terpenting dari proses pengelasan adalah kawat las. Jenis kawat las yang digunakan menentukan hasil pengelasan sehingga sangat penting untuk mengetahui jenis-jenis elektroda dan mengetahui sifatnya sebagai acuan dalam pemilihan elektroda las. Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (flux) dan tidak bersalut yang merupakan bagian untuk menjepitkan tang las. Fungsi flux atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Pada pengelasan SMAW, elektroda yang digunakan memiliki panjang yang berbeda-beda tergantung diameter elektroda tersebut. Semakin besar diameter elektroda, semakin panjang pula elektroda tersebut. Elektroda pada SMAW memiliki inti yang berupa logam solid dan pembungkus (fluks) yang berupa lapisan campuran bahan kimia. Elektroda dengan fluks ini memiliki perbedaan dari satu dan jenis yang lainnya. Perbedaan itu terletak pada komposisi kimia pembungkus dan kekuatan logam solid.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan

kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*).

Adapun kodifikasi dari elektroda sebagai berikut:

Contoh: E 60 1 3

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

60 : (dua angka) menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.

1 : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan. (Tabel 2.5)

3 : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan (Tabel 2.6)

**Tabel 2.5** Posisi Pengelasan pada Kodifikasi digit ketiga[7]

Kode angka 1	Untuk semua posisi
Kode angka 2	Untuk posisi flat dan horizontal
Kode angka 3	Hanya untuk posisi flat

**Tabel 2.6** Karakteristik Digit Keempat Tipe Flux dan Arus Listrik[7]

ANGKA	SUMBER ARUS		POLARITAS ELEKTODA		TIPE SALUTAN	DAYA TEMBUS	KADAR SERBUK BESI
1	AC	DC	+		Cellulose potasium	Kuat	
2	AC	DC	+	-	Rutile Sodium	Medium	0-10%
3	AC	DC	+	-	Rutile Potasium	Lunak	0-10%

4	AC	DC	+	-	Rutile Iron Powder	Lunak	30-50%
5		DC	+		Low Hydrogen Sodium	Medium	
6	AC	DC	+	-	Low Hydrogen Potassium	Medium	
7	AC	DC	+	-	Iron Oxide, Iron Powder	Lunak	30-50%
8	AC	DC	+		Low Hydrogen Iron Powder	Lunak	50%
9	AC	DC					
0	Ada pengecualian pada angka terakhir 0, seperti dibawah ini						
E6010		DC	+		Cellulose Sodium	Kuat	0-10%
E6020	AC	DC		-	Iron Oxide Sodium	Medium	0-10%
E6030	AC	DC		-	Iron Oxide	Lunak	

### 2.3.3 Bahan Fluks

Pada pengelasan SMAW, kawat las terbungkus oleh elektroda yang mana pembungkus (fluks) itu memiliki peranan penting karena fluks dapat bertindak sebagai :

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam

2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara disekitarnya.
3. Pengatur penggunaan
4. Sumber unsur-unsur paduan

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan tertentu pula. Bahan-bahan yang digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluoride, zat organik, baja paduan, dan serbuk besi.

Elektroda yang berada dalam pasaran jumlahnya cukup banyak dengan berbagai variasi bahan fluksnya sesuai dengan fungsi masing-masing. Meskipun jumlahnya sangat banyak, tetapi secara garis besar digolongkan dalam kelas kelas sebagai berikut (Tabel 2.7)

**Tabel 2.7 Fungsi Bahan Fluks**

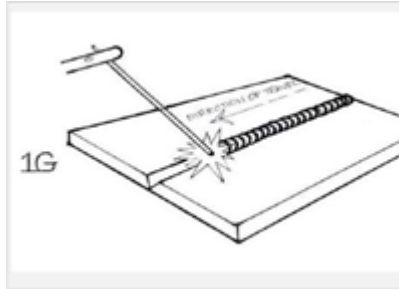
Bahan Fluks	Fungsi Utama	Fungsi Tambahan
Selulosa	Penghasil gas	Deoksidasi, Penguat lapisan
Tanah liat	Pembentuk terak	Penyetabil busur
Talek (Magesium Silikat)	Pembentuk terak	
Titanium oksida	Penyetabil busur, pembentuk terak	
Ilmenit	Pembentuk terak	Penyetabil busur
Feroksida	Pembentuk terak, Oksidasi	Penyetabil busur
Kalsium karbonat	Penghasil gas	Oksidasi, Penyetabil busur, pembentuk terak
Mangan besi	Deoksidasi, Pencampur	Pembentuk terak
Mangan dioksida	Oksidasi	Pembentuk terak
Pasir silika	Pembentuk terak	
Potasium silikat	Pengikat lapisan, Penyetabil busur, Pembentuk terak	
Natrium silikat	Pengikat lapisan, Penyetabil busur, Pembentuk terak	

### 2.3.4 Posisi Pengelasan

Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Merujuk pada gambar 2.4 , gambar 2.5,

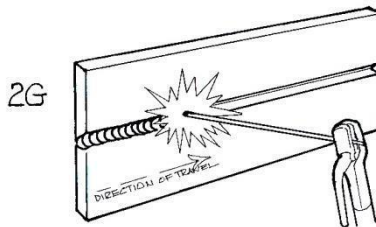
gambar 2.6 dan gambar 2.7, posisi pengelasan terdiri dari 4 macam, yaitu:

A. Posisi 1G



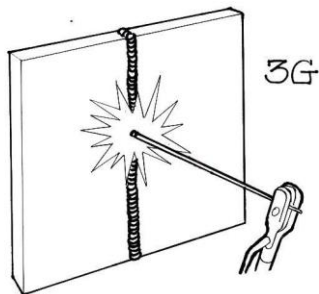
**Gambar 2.4** Posisi pengelasan 1G

B. Posisi 2G



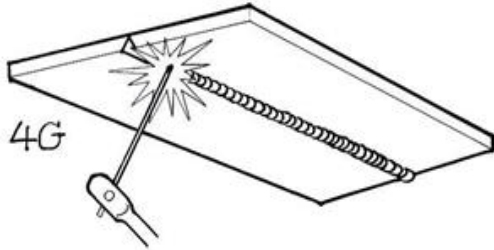
**Gambar 2.5** Posisi Pengelasan 2G

C. Posisi 3G



**Gambar 2.6** Posisi Pengelasan 3G

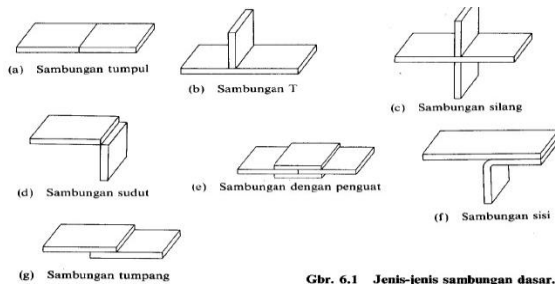
#### D. Posisi 4G



**Gambar 2.7** Posisi Pengelasan 4G

#### 2.3.5 Sambungan Pengelasan

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi, pada gambar 2.8 disebutkan jenis- jenis sambungan dasar.



**Gbr. 6.1** Jenis-jenis sambungan dasar.

**Gambar 2.8** Jenis-jenis sambungan dasar

#### 2.3.6 Sambungan Tumpul

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan

penetrasi sebagian seperti pada tabel 2.8 Sambungan penetrasi penuh dibagi lebih lanjut menjadi sambungan tanpa pelat pembantu dan sambungan dengan pelat pembantu. Bentuk alur pada sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting. Bentuk dan ukuran alur sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, DIN, dan lain-lain.

**Tabel 2.8** Alur sambungan las tumpul ( Butt joint )

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



## 2.4 Heat Input

*Heat Input* adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan (Ampere), tegangan (voltage) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, dan efisiensi perpindahan panas menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu, selain itu efisiensi perpindahan panas juga menentukan *heat input* pada pengelasan dimana setiap proses pengelasan berbeda efisiensi perpindahan panasnya pada table 2.9 dibawah adalah efisiensi perpindahan panas pada berbagai macam proses pengelasan.

$$\text{Masukan panas : } \mathbf{HI} = \frac{V \times I \times \eta}{s}$$

Dimana:  $HI =$  Masukan panas atau energi ( J/mm )

$I =$  Arus ( Ampere )

$V =$  Voltase ( Volt )

$\eta =$  Efisiensi perpindahan panas

$s =$  Kecepatan pengelasan ( mm/s )

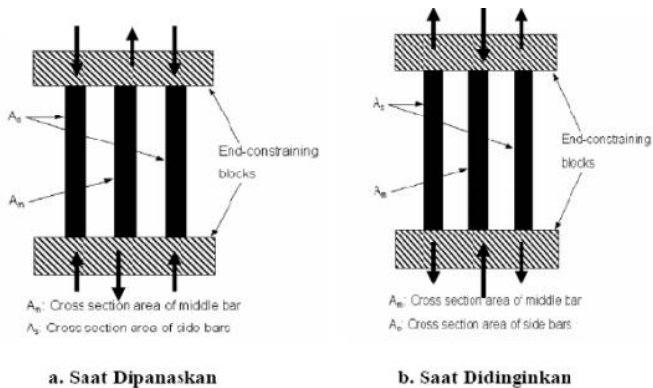
Nilai  $\eta$  besarnya antara 0 ÷ 1 yang tergantung proses pengelasannya.

**Tabel 2.9** Efisiensi perpindahan panas

Welding process	Arc efficiency factor $\eta$
SA welding (steel)	0.90 ÷ 0.99
SMA welding (steel)	0.66 ÷ 0.85
GMA welding (steel)	0.75 ÷ 0.93
GMA welding (Co <sub>2</sub> -steel)	0.66 ÷ 0.70
GTA weldng (Ar-steel)	0.25 ÷ 0.75
GTA welding (He-Al)	0.55 ÷ 0.80
GTA welding (Ar-Al)	0.22 ÷ 0.46

## 2.5 Tegangan Sisa

Pada proses pengelasan terjadi pemanasan yang terpusat serta distribusi temperaturnya tidak seragam. Oleh karenanya timbul apa yang dinamakan *Residual Stress* (Tegangan Sisa). *Residual stress* yang timbul menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan mekanis konstruksi las. Oleh karena itu sebisa mungkin masalah *residual stress* ini harus dihindari. Mekanisme terjadinya *residual stress* pada material dapat diilustrasikan seperti terlihat dalam gambar 2.9



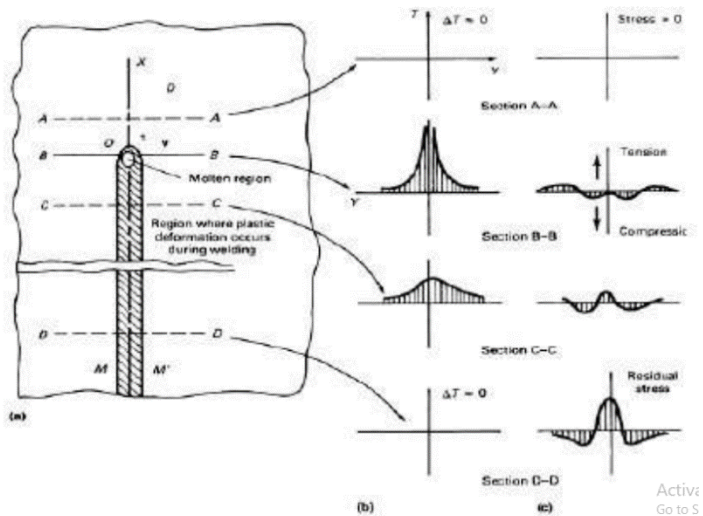
**Gambar 2.9** Ilustrasi mekanisme terjadinya tegangan sisa[4]

Dari gambar.2.9 tersebut terlihat bahwa batang  $A_m$  atau yang terletak di bagian tengah dipanaskan pada suhu tertentu, sedangkan batang  $A_s$  tidak mengalami pengaruh panas. Pada saat dipanaskan, batang  $A_m$  mengalami pemuaian, namun di tahan oleh batang  $A_s$ , sehingga dapat dikatakan bahwa batang  $A_m$  menghasilkan tegangan tekan, sedangkan batang  $A_s$  mengalami tegangan tarik. Saat didinginkan kembali sampai temperature kamar, batang  $A_m$  mengalami penyusutan namun ditahan oleh batang  $A_s$ . Pada saat ini batang  $A_m$  berubah mengalami tegangan tarik, sementara batang  $A_s$  mengalami tegangan tekan. Pada temperature kamar

dapat dikatakan bahwa Batang *Am* mempunyai tegangan dalam tarik, sementara batang *As* mempunyai tegangan dalam tekan. Walaupun begitu, tegangan sisa dalam proses pengelasan agak sedikit berbeda dan lebih rumit untuk menjelaskannya bila dibandingkan dengan ilustrasi pada gambar 2.9 tersebut. Hal ini disebabkan karena distribusi temperatur pada daerah las itu tidak seragam.

### 2.5.1 Distribusi Tegangan Sisa

Pada proses pengelasan, logam induk mengalami pemanasan yang berbeda-beda tergantung pada posisinya. Semakin jauh dari daerah lasan maka pemanasan yang timbul juga akan semakin kecil.



**Gambar 2.10** Distribusi tegangan termal[4]

Gambar 2.10.a. memperlihatkan jalannya proses pengelasan yang dilakukan sepanjang garis X-X kemudian berhenti pada titik O. Sementara pada Gambar 2.10.b. memperlihatkan perubahan temperatur yang terjadi selama proses pengelasan. Sedangkan pada Gambar 2.10.c

memperlihatkan perubahan tegangan yang terjadi sepanjang proses pengelasan. Area M-M' adalah daerah terjadinya deformasi plastis. Area A-A adalah daerah di atas dari sumber panas dan belum terpengaruh panas secara signifikan. Perubahan temperatur pada daerah ini karena pengelasan,  $\Delta T$ , adalah nol. Area B-B adalah daerah persimpangan dari pusat panas, distribusi temperatur pada daerah ini agak berbeda jauh dan tidak teratur. Sedangkan disepanjang daerah C-C yang merupakan daerah agak dibelakang dari pusat panas, distribusi temperatur tidak terlalu tinggi bila dibandingkan dengan daerah B-B dan distribusi temperatur akan semakin seragam dengan semakin jauh daerah dari pusat panas seperti yang ditunjukkan daerah D-D

Panas yang dihasilkan selama proses pengelasan menghasilkan tegangan di sepanjang arah longitudinal.

Distribusi perubahan tegangan selama proses pengelasan pada titik A-A karena tidak ada perubahan temperature maka tidak terlihat adanya perubahan tegangan. Pada titik B-B distribusi tegangan sedikit terlihat karena adanya perubahan temperatur, tegangan tekan pada daerah sekitar logam las terjadi karena adanya pemuaian logam pada daerah HAZ . Pada titik C-C logam las yang tadinya mencair mulai membeku dan menyusut menyebabkan pada daerah tersebut mengalami tegangan tarik cukup besar dan titik yang lebih jauh mengalami tegangan tekan. Pada titik D-D yang sudah dingin perubahan tegangan semakin terlihat dimana daerah logam las mengalami tegangan tarik dan daerah yang sedikit jauh darinya mengalami tegangan tekan.

## **2.6 Distorsi**

Salah satu dampak dari tegangan sisa yang terjadi dalam proses pengelasan adalah terjadinya perubahan bentuk yang biasa disebut distorsi. Mekanisme terjadinya distorsi pada proses pengelasan adalah dimulai saat terjadinya proses pendinginan logam las. Sifat dasar dari logam cair adalah akan menyusut saat

didinginkan atau saat pembekuan . Akibat adanya proses penyusutan ini maka terjadi tegangan yang sangat besar pada daerah disekitarnya dan jika nilainya melebihi nilai yield point logam induknya maka akan terjadi apa yang dinamakan distorsi.

### 2.6.1 Jenis – jenis distorsi

Ada beberapa jenis distorsi yang biasa terjadi dalam proses pengelasan. Masing-masing jenis dibedakan berdasarkan perubahan bentuk yang terjadi dan penyebabnya yaitu :

#### 1. *Transverse Shrinkage*

Distorsi ini disebabkan arah penyusutan logam las tegak lurus dengan arah pengelasan. Akibat penyusutan logam las ini plat disekitar logam las tertarik ke tengah.

#### 2. *Longitudinal Shrinkage*

Distorsi ini disebabkan arah penyusutan searah dengan arah pengelasan. Besar *longitudinal shrinkage* adalah sekitar 1/1000 panjang las.

#### 3. *Angular Distortion*

Distorsi angular dapat terjadi pada sambungan tumpul ( *butt joint* ) dan sambungan T ( *fillet joint*). Pada sambungan tumpul ( *butt joint* ) distorsi angular terjadi jika transverse shrinkage tidak seragam kearah tebal plat. Sedangkan pada sambungan T ( *fillet*), perubahan bentuk yang terjadi tergantung berapa banyak dan kuat penahan yang ada.

#### 4. *Longitudinal Bending/ Bowing*

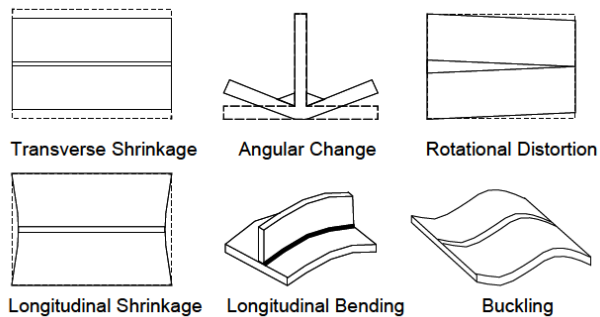
merupakan distorsi yang disebabkan oleh longitudinal shrinkage. Hal ini terjadi akibat penyusutan yang tidak merata pada arah longitudinal yang menyebabkan struktur melengkung.

#### 5. *Rotational Distortion*

Distorsi ini terjadi akibat perbedaan penyusutan yang terjadi di daerah sepanjang pengelasan. Distorsi ini dipengaruhi oleh masukan panas dan kecepatan pengelasan.

#### 6. *Buckling*

buckling adalah merupakan distorsi yang terjadi karena ukuran material yang dilas tipis. Umumnya terjadi pada pelat dengan ketebalan kurang dari 10 mm. Hal ini disebabkan tegangan tekan longitudinal yang terjadi pada daerah lasan nilainya jauh lebih besar dari CBL (*critical buckling load*) struktur, pada gambar 2.11 dapat dilihat bentuk dari macam-macam distorsi.



**Gambar 2.11** Jenis-jenis distorsi[8]

### 2.6.2 Faktor – faktor penyebab Distorsi

Faktor utama yang mempengaruhi jenis dan besar distorsi dapat dikelompokkan kedalam beberapa kelompok seperti<sup>[5]</sup> :Sifat fisik logam induk ( *Physical properties of parent metal* )

1. Sifat fisik logam induk yang mempengaruhi besar kecilnya distorsi adalah;
  - a. Koefisien muai panas, semakin tinggi nilai koefisien maka distorsi yang terjadi makin besar.
  - b. Panas jenis, semakin tinggi maka distorsi semakin besar.
  - c. Koefisien daya hantar panas, semakin tinggi maka semakin besar distorsi yang timbul.
  - d. *Yield point* pada temperatur tinggi. Untuk material yang memiliki nilai *yield point* tinggi maka distorsi

akan lebih kecil dibandingkan dengan material yang memiliki *yield point* rendah. Namun tegangan sisa yang terjadi setelah pengelasan lebih tinggi dibanding dengan material yang memiliki *yield point* rendah.

- e. Titik cair ( *melting point* ). Untuk material yang memiliki titik cair tinggi maka distorsi yang terjadi besar.

## 2. Jumlah penguat/penahan

Untuk sambungan las yang memiliki penguat atau penahan yang cukup besar akan menyebabkan distorsi lebih kecil dibandingkan dengan sambungan yang penahannya kecil. Namun memiliki tegangan sisa yang lebih besar.

## 3. Bentuk sambungan

Bentuk dan desain sambungan las sangat berpengaruh sekali terhadap besar kecilnya distorsi. Semakin besar volume dari sambungan las tersebut maka distorsi yang terjadi semakin besar karena penyusutan logam cair saat membeku berbanding lurus dengan volumenya.

## 4. Pemasangan komponen

Cara pemasangan komponen yang baik seperti jarak satu komponen dengan komponen diatur sedekat mungkin akan menghasilkan distorsi yang kecil. Biasanya dalam prakteknya jarak yang diinginkan adalah sekitar 2 – 3 mm.

## 5. Proses pengelasan

Pada proses pengelasan, pengaturan parameter seperti besar arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan sangat penting karena akan mempengaruhi besar kecilnya panas yang masuk ( *Heat input* ). Semakin besar nilai *heat input* maka semakin besar juga distorsi yang timbul

Selain pengaturan parameter , urutan pengelasan ( *welding sequence* ) juga perlu diperhatikan. Urutan pengelasan yang tidak seimbang akan menyebabkan distorsi yang tinggi juga.

### 2.6.3 Pengendalian Distorsi

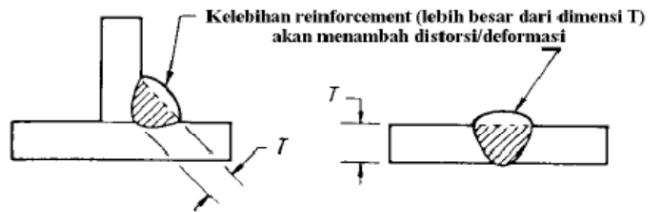
Untuk mengendalikan distorsi dapat digunakan beberapa metode termasuk desain dan selama pengelasan yang

menghasilkan siklus pemanasan dan pendinginan. Penyusutan tidak dapat dicegah tetapi dapat dikendalikan. Beberapa cara yang digunakan untuk meminimalisir distorsi adalah :

1. Tidak membuat ukuran yang berlebihan.

*Reinforcement* yang berlebihan (lebih besar dari T) akan menambah terjadinya distorsi /deformasi. Dalam hal ini semakin banyak logam yang ditambahkan pada sambungan maka akan semakin besar gaya penyusutannya yang terjadi.

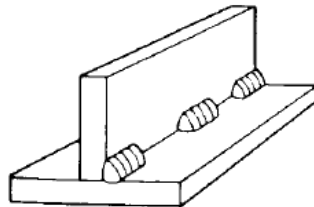
Adapun ilustrasi dari *reinforcement* yang berlebihan dapat dilihat pada Gambar 2.12



**Gambar 2.12** *Overweld*[5]

2. Menggunakan pengelasan melompat

Metode ini kalau mungkin harus digunakan, akan dapat mengurangi logam las sebanyak 75% dan dapat mengurangi terjadinya distorsi/deformasi. Ilustrasi *intermittent welding* dapat dilihat pada Gambar 2.13



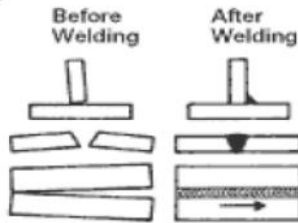
**Gambar 2.13** *Intermittent welding*[5]

3. Melakukan *Presetting*

Dengan memanfaatkan posisi material yang dilas sebelum distorsi terjadi. Teknik ini merupakan teknik

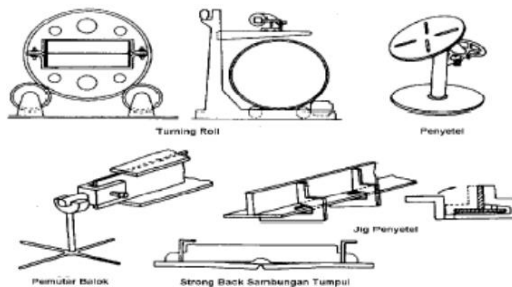


yang ditentukan dengan melakukan beberapa percobaan untuk mengetahui arah distorsi. Menggunakan gaya mekanik yang berlawanan dengan arah distorsi pada saat dilakukan pengelasan sehingga hasil akhir sesuai dengan posisi yang diinginkan. Contoh ilustrasi dari penggunaan *presetting* dapat dilihat pada Gambar 2.14



**Gambar 2.14** *Presetting*[5]

4. Menggunakan Jig  
 Berfungsi sebagai penahan arah distorsi pada saat pengelasan. Dengan penahan diharapkan distorsi yang dihasilkan dapat dikendalikan sehingga produk akhir hasil pengelasan masih sesuai dengan yang diinginkan. Ilustrasi macam-macam alat bantu dapat dilihat pada Gambar 2.15

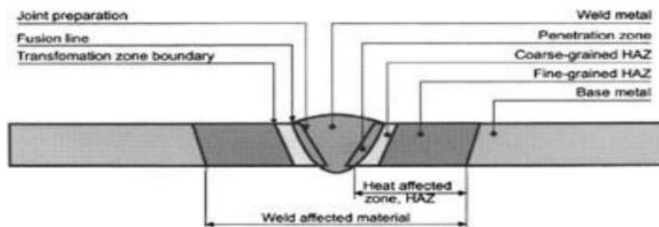


**Gambar 2.15** Macam macam jig pengelasan[5]

## 2.7 Makro Etsa

Yang dimaksud dengan pemeriksaan makro adalah pemeriksaan bahan dengan mata kita langsung atau memakai kaca pembesar yaitu yang dengan pembesaran rendah (*a low magnification*). Kegunaannya untuk memeriksa permukaan yang terdapat celah-celah, lubang-lubang pada struktur logam yang sifatnya rapuh, bentuk-bentuk patahan benda uji bekas pengujian mekanis yang selanjutnya dibandingkan dengan beberapa logam menurut bentuk dan strukturnya antara satu dengan yang lain menurut kebutuhannya. Angka pembesaran pemeriksaan makro antara 0,5 kali sampai 50 kali. Pemeriksaan secara makro biasanya untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar dan kasar, seperti misal logam hasil coran atau tuangan, serta bahan-bahan yang termasuk non metal.

Masukan panas yang diberikan akan menyebabkan perbedaan temperature pada material. Perbedaan temperatur menyebabkan terjadinya perpindahan panas baik secara konveksi maupun konduksi. Adanya perpindahan panas ini akan menyebabkan daerah sekitar las mengalami siklus pemanasan dan pendinginan yang berbeda-beda karena perbedaan jarak dengan lokasi pengelasan, sehingga terbentuklah zona-zona yang mengalami perubahan struktur. Energi panas akan berpindah dari temperatur tinggi ke temperature rendah.



**Gambar 2.16** Daerah HAZ

karena pengaruh panas, maka daerah pengelasan dapat dibagi menjadi beberapa zona seperti pada gambar 2.16 berikut penjelasannya:

- Heat Affected Zone (HAZ)  
Daerah logam induk yang tidak mencair tetapi mengalami perubahan mikrostruktur akibat rambatan energi panas.
- Weld Metal  
Daerah logam dari elektroda yang dari fase cair menjadi solid.
- Base Metal  
Daerah logam induk yang tidak terkena efek dari rambatan panas.

Untuk mengetahui sebaran panas yang ada dilakukan pengujian makro etsa. Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses makro etsa.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

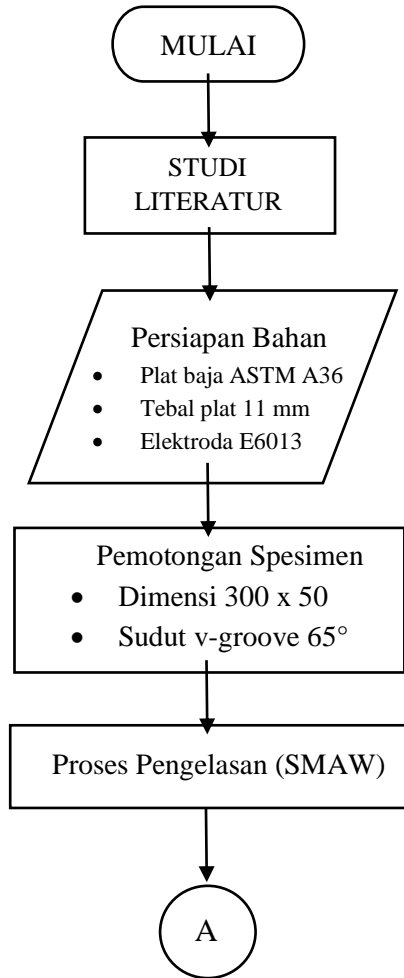
Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus terhadap distorsi pada material *ASTM A36* menggunakan Elektroda E6013 dengan proses pengelasan *SMAW* . Penelitian dilakukan di Workshop Departemen Teknik Mesin Industri FV – ITS Surabaya dan PT Dok dan Perkapalan Surabaya.

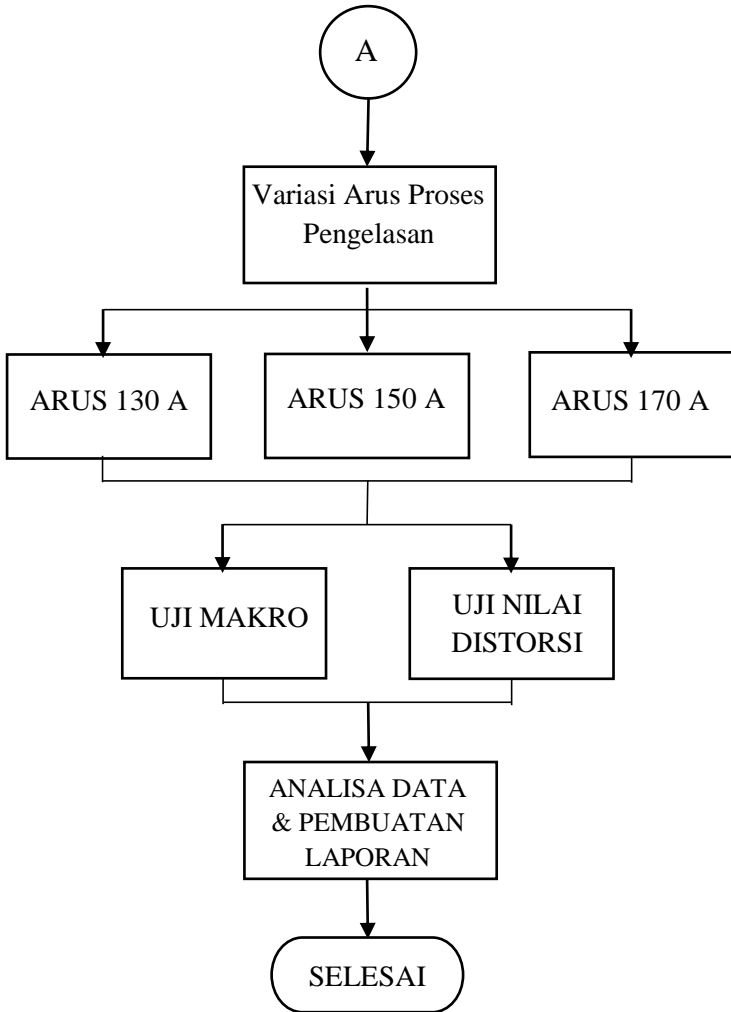
Hasil yang akan diamati dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Distorsi ; menganalisa hasil distorsi longitudinal dan transversal yang terjadi setelah proses pengelasan dengan menggunakan pengujian *dial indicator*.
2. Makro Etsa ; menganalisa lebar HAZ pada hasil pengelasan dengan menggunakan pengujian Makro etsa.

#### **3.2 Diagram Alir ( Flow Chart )**

Untuk membantu pelaksanaan penelitian ini maka perlu dibuat suatu urutan metode yang menjadi kerangka acuan dalam pelaksanaannya. Kerangka ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dari pengerjaan penelitian. Dimulai dari identifikasi masalah sampai nantinya mendapatkan kesimpulan atas penelitian ini. Pada gambar 3.1 dibawah ini adalah kerangka acuan untuk mengerjakan penelitian.





**Gambar 3.1** Flow Chart Diagram

### 3.3 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dilaksanakan pada semester ganjil tahun ajaran 2018/2019 bulan September sampai dengan bulan Desember 2018

### 3.4 Tempat

Penelitian ini dilakukan di Lab. Metalurgi Departemen Teknik Mesin FV-ITS dan PT. Dok dan Perkapalan Surabaya

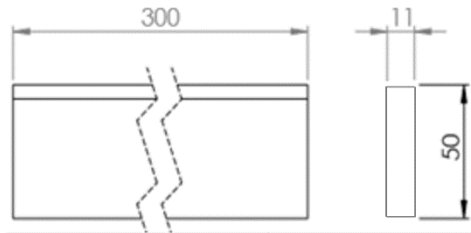
### 3.5 Persiapan Bahan dan Spesimen

#### 3.5.1 Persiapan Bahan

Bahan yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Material plat baja ASTM A36 dengan dengan dimensi 300 mm x 50 mm tebal 11 mm sebanyak 3 joint spesimen (gambar 3.2 & 3.3)
- Elektroda E6013 digunakan sebagai logam pengisi lasan dengan diameter 3.2 mm dan 4 mm. (gambar 3.4)

Dimensi ukuran benda kerja sebagai berikut :



**Gambar 3.2** Sket Dimensi Material





**Gambar 3.3** Foto Material asli

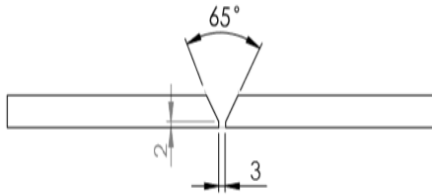


**Gambar 3.4** Elektroda E 6013

### 3.5.2 Persiapan Spesimen

Pada tahap ini akan dibuat spesimen yang nantinya akan di las menggunakan mesin las SMAW. Dengan persiapan pengelasan sebagai berikut :

- Plat baja karbon ASTM A36 dengan dimensi 300 mm x 50 mm x 11 mm sebanyak 6 lembar.
- Bagian plat yang akan di las diratakan dan dibentuk sudut *groove angle* sebesar  $65^\circ$ , *root face* 2 mm dan *root opening* 3 mm dengan gerinda tangan. (gambar 3.5 , 3.6)
- Pembersihan terhadap kotoran di permukaan material yang akan di las.
- Spesimen siap disambung (gambar 3.7)



**Gambar 3.5** Sket Dimensi Material Pengelasan



**Gambar 3.6** Gerinda Tangan



**Gambar 3.7** Foto Material Setelah digerinda

### 3.6 Parameter Pengelasan

Dalam penelitian ini parameter yang digunakan pada saat pengelasan adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.2** Parameter Pengelasan

Parameter Las	Ampere	Ukuran Elektroda	No Pass	Volt	Travel Speed	Polarity	Proses
1	110 A	Dia 3.2	1	28 V	1.20 mm/s	DCEN	Root Pass
	130 A	Dia 4	2				Fill Pass
		Dia 4	3				Back Weld
		Dia 4	4				Capping
2	110 A	Dia 3.2	1	28 V	1.23 mm/s	DCEN	Root Pass
	150 A	Dia 4	2				Fill Pass
		Dia 4	3				Back Weld
		Dia 4	4				Capping
3	110 A	Dia 3.2	1	28 V	1.26 mm/s	DCEN	Root Pass
	170 A	Dia 4	2				Fill Pass
		Dia 4	3				Back Weld
		Dia 4	4				Capping

### 3.7 Proses Pengelasan

Setelah spesimen telah dipotong sesuai dimensi pengelasan maka langkah selanjutnya adalah proses pengelasan dengan metode SMAW dengan sambungan *butt joint single v groove 65°*. Sebelum dilakukan proses pengelasan menggunakan metode SMAW, material harus dibersihkan terlebih dahulu agar tidak ada kotoran pada area yang akan di las. Selanjutnya mempersiapkan mesin las, mesin las yang digunakan adalah mesin las SMAW tipe focus 400A (gambar 3.8) dan mengatur arus pada mesin las dan juga dicocokkan dengan tang ampere sesuai dengan variasi parameter yang akan digunakan (gambar 3.9). Pada saat proses pengelasan menggunakan posisi 1G (gambar 3.10), layer pertama digunakan untuk mengelas root dengan menggunakan arus yang kecil dengan diameter 3.2mm dan pada layer kedua menggunakan elektroda diameter 4mm untuk mengisi logam las kemudian layer

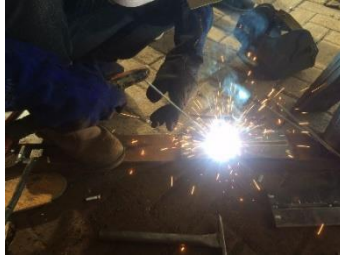
ketiga digunakan untuk pengelasan pada backweld sebelum pengelasan backweld alur las di gouging terlebih dahulu sampai lebar 4mm (gambar 3.11), kemudian layer keempat digunakan untuk mengisi dan menutup logam hasil lasan sampai selesai. Pada gambar 3.12 adalah hasil dari proses pengelasan



**Gambar 3.8** Mesin las SMAW Focus 400A



**Gambar 3.9** Tang Ampere



**Gambar 3.10** Proses Pengelasan



**Gambar 3.11** Proses Backgouging



**Gambar 3.12** Material Hasil Pengelasan

### **3.8 Pengambilan Data**

Setelah proses pengelasan dengan:

- Parameter 1 besar arus 130A
- Parameter 2 besar arus 150 A
- Parameter 3 Besar arus 170 A

Selesai, maka spesimen akan dilakukan pengambilan data sebagai berikut :

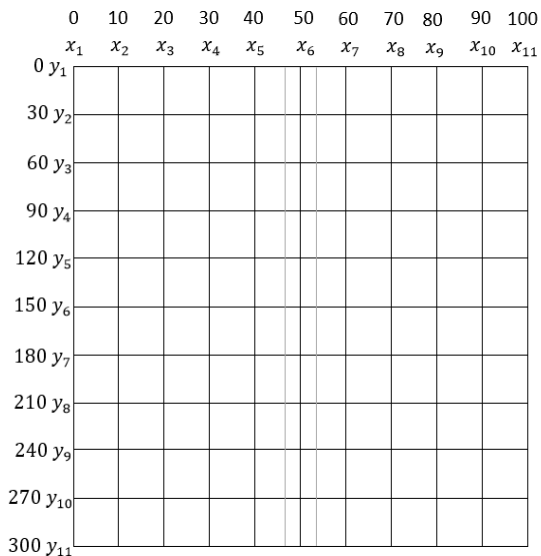
### 3.8.1 Pengukuran Nilai Distorsi

Setelah proses pengelasan selesai selanjutnya dilakukan pengukuran nilai distorsi pada setiap hasil pengelasan. Pengukuran dilakukan dengan metode fixed point dengan bantuan alat dial indicator (gambar 3.13)



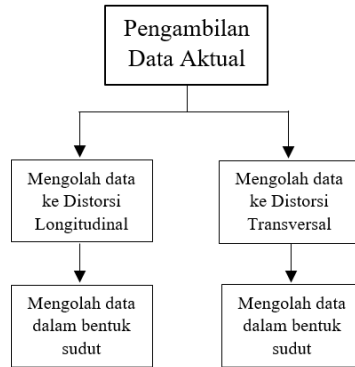
**Gambar 3.13** Dial Indikator

Cara pengukuran distorsi menggunakan metode fixed point yaitu dengan membuat garis gridline pada spesimen hasil pengelasan, ditunjukkan pada gambar 3.14 berikut



**Gambar 3.14** Pengukuran Distorsi

Tahap untuk pengambilan nilai distorsi longitudinal dan transversal yaitu sebagai gambar 3.15 berikut :



**Gambar 3.15** Tahap Pengambilan Nilai Distorsi

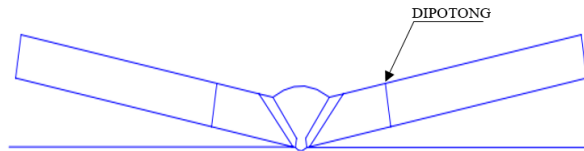
1. Pengambilan Data Aktual
  - Pengambilan data dimulai dari titik referensi (0) atau pada garis X1
2. Mengolah data aktual menjadi data distorsi longitudinal dan transversal
  - Distorsi Transversal: titik referensi (0) diubah ke garis X6
  - Distorsi Longitudinal : titik referensi (0) diubah ke garis Y6
3. Mengubah data distorsi menjadi sudut dengan rumus trigonometri sederhana kemudian dihitung rata-rata distorsi sudutnya

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\text{Tinggi Distorsi}}{\text{Panjang Pelat}}$$

Setelah semua data telah diambil maka langkah selanjutnya adalah mengubah data tersebut kedalam bentuk grafik dengan menggunakan software excel untuk mengolah data nilai distorsi yang akan di tampilkan dalam bentuk grafik tiga dimensi.

### 3.8.2 Pemotongan Material

Pada tahap ini material dipotong menjadi lebih pendek yang berpusat pada *weld metal*. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses penghalusan yang selanjutnya akan digunakan proses makro etsa. Merujuk pada gambar 3.16 pemotongan yang diperlukan yaitu 80 mm – 100 mm sebanyak 1 sampel secukupnya agar semua bagian las – lasan terlihat.



**Gambar 3.16** Pemotongan Makro Etsa

### 3.8.3 Uji Makro Etsa

Bertujuan untuk melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu proses mereaksikan spesimen dengan larutan kimia ( cairan  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  ), agar didapat hasil yaitu pada spesimen hasil pengelasan bagian *Weld Metal*, *HAZ*, dan *Base Metal* akan terlihat.

Berikut langkah-langkah pengujian makro etsa :

1. Menggosok benda uji dengan menggunakan amplas secara bertahap mulai dari 220,400,800,1000,1300 hingga spesimen uji benar- benar rata (gambar 3.17)
2. Setelah spesimen sudah rata kemudian diberi autosol agar spesimen lebih halus. (gambar 3.18)
3. Setelah rata dan halus spesimen siap untuk di uji makro etsa (gambar 3.19)
4. Siapkan tempat untuk melarutkan cairan etsa (gambar 3.20)
5. Mulai pengetsaan spesimen dengan melarutkan larutan alkohol dengan  $\text{HNO}_3$  yang mana



- perbandingannya adalah 98 ml untuk alcohol dan 2 ml untuk HNO<sub>3</sub>. (gambar 3.21)
6. Kemudian bersihkan benda kerja dengan cara merendam benda kerja dengan alcohol 96% selama 2 menit.
  7. Setelah itu benda kerja dimasukkan kedalam larutan etsa selama 3-5 menit. (gambar 3.22)
  8. Ketika sudah terlihat daerah hasil lasan, angkat dan celupkan kedalam alcohol sebentar lalu keringkan dengan hair dryer. (gambar 3.23)
  9. Setelah itu amati hasil pengujian. (gambar 3.24)



**Gambar 3.17** Kertas Gosok



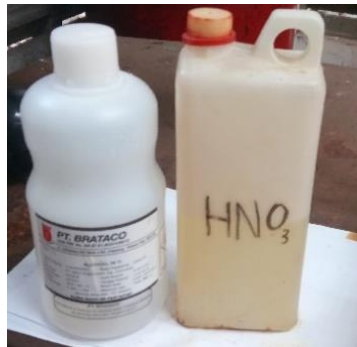
**Gambar 3.18** Autosol



**Gambar 3.19** Spesimen uji



**Gambar 3.20** Tempat Etsa



**Gambar 3.21** Larutan Etsa



**Gambar 3.22** Proses Pengetsaan



**Gambar 3.23** Pengeringan dengan *hairdryer*



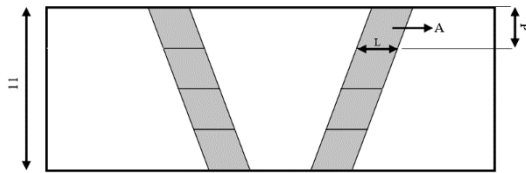
**Gambar 3.24** Spesimen setelah diuji etsa

#### **3.8.4 Menghitung Lebar HAZ**

Pada pengujian makro etsa ini yang akan dilihat adalah daerah *HAZ*. Pada gambar 3.25 berikut adalah metode untuk mengukur lebar *HAZ*. Dalam metode pengukuran lebar *HAZ* dibantu dengan software *solidworks* dengan langkah-langkah berikut :

*(gambar pada lampiran)*

1. Insert spesimen ke software *solidworks*
2. Input ukuran dimensi spesimen agar sesuai dengan gambar di *solidworks*
3. Sket luasan *HAZ* yang akan diukur setelah selesai kemudian
4. Extrude luasan yang sudah di sket
5. Kemudian measure sket luasan yang sudah di extrude sehingga mendapatkan luasan *HAZ* yang diinginkan
6. Setelah luasan telah diketahui, kemudian dihitung dengan rumus seperti berikut



**Gambar 3.25** Metode Pengukuran HAZ

Rumus lebar HAZ  $L = \frac{A}{P}$

Dimana :  
A = Luas Spesimen  
P = Panjang Spesimen  
L = Lebar Spesimen

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana perbedaan pengaruh variasi arus 130A, 150A dan 170A pada sambungan las baja ASTM A36 yang dilakukan pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), melalui pengujian Nilai Distorsi dan Makro Etsa. Pada tabel 4.1 dan 4,2 dibawah ini diberikan parameter dari proses pengelasan.

### 4.1 Parameter Pengelasan

**Tabel 4.1** Material dan Elektroda

NAMA	KETERANGAN
Spesifikasi Material	ASTM A36
Tebal	11 mm
Klasifikasi AWS	E 6013
Diameter Filler	3.2 mm dan 4mm
Posisi Pengelasan	1G
Layer Number	4
Polaritas	DCEN

**Tabel 4.2** Heat Input

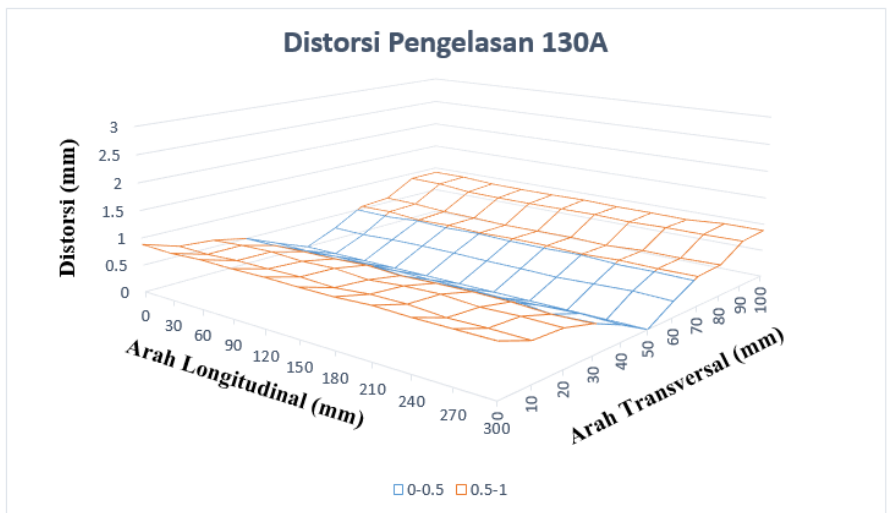
Parameter	SMAW		
	130 Ampere	150 Ampere	170 Ampere
Arus	130 Ampere	150 Ampere	170 Ampere
Voltase	28 Volt	28 Volt	28 Volt
Travel Speed	1.20 mm/s	1.23 mm/s	1.26 mm/s
Koef. Las SMAW	0.8	0.8	0.8
Heat Input	2326.7 J/mm	2542.9 J/mm	2750.5 J/mm

## 4.2 Pengujian Nilai Distorsi

### 4.2.1 Hasil Data dan Grafik Aktual Pengukuran Nilai Distorsi *(dilampirkan)*

### 4.2.2 Hasil Data Distorsi Arah Transversal dan Longitudinal *(dilampirkan)*

### 4.2.3 Hasil Grafik & Besar sudut distorsi transversal & Longitudinal



**Gambar 4.1** Grafik Pengukuran Distorsi 130A

**Tabel 4.3** Data Pengukuran Sudut Distorsi Transversal 130A

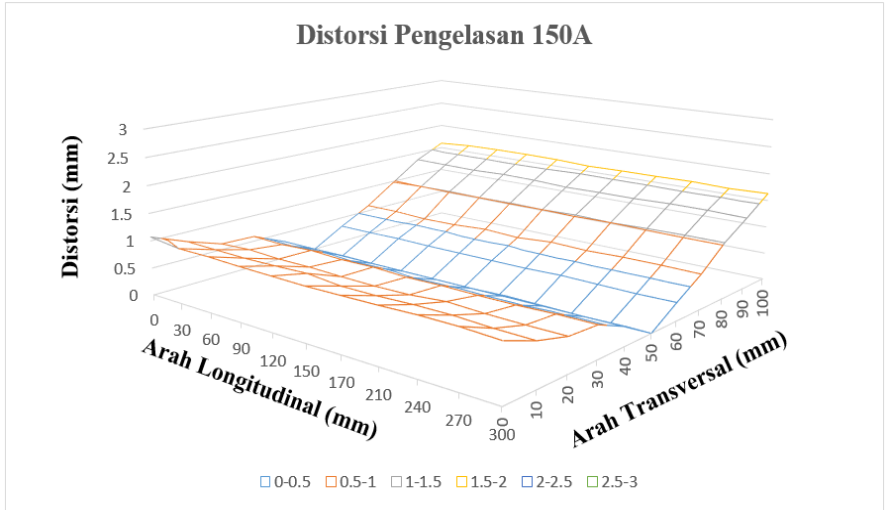
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Y1 (0)	1	0.97	1.20	1.43	1.37	0	1.37	1.57	1.12	1.27	1.03
Y2 (30)	0.98	0.95	1.27	1.43	1.31	0	1.31	1.54	1.1	1.26	1.03
Y3 (60)	1.01	1	1.31	1.48	1.48	0	1.48	1.46	1.03	1.17	0.98
Y4 (90)	1	1	1.26	1.51	1.54	0	1.54	1.51	1.01	1.16	0.97
Y5 (120)	1.01	1.01	1.29	1.6	1.54	0	1.54	1.46	0.97	1.16	0.97
Y6 (150)	1	0.97	1.2	1.48	1.48	0	1.48	1.51	0.99	1.17	0.98
Y7 (180)	1	1.04	1.29	1.54	1.48	0	1.48	1.51	1.01	1.18	0.96
Y8 (210)	1.04	1.04	1.33	1.57	1.43	0	1.43	1.46	0.97	1.16	0.96
Y9 (240)	1.01	0.97	1.24	1.54	1.6	0	1.6	1.54	1.05	1.18	0.95
Y10 (270)	1.01	0.98	1.27	1.43	1.77	0	1.77	1.51	1.05	1.18	0.98
Y11 (300)	1.01	0.97	1.26	1.48	1.66	0	1.66	1.54	1.08	1.19	1

$$\begin{aligned}
 \text{Rata - rata Distorsi} &= \frac{\text{Jumlah Distorsi}}{\text{Jumlah Titik}} \\
 &= \frac{136.38}{110} = \mathbf{1.24^\circ}
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.4** Data Pengukuran Sudut Distorsi Longitudinal 130A

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Y1 (0)	0	0	0	-0.007	-0.007	0	-0.007	0.007	0.026	0.026	0.015
Y2 (30)	-0.009	-0.0008	0.019	-0.009	-0.014	0	-0.014	0.014	0.028	0.028	0.019
Y3 (60)	0.006	0.006	0.038	0	0	0	0	-0.012	0.012	0	0
Y4 (90)	0	0.019	0.028	0.009	0.009	0	0.009	0	0.009	-0.009	-0.009
Y5 (120)	0.019	0.057	0.095	0.076	0.019	0	0.019	-0.038	-0.019	-0.019	-0.019
Y6 (150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y7 (180)	0	0.095	0.095	0.038	0	0	0	0	0.019	0.019	-0.038
Y8 (210)	0.028	0.047	0.066	0.028	-0.009	0	-0.009	-0.019	-0.009	-0.009	-0.038
Y9 (240)	0.006	0.012	0.031	0.012	0.012	0	0.012	0.006	0.019	0.006	-0.019
Y10 (270)	0.004	0.004	0.019	-0.009	0.023	0	0.023	0	0.014	0.014	0.009
Y11 (300)	0.003	0	0.011	0	0.011	0	0.011	0.003	0.019	0.007	0.007

$$\begin{aligned}
 \text{Rata - rata Distorsi} &= \frac{\text{Jumlah Distorsi}}{\text{Jumlah Titik}} \\
 &= \frac{0.997}{100} = \mathbf{0.01^\circ}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.2** Grafik Pengukuran Distorsi 150A

**Tabel 4.5** Data Pengukuran Sudut Distorsi Transversal 150A

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Y1 (0)	1.22	1.17	1.16	1.68	1.83	0	1.83	1.74	1.87	1.93	1.87
Y2 (30)	1.14	1.16	1.22	1.63	1.83	0	1.83	1.74	1.9	1.91	1.87
Y3 (60)	1.14	1.14	1.16	1.71	1.89	0	1.89	1.66	1.92	1.9	1.89
Y4 (90)	1.12	1.16	1.16	1.63	1.83	0	1.83	1.68	1.9	1.93	1.89
Y5 (120)	1.11	1.18	1.12	1.66	1.83	0	1.83	1.8	1.92	1.91	1.87
Y6 (150)	1.09	1.1	1.1	1.57	1.83	0	1.83	1.71	1.9	1.87	1.84
Y7 (180)	1.11	1.1	1.12	1.6	1.83	0	1.83	1.86	1.94	1.89	1.85
Y8 (210)	1.12	1.13	1.22	1.57	1.94	0	1.94	1.8	1.9	1.89	1.85
Y9 (240)	1.14	1.13	1.16	1.57	1.89	0	1.89	1.86	1.94	1.91	1.86
Y10 (270)	1.14	1.08	1.14	1.63	1.83	0	1.83	1.86	1.96	1.91	1.84
Y11 (300)	1.11	1.07	1.14	1.63	1.83	0	1.83	1.83	1.96	1.89	1.86

$$\text{Rata - rata Distorsi} = \frac{\text{Jumlah Distorsi}}{\text{Jumlah Titik}}$$

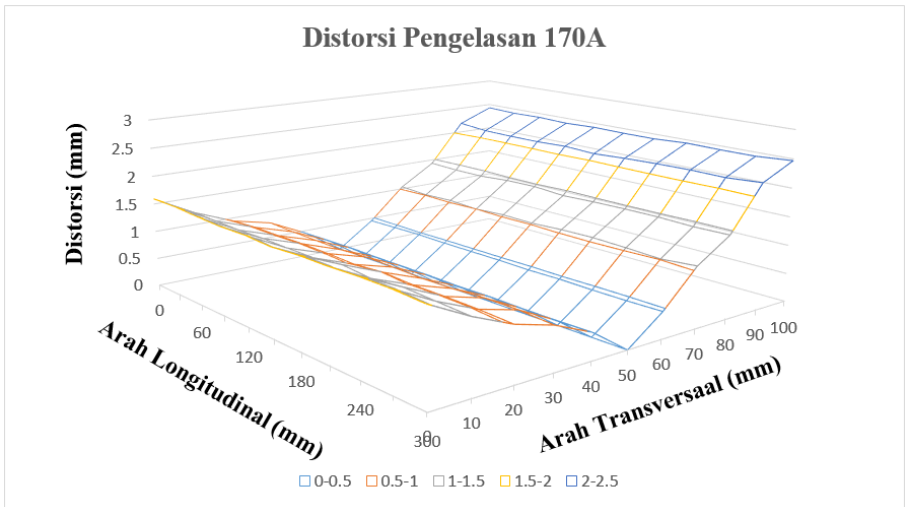
$$= \frac{176.53}{110} = 1.60^{\circ}$$



**Tabel 4.6** Data Pengukuran Sudut Distorsi Longitudinal 150A

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Y1 (0)	0.042	0.019	0.011	0.011	0	0	0	0.003	-0.007	0.015	0.011
Y2 (30)	0.019	0.019	0.028	0.004	0	0	0	0.004	0	0.014	0.014
Y3 (60)	0.025	0.019	0.019	0.031	0.006	0	0.006	-0.012	0.006	0.012	0.025
Y4 (90)	0.019	0.038	0.028	0.019	0	0	0	-0.009	0	0.038	0.038
Y5 (120)	0.019	0.011	0.019	0.05	0	0	0	0.05	0.019	0.019	0.05
Y6 (150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y7 (180)	0.019	0	0.019	0.019	0	0	0	0.09	0.038	0.019	0.019
Y8 (210)	0.009	-0.019	0.05	0	0.019	0	0.019	0.028	0.009	0.009	-0.009
Y9 (240)	0.025	0.012	0.019	0	0.006	0	0.006	0.031	0.019	0.012	0
Y10 (270)	0.019	-0.004	0.009	0.009	0	0	0	0.023	0.014	0.014	0
Y11 (300)	0.003	-0.007	0.007	0.007	0.003	0	0.003	0.015	0.011	0.003	0.007

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata Distorsi} &= \frac{\text{Jumlah Distorsi}}{\text{Jumlah Titik}} \\ &= \frac{1.345}{100} = \mathbf{0.013^\circ} \end{aligned}$$



**Gambar 4.3** Grafik Pengukuran Distorsi 170A

**Tabel 4.7** Data Pengukuran Sudut Distorsi Transversal 170A

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Y1 (0)	1.82	1.74	1.79	2.23	2.57	0	2.57	2.97	2.72	3.11	2.78
Y2 (30)	1.82	1.73	1.85	2.17	2.63	0	2.63	2.89	2.69	3.04	2.75
Y3 (60)	1.78	1.71	1.87	2.14	2.69	0	2.69	2.89	2.69	3.03	2.77
Y4 (90)	1.76	1.73	1.87	2.11	2.63	0	2.63	2.94	2.76	3.03	2.74
Y5 (120)	1.77	1.71	1.85	2.2	2.63	0	2.63	2.86	2.78	3.06	2.77
Y6 (150)	1.74	1.71	1.81	2.17	2.63	0	2.63	2.94	2.7	3.01	2.75
Y7 (180)	1.77	1.8	1.89	2.11	2.57	0	2.57	3	2.75	3.06	2.75
Y8 (210)	1.77	1.73	1.83	2.17	2.63	0	2.63	3.03	2.76	3.09	2.79
Y9 (240)	1.79	1.8	1.83	2.23	2.57	0	2.57	2.94	2.76	3.1	2.78
Y10 (270)	1.79	1.76	1.81	2.23	2.57	0	2.57	2.89	2.72	3.09	2.78
Y11 (300)	1.76	1.71	1.75	2.11	2.63	0	2.63	3.03	2.74	3.14	2.82

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata Distorsi} &= \frac{\text{Jumlah Distorsi}}{\text{Jumlah Titik}} \\ &= \frac{266.91}{110} = \mathbf{2.42^\circ} \end{aligned}$$

**Tabel 4.8** Data Pengukuran Sudut Distorsi Longitudinal 170A

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Y1 (0)	0.026	0.007	-0.003	0.007	-0.003	0	-0.003	0.007	0.003	0.026	0.007
Y2 (30)	0.033	0.004	0.009	0	0	0	0	-0.004	-0.004	0.009	0
Y3 (60)	0.025	0	0.012	-0.006	0.006	0	0.006	0.006	-0.006	0.006	0.006
Y4 (90)	0.019	0.009	0.028	-0.019	0	0	0	-0.02	0.038	0.009	-0.009
Y5 (120)	0.057	0	0.038	0.019	0	0	0	0.019	0.076	0.057	0.019
Y6 (150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y7 (180)	0.057	0.11	0.076	-0.038	-0.019	0	-0.019	0.057	0.038	0.057	0
Y8 (210)	0.028	0.019	0.019	-0.019	0.019	0	0.019	0.038	0.028	0.047	0.028
Y9 (240)	0.031	0.038	0.006	0.012	-0.006	0	-0.006	0.012	0.019	0.038	0.012
Y10 (270)	0.023	0.014	0	0.009	-0.004	0	-0.004	-0.004	0.004	0.023	0.009
Y11 (300)	0.084	0	-0.011	-0.007	0	0	0	0.007	0.011	0.042	0.022

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata Distorsi} &= \frac{\text{Jumlah Distorsi}}{\text{Jumlah Titik}} \\ &= \frac{1.435}{100} = \mathbf{0.014^\circ} \end{aligned}$$

#### **4.2.4 Pembahasan Hasil Pengujian Nilai Distorsi**

Distorsi merupakan masalah yang umum yang sering terjadi pada proses pengelasan. Distorsi disebabkan karena proses terjadinya siklus pemanasan dan pendinginan yang menyebabkan terjadinya penyusutan pada logam las pada logam dasar yang mencair. Sifat dasar logam dalam keadaan cair adalah volume yang akan menyusut ketika membeku.

Arus merupakan variabel primer dalam penentuan masukan panas dimana arus mengalir dari sumber listrik melalui elektroda ke material yang akan dilas. Makin tinggi arus, maka makin tinggi laju deposit, makin dalam penetrasi dan makin lebar daerah lasan sehingga ketika daerah lasan semakin lebar maka semakin besar pula distorsi yang terjadi.

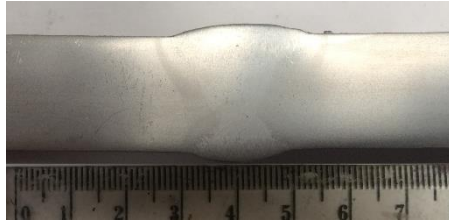
Pada penelitian penyambungan dua buah pelat baja didapat hasil distorsi pada gambar 4.1, gambar 4.2 dan gambar 4.3 pengelasan dilakukan dengan metode SMAW dengan variasi arus 130A, 150A dan 170A. Hasil penelitian dengan variasi arus berturut-turut 130A, 150A dan 170A menghasilkan distorsi Transversal rata-rata sebesar  $1.26^\circ$ ,  $1.66^\circ$  dan  $2.47^\circ$  dan distorsi Longitudinal sebesar  $0.01^\circ$ ,  $0.013^\circ$  dan  $0.014^\circ$ .

Dari hasil penelitian diatas distorsi transversal dan longitudinal yang dihasilkan cenderung bertambah besar seiring dengan kenaikan arus pengelasan dimana arus yang semakin besar akan memberikan masukan panas yang besar juga pada saat proses pengelasan. Dari hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 4.2, pada tabel tersebut ditunjukkan bahwa masukan panas semakin besar seiring dengan arus yang semakin besar. Untuk arus 130A sebesar 2326.7 j/mm, arus 150A sebesar 2542.9 j/mm dan arus 170A sebesar 2750.5 j/mm. pengaruh dari masukan panas ini terhadap distorsi ini disebabkan karena semakin tinggi masukan panas yang diterima oleh logam las maka pemuaiannya juga semakin besar sehingga ketika temperatur logam las mulai turun maka gaya penyusutan antara logam

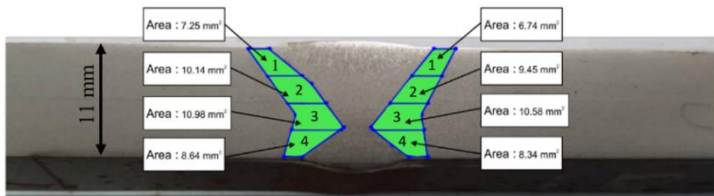
las dan logam dasar semakin besar hal ini juga dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan dimana kecepatan pendinginan semakin bertambah seiring meningkatnya masukan panas yang masuk.

### 4.3 Pengujian Makro Etsa

#### 4.3.1 Perhitungan Lebar HAZ (Dilampirkan)



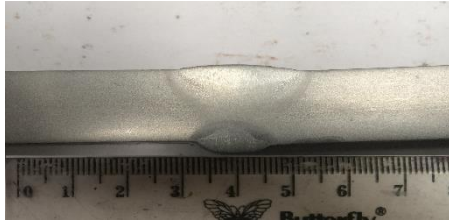
**Gambar 4.4** Lebar HAZ Arus 130A



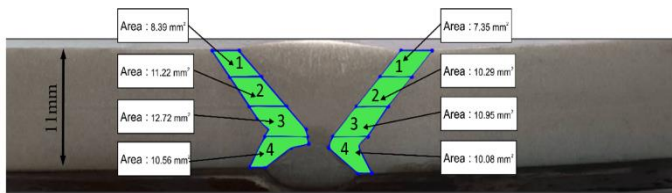
**Gambar 4.5** Lebar HAZ Arus 130A (Solidworks)

**Tabel 4.9** Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro 130A

No	Lebar HAZ (mm)	
	Kiri	Kanan
1	2.63	2.45
2	3.72	3.43
3	3.99	3.83
4	3.14	3.03
Rata-rata	3.37	3.18



**Gambar 4.6** Lebar HAZ Arus 150A



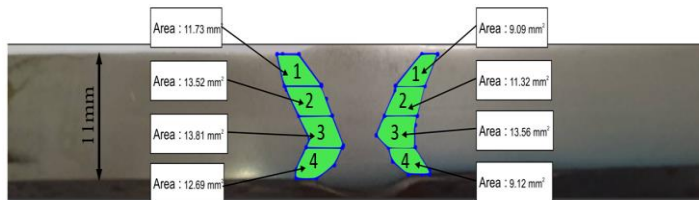
**Gambar 4.7** Lebar HAZ Arus 150A (Solidworks)

**Tabel 4.10** Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro 150A

No	Lebar HAZ (mm)	
	Kiri	Kanan
1	3.24	2.67
2	4.08	3.74
3	4.62	3.98
4	3.84	3.66
Rata-rata	3.94	3.51



**Gambar 4.8** Lebar HAZ Arus 170A



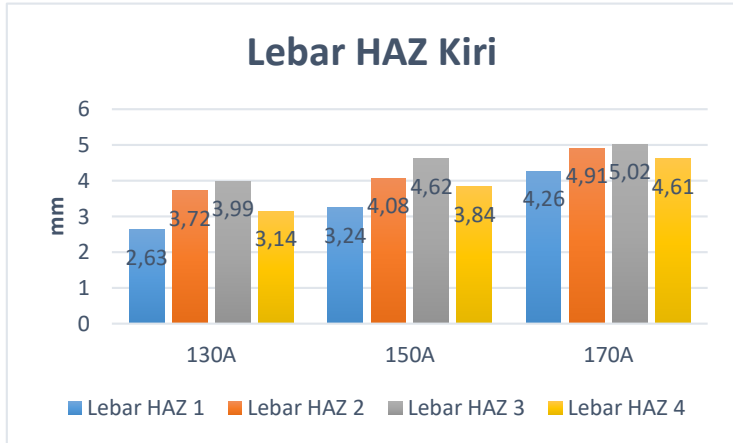
**Gambar 4.9** Lebar HAZ Arus 170A (Solidworks)

**Tabel 4.11** Lebar HAZ Hasil Pengujian Makro 170A

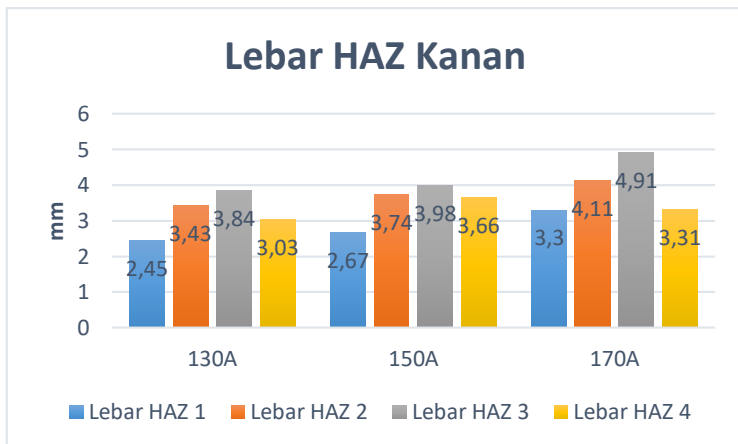
No	Lebar HAZ (mm)	
	Kiri	Kanan
1	4.26	3.30
2	4.91	4.11
3	5.02	4.91
4	4.61	3.31
<b>Rata-rata</b>	<b>4.70</b>	<b>3.91</b>

**Tabel 4.12** Lebar HAZ Rata – rata Umum

Arus	Lebar HAZ (mm)
<b>130 A</b>	<b>3.27</b>
<b>150 A</b>	<b>3.72</b>
<b>170 A</b>	<b>4.30</b>

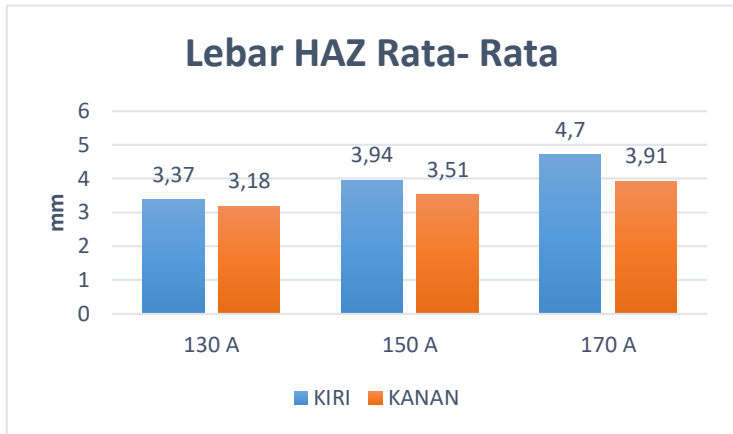


**Gambar 4.10** Grafik Lebar HAZ Sebelah Kiri

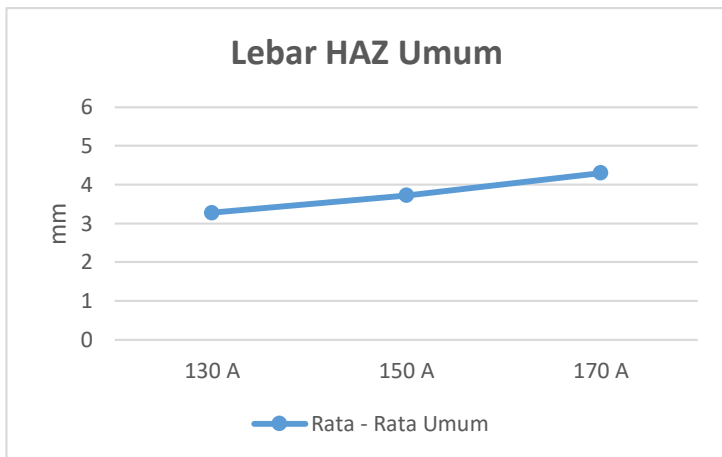


**Gambar 4.11** Grafik Lebar HAZ Sebelah Kanan





**Gambar 4.12** Grafik Lebar HAZ Rata - Rata



**Gambar 4.13** Grafik Lebar HAZ Umum

### 4.3.2 Pembahasan Hasil Pengujian Makro Etsa

Pengaruh variasi perbedaan arus akan mempengaruhi masukan panas yang terjadi pada saat proses pengelasan sehingga menyebabkan terjadi perubahan struktur makro.

Dari secara keseluruhan tiap variasi, HAZ lebih lebar pada sisi kiri, dikarenakan faktor seperti sudut pengelasan dimana welder cenderung lebih banyak mengarah ayunan busur las pada sisi kiri pada saat proses pengelasan. Sehingga lebar HAZ antara sisi kiri dan kanan berbeda.

Dari gambar 4.11 pada pengujian makro etsa dengan variasi arus berturut-turut 130A, 150A dan 170A menghasilkan lebar HAZ rata-rata sebesar 3.27mm, 3.72mm dan 4.30mm. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar arus pengelasan maka HAZ akan semakin lebar. Hal ini diakibatkan karena arus yang semakin besar akan membuat masukan panas yang diterima oleh benda kerja lebih besar juga. Pada tabel 4.2 ditunjukkan bahwa pada arus 130A menerima *heat input* sebesar 2326.7 j/mm, arus 150A sebesar 2542.9 j/mm dan arus 170A sebesar 2750.5 j/mm.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh variasi arus pengelasan SMAW pada material baja ASTM A36 menggunakan elektroda E6013 terhadap Nilai Distorsi Longitudinal, Transversal dan Lebar HAZ , dapat disimpulkan bahwa:

- 1 Pada pengujian nilai distorsi dengan variasi arus 130A, 150A dan 170A didapatkan hasil berturut-turut distorsi transversal sebesar  $1.24^\circ$ ,  $1.66^\circ$  dan  $2.47^\circ$  dan distorsi longitudinal sebesar  $0.01^\circ$ ,  $0.013^\circ$  dan  $0.014^\circ$ . Dari penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar arus maka distorsi yang terjadi semakin besar juga.
  
2. Dari penelitian pengujian makro etsa terlihat bahwa lebar HAZ berbanding lurus seiring dengan meningkatnya arus pada saat pengelasan

### **5.2 Saran**

Dalam penelitian ini masih banyak hal yang harus dikembangkan untuk mendapatkan hasil lebih baik pada penelitian selanjutnya. Oleh karean itu diberikan saran-saran sebagai berikut:

- 1 Pada pengujian nilai distorsi disarankan untuk membuat perbandingan gridline yang lebih kecil lagi agar hasil uji distorsi lebih detail.

## DAFTAR PUSTAKA

Prof. Dr. Ir. Harsono Wirjosumarto, Prof. Dr. Toshie Okumura, Teknologi Pengelasan Logam, P. T. Pradya Paramita, Jakarta, 1981[1]

Wibowo, heri.,Ilman, M.Noer., Iswanto, Prio Tri. 2016. "Analisa Heat Input Pengelasan Terhadap Distorsi Struktur Mikro dan Kekuatan mekanis Baja A36". **Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gajah Mada, ISSN 2477 – 6041**[2]

ASTM Steel Grade A36, *Mild/low Carbon Steel*, American Society for Testing and Materials [3]

Kou, S., 1987, "welding metallurgy" , John Wiley & Sons, Singapore. [4]

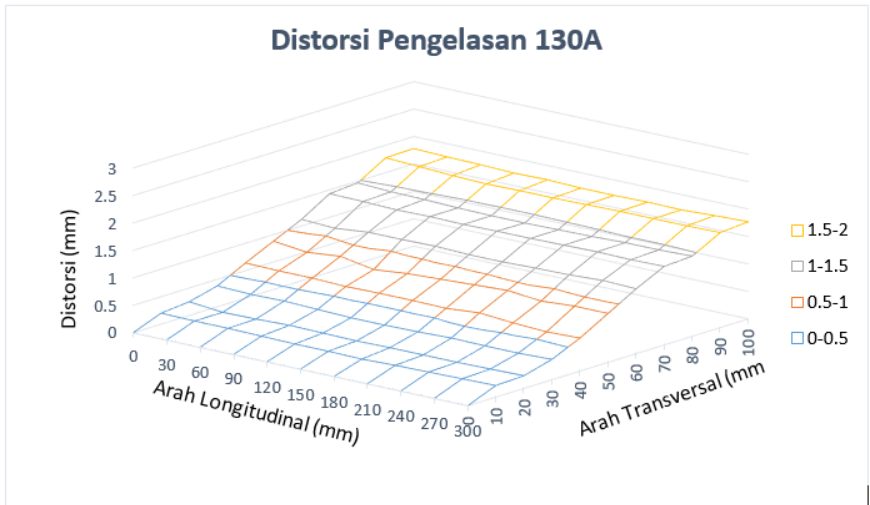
*Einstein, Abdillah.* 2010. "Pengaruh Ketebalan Pelat Terhadap Tegangan sisa dan distorsi angular pada naja ss400 menggunakan FCAW Semi-otomatis" Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia. [5]

Harsono Wirjosumarto. (2008). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakaarta: Paradnya Paramit [6]

American Welding Society, *Welding Handbook*, Vol 1. *Welding Science and Technology*.Miami : AWS, 2006.[7]

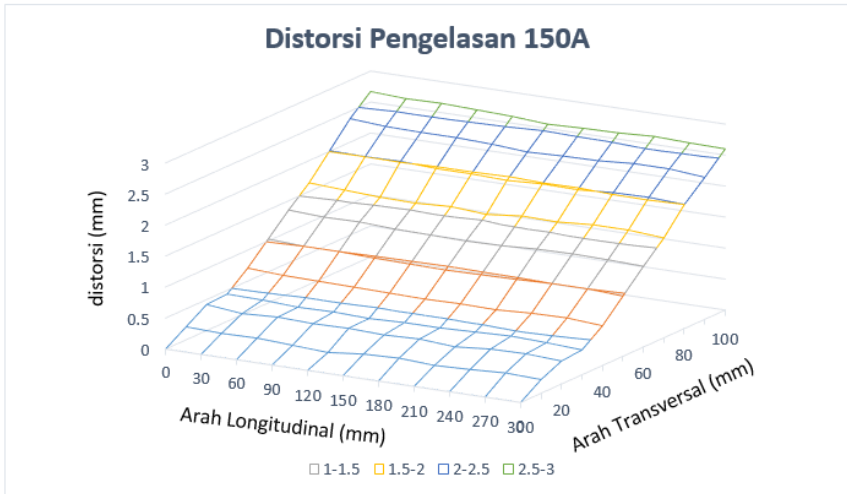
Ikeagu, Chukwugozie Raymond, *Evaluating the Effect of Different Welding Processes on the Distortion of 4mm Thick DH36 Ship Panels*, Cranfield University, September, 2007.[8]

## Lampiran Hasil Data dan Grafik Aktual Pengukuran Nilai Distorsi



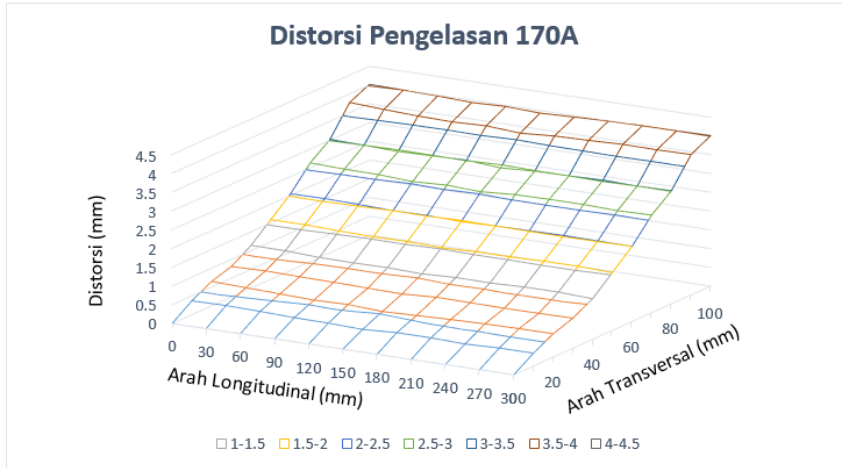
**Tabel** Data Aktual Pengukuran Distorsi 130A

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 (70)	X9 (80)	X10 (90)	X11 (100)
Y1 (0)	0	0.2	0.25	0.38	0.64	0.88	1.12	1.43	1.47	1.77	1.78
Y2 (30)	0	0.19	0.19	0.36	0.63	0.86	1.09	1.42	1.44	1.74	1.76
Y3 (60)	0	0.19	0.2	0.37	0.63	0.89	1.15	1.4	1.43	1.71	1.75
Y4 (90)	0	0.18	0.22	0.35	0.61	0.88	1.15	1.41	1.41	1.69	1.73
Y5 (120)	0	0.17	0.21	0.33	0.62	0.89	1.16	1.4	1.4	1.70	1.74
Y6 (150)	0	0.17	0.2	0.33	0.62	0.88	1.14	1.41	1.4	1.70	1.72
Y7 (180)	0	0.16	0.21	0.34	0.62	0.88	1.14	1.41	1.41	1.71	1.72
Y8 (210)	0	0.18	0.21	0.36	0.66	0.91	1.16	1.42	1.42	1.72	1.73
Y9 (240)	0	0.19	0.21	0.35	0.61	0.89	1.17	1.43	1.44	1.72	1.72
Y10 (270)	0	0.2	0.22	0.35	0.58	0.89	1.2	1.42	1.44	1.72	1.75
Y11 (300)	0	0.21	0.23	0.37	0.60	0.89	1.18	1.43	1.46	1.73	1.77



**Tabel** Data Aktual Pengukuran Distorsi 150A

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 (70)	X9 (80)	X10 (90)	X11 (100)
Y1 (0)	0	0.21	0.42	0.44	0.71	1.03	1.35	1.64	2.01	2.38	2.67
Y2 (30)	0	0.19	0.36	0.43	0.68	1	1.32	1.61	2	2.34	2.64
Y3 (60)	0	0.2	0.39	0.4	0.67	1	1.33	1.58	2.01	2.33	2.65
Y4 (90)	0	0.17	0.37	0.41	0.66	0.98	1.3	1.57	1.98	2.33	2.63
Y5 (120)	0	0.14	0.38	0.39	0.65	0.97	1.29	1.6	1.98	2.31	2.61
Y6 (150)	0	0.19	0.38	0.41	0.64	0.96	1.28	1.56	1.96	2.27	2.57
Y7 (180)	0	0.20	0.38	0.41	0.65	0.97	1.29	1.62	1.99	2.29	2.59
Y8 (210)	0	0.19	0.34	0.43	0.64	0.98	1.32	1.61	1.98	2.3	2.60
Y9 (240)	0	0.21	0.39	0.45	0.67	1	1.33	1.65	2.02	2.34	2.63
Y10 (270)	0	0.24	0.4	0.43	0.68	1	1.32	1.65	2.03	2.34	2.61
Y11 (300)	0	0.22	0.37	0.40	0.64	0.97	1.30	1.61	2	2.29	2.60



**Tabel Data Aktual Pengukuran Distorsi 150A**

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 (70)	X9 (80)	X10 (90)	X11 (100)
Y1 (0)	0	0.37	0.65	0.81	1.14	1.59	2.04	2.63	3.02	3.77	4.02
Y2 (30)	0	0.38	0.62	0.83	1.13	1.59	2.05	2.6	3	3.72	4
Y3 (60)	0	0.36	0.59	0.81	1.09	1.56	2.03	2.59	2.97	3.68	3.98
Y4 (90)	0	0.33	0.56	0.8	1.08	1.54	2	2.54	2.99	3.66	3.94
Y5 (120)	0	0.35	0.58	0.78	1.09	1.55	2.01	2.58	3.01	3.69	3.97
Y6 (150)	0	0.32	0.57	0.76	1.06	1.52	1.98	2.54	2.94	3.63	3.93
Y7 (180)	0	0.29	0.56	0.81	1.1	1.55	2	2.6	2.99	3.69	3.96
Y8 (210)	0	0.34	0.59	0.8	1.09	1.55	2.01	2.61	3	3.71	3.99
Y9 (240)	0	0.31	0.61	0.79	1.12	1.57	2.02	2.61	3.02	3.74	4
Y10 (270)	0	0.34	0.62	0.79	1.12	1.57	2.01	2.58	3	3.73	4
Y11 (300)	0	0.34	0.62	0.8	1.08	1.54	2	2.6	3.01	3.74	4.01

**Lampiran Hasil Data Pengukuran Nilai Distorsi Transversal dan Longitudinal**

**Tabel** Data Pengukuran Distorsi Transversal 130A

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 (70)	X9 (80)	X10 (90)	X11 (100)
Y1 (0)	0.88	0.68	0.63	0.5	0.24	0	0.24	0.55	0.59	0.89	0.9
Y2 (30)	0.86	0.67	0.67	0.5	0.23	0	0.23	0.56	0.58	0.88	0.9
Y3 (60)	0.89	0.7	0.69	0.52	0.26	0	0.26	0.51	0.54	0.82	0.86
Y4 (90)	0.88	0.7	0.66	0.53	0.27	0	0.27	0.53	0.53	0.81	0.85
Y5 (120)	0.89	0.71	0.68	0.56	0.27	0	0.27	0.51	0.51	0.81	0.85
Y6 (150)	0.88	0.68	0.63	0.52	0.26	0	0.26	0.53	0.52	0.82	0.86
Y7 (180)	0.88	0.73	0.68	0.54	0.26	0	0.26	0.53	0.53	0.83	0.84
Y8 (210)	0.91	0.73	0.7	0.55	0.25	0	0.25	0.51	0.51	0.81	0.84
Y9 (240)	0.89	0.68	0.65	0.54	0.28	0	0.28	0.54	0.55	0.83	0.83
Y10 (270)	0.89	0.69	0.67	0.5	0.31	0	0.31	0.53	0.55	0.83	0.86
Y11 (300)	0.89	0.68	0.66	0.52	0.29	0	0.29	0.54	0.57	0.84	0.88

**Tabel** Data Pengukuran Distorsi Longitudinal 130A

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 (70)	X9 (80)	X10 (90)	X11 (100)
Y1 (0)	0	0	0	-0.02	-0.02	0	-0.02	0.02	0.07	0.07	0.04
Y2 (30)	-0.02	-0.01	0.04	-0.02	-0.03	0	-0.03	0.03	0.06	0.06	0.04
Y3 (60)	0.01	0.01	0.06	0	0	0	0	-0.02	0.02	0	0
Y4 (90)	0	0.02	0.03	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01	-0.01	-0.01
Y5 (120)	0.01	0.03	0.05	0.04	0.01	0	0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
Y6 (150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y7 (180)	0	0.05	0.05	0.02	0	0	0	0	0.01	0.01	-0.02
Y8 (210)	0.03	0.05	0.07	0.03	-0.01	0	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.04
Y9 (240)	0.01	0.02	0.05	0.02	0.02	0	0.02	0.01	0.03	0.01	-0.03
Y10 (270)	0.01	0.01	0.04	-0.02	0.05	0	0.05	0	0.03	0.03	0.02
Y11 (300)	0.01	0	0.03	0	0.03	0	0.03	0.01	0.05	0.02	0.02



**Tabel** Data Pengukuran Distorsi Transversal 150A

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 (70)	X9 (80)	X10 (90)	X11 (100)
Y1 (0)	1.07	0.82	0.61	0.59	0.32	0	0.32	0.61	0.98	1.35	1.64
Y2 (30)	1	0.81	0.64	0.57	0.32	0	0.32	0.61	1	1.34	1.64
Y3 (60)	1	0.80	0.61	0.6	0.33	0	0.33	0.58	1.01	1.33	1.65
Y4 (90)	0.98	0.81	0.61	0.57	0.32	0	0.32	0.59	1	1.35	1.65
Y5 (120)	0.97	0.83	0.59	0.58	0.32	0	0.32	0.63	1.01	1.34	1.64
Y6 (150)	0.96	0.77	0.58	0.55	0.32	0	0.32	0.60	1	1.31	1.61
Y7 (180)	0.97	0.77	0.59	0.56	0.32	0	0.32	0.65	1.02	1.32	1.62
Y8 (210)	0.98	0.79	0.64	0.55	0.34	0	0.34	0.63	1	1.32	1.62
Y9 (240)	1	0.79	0.61	0.55	0.33	0	0.33	0.65	1.02	1.34	1.63
Y10 (270)	1	0.76	0.60	0.57	0.32	0	0.32	0.65	1.03	1.34	1.61
Y11 (300)	0.97	0.75	0.60	0.57	0.33	0	0.33	0.64	1.03	1.32	1.63

**Tabel** Data Pengukuran Distorsi Longitudinal 150A

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 (70)	X9 (80)	X10 (90)	X11 (100)
Y1 (0)	0.11	0.05	0.03	0.03	0	0	0	0.01	-0.02	0.04	0.03
Y2 (30)	0.04	0.04	0.06	0.01	0	0	0	0.01	0	0.03	0.03
Y3 (60)	0.04	0.03	0.03	0.05	0.01	0	0.0	-0.02	0.01	0.02	0.04
Y4 (90)	0.02	0.04	0.03	0.02	0	0	0	-0.01	0	0.04	0.04
Y5 (120)	0.01	0.06	0.01	0.03	0	0	0	0.03	0.01	0.01	0.03
Y6 (150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y7 (180)	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0.05	0.02	0.01	0.01
Y8 (210)	0.02	0.02	0.06	0	0.02	0	0.02	0.03	0	0.01	0.01
Y9 (240)	0.04	0.02	0.03	0	0.01	0	0.01	0.05	0.02	0.03	0.02
Y10 (270)	0.04	-0.01	0.02	0.02	0	0	0	0.05	0.03	0.03	0
Y11 (300)	0.01	-0.02	0.02	0.02	0.01	0	0.01	0.04	0.03	0.01	0.02

**Tabel Data Pengukuran Distorsi Transversal 170A**

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 (70)	X9 (80)	X10 (90)	X11 (100)
Y1 (0)	1.59	1.22	0.94	0.78	0.45	0	0.45	1.04	1.43	2.18	2.43
Y2 (30)	1.59	1.21	0.97	0.76	0.46	0	0.46	1.01	1.41	2.13	2.41
Y3 (60)	1.56	1.2	0.97	0.75	0.47	0	0.47	1.03	1.41	2.12	2.42
Y4 (90)	1.54	1.21	0.98	0.74	0.46	0	0.46	1	1.45	2.12	2.4
Y5 (120)	1.55	1.2	0.97	0.77	0.46	0	0.46	1.03	1.46	2.14	2.42
Y6 (150)	1.52	1.20	0.95	0.76	0.46	0	0.46	1.02	1.42	2.11	2.41
Y7 (180)	1.55	1.26	0.99	0.74	0.45	0	0.45	1.05	1.44	2.14	2.41
Y8 (210)	1.55	1.21	0.96	0.75	0.46	0	0.46	1.06	1.45	2.16	2.44
Y9 (240)	1.57	1.26	0.96	0.78	0.45	0	0.45	1.04	1.45	2.17	2.43
Y10 (270)	1.57	1.23	0.95	0.78	0.45	0	0.45	1.01	1.43	2.16	2.43
Y11 (300)	1.54	1.20	0.92	0.74	0.46	0	0.46	1.06	1.44	2.2	2.47

**Tabel Data Pengukuran Distorsi Longitudinal 170A**

	X1 (0)	X2 (10)	X3 (20)	X4 (30)	X5 (40)	X6 (50)	X7 (60)	X8 (70)	X9 (80)	X10 (90)	X11 (100)
Y1 (0)	0.07	0.02	-0.01	0.02	-0.01	0	-0.01	0.02	0.01	0.07	0.02
Y2 (30)	0.07	0.01	0.02	0	0	0	0	-0.01	-0.01	0.02	0
Y3 (60)	0.04	0	0.02	-0.01	0.01	0	0.01	0.01	-0.01	0.01	0.01
Y4 (90)	0.02	0.01	0.03	-0.02	0	0	0	-0.02	0.03	0.01	-0.01
Y5 (120)	0.03	0	0.02	0.01	0	0	0	0.01	0.04	0.03	0.01
Y6 (150)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y7 (180)	0.03	0.06	0.04	-0.02	-0.01	0	-0.01	0.03	0.02	0.03	0
Y8 (210)	0.03	0.01	0.01	-0.01	0.01	0	0.01	0.04	0.03	0.05	0.03
Y9 (240)	0.05	0.06	0.01	0.02	-0.01	0	-0.01	0.02	0.03	0.06	0.02
Y10 (270)	0.05	0.03	0	0.02	-0.01	0	-0.01	-0.01	0.01	0.05	0.02
Y11 (300)	0.02	0	-0.03	-0.02	0	0	0	0.04	0.02	0.11	0.06

## *Lampiran Perhitungan Lebar HAZ*

### • Variasi Pengelasan Arus 130A

Lebar HAZ sebelah kiri

$$\begin{aligned} 1. \quad L &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{7.25 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 2.63 \text{ mm} \\ 2. \quad L &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{10.24 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.72 \text{ mm} \\ 3. \quad L &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{10.98 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.99 \text{ mm} \\ 4. \quad L &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{8.64 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.14 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lebar HAZ sebelah kanan

$$\begin{aligned} 1. \quad L &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{6.74 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 2.45 \text{ mm} \\ 2. \quad L &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{9.45 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.43 \text{ mm} \\ 3. \quad L &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{10.58 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.84 \text{ mm} \\ 4. \quad L &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{8.34 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.03 \text{ mm} \end{aligned}$$

## • Variasi Pengelasan Arus 150A

Lebar HAZ sebelah kiri

1.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{8.93 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.24 \text{ mm}$
2.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{11.22 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 4.08 \text{ mm}$
3.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{12.72 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 4.62 \text{ mm}$
4.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{10.56 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.84 \text{ mm}$

Lebar HAZ sebelah kanan

1.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{7.35 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 2.67 \text{ mm}$
2.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{10.29 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.74 \text{ mm}$
3.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{10.95 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.98 \text{ mm}$
4.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{10.08 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.66 \text{ mm}$

## • Variasi Pengelasan Arus 170A

Lebar HAZ sebelah kiri

1.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{11.73 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 4.26 \text{ mm}$
2.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{13.52 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 4.91 \text{ mm}$
3.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{13.81 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 5.02 \text{ mm}$
4.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{12.69 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 4.61 \text{ mm}$

Lebar HAZ sebelah kanan

1.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{9.09 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.30 \text{ mm}$
2.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{11.32 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 4.11 \text{ mm}$
3.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{13.52 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 4.91 \text{ mm}$
4.  $L = \frac{A}{P}$   
 $= \frac{9.12 \text{ mm}^2}{2.75 \text{ mm}} = 3.31 \text{ mm}$

## Lampiran Klasifikasi Elektroda

# KOBELCO

SMAW

## RB-26

## FAMILIARC™

### Covered electrode

**Classification:** ASME / AWS A 5.1 E6013  
EN ISO 2560-A-E 35 0 R

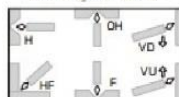
**Features:** • Suitable for butt and fillet welding of thin plates  
• Excellent usability in all positions including vertical downward

**Type of covering:** High titania

**Redrying Conditions:** 70-100°Cx0.5-1h

**Identification color:** 1st Black, 2nd -

### Welding Positions:



### Chemical composition of all-weld metal (%) as per AWS

	C	Si	Mn	P	S
Example	0.08	0.30	0.37	0.012	0.010
Guaranty	0.05-0.12	0.15-0.45	0.25-0.65	≤0.030	≤0.025

### Mechanical properties of all-weld metal as per AWS

	YP (MPa)	TS (MPa)	EI (%)
Example	450	510	25
Guaranty	≥330	≥410	≥17

### Recommended welding parameters

Dia.	2.0mm	2.6mm	3.2mm	4.0mm	5.0mm
F, HF, H, VD	30-65A	45-95A	60-125A	105-170A	150-220A
VU, OH	30-65A	45-95A	60-125A	100-150A	125-190A

### Polarity

Example	AC
Guaranty	AC, DC-EP, DC-EN

### Approvals

ABS	LR	NK
2	2m	KMW2

### Packages

Dia. (mm)	Length (mm)	Weight per pack (kg)	Weight per carton (kg)	Weight per piece (g)
2.0	300	2	20	10
2.6	350	5	20	19
3.2	350	5	20	29
4.0	400	5	20	53
5.0	400	5	20	81

## Lampiran Datasheet ASTM A36

### ASTM A36 Steel, plate

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [ASTM Steel](#); [Carbon Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

**Material Notes:** Steel for general structural purposes including bridges and buildings.

Minimum Cu content when copper steel is specified.

Tests performed in transverse direction for plates wider than 590 mm.

**Key Words:** UNS K02600

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in <sup>3</sup>	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi	
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi	
Elongation at Break	20 %	20 %	in 200 mm
	23 %	23 %	In 50 mm.
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.26	0.26	
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi	
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.25 - 0.29 %	0.25 - 0.29 %	
Copper, Cu	0.20 %	0.20 %	
Iron, Fe	98 %	98 %	
Manganese, Mn	1.03 %	1.03 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	0.28 %	0.28 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

### *Lampiran perhitungan heat input*

Untuk arus 130 Amphere dengan panjang pengelasan 300 mm

1. Kecepatan pengelasan pada layer pertama (mm/s)

Waktu : 4 menit 17 detik

$(4 \times 60 \text{ detik}) + 17 \text{ detik} = 257 \text{ detik}$

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{257 \text{ second}}$$

$$= 1.167 \text{ mm/s}$$

2. Kecepatan pengelasan pada layer kedua (mm/s)

Waktu : 4 menit 09 detik

$(4 \times 60 \text{ detik}) + 09 \text{ detik} = 249 \text{ detik}$

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{249 \text{ second}}$$

$$= 1.204 \text{ mm/s}$$

3. Kecepatan pengelasan pada layer ketiga (mm/s)

Waktu : 4 menit 02 detik

$(4 \times 60 \text{ detik}) + 02 \text{ detik} = 242 \text{ detik}$

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{242 \text{ second}}$$

$$= 1.239 \text{ mm/s}$$



4. Kecepatan pengelasan pada layer keempat (mm/s)

Waktu : 4 menit 10 detik

(4 x 60 detik) + 10 detik = 250 detik

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{250 \text{ second}}$$

$$= 1.2 \text{ mm/s}$$

❖ Maka didapatkan heat input sebesar

1. HI =

$$\frac{V \times I \times \eta}{S}$$

$$\frac{28 \times 110 \times 0.8}{1.167}$$

$$= 2111.396 \text{ J/mm}$$

2. HI =

$$\frac{V \times I \times \eta}{S}$$

$$\frac{28 \times 130 \times 0.8}{1.204}$$

$$= 2418.604 \text{ J/mm}$$

3. HI =

$$\frac{V \times I \times \eta}{S}$$

$$\frac{28 \times 130 \times 0.8}{1.239}$$

$$= 2350.282 \text{ J/mm}$$

$$4. \quad HI = \frac{V \times I \times \eta}{28 \times 130 \times 0.8} \times 1.2$$

$$= 2426.667 \text{ J/mm}$$

❖ Rata-rata Heat Input Variasi 1

$$\frac{2111.396 + 2418.604 + 2350.282 + 2426.667}{4}$$

$$= \mathbf{2326.737 \text{ j/mm}}$$

Untuk arus 150 Amphere dengan panjang pengelasan 300 mm

1. Kecepatan pengelasan pada layer pertama (mm/s)

Waktu : 4 menit 15 detik

(4 x 60 detik) + 15 detik = 255 detik

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{255 \text{ second}}$$

$$= 1.176 \text{ mm/s}$$

2. Kecepatan pengelasan pada layer kedua (mm/s)

Waktu : 4 menit 05 detik

(4 x 60 detik) + 05 detik = 245 detik

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{245 \text{ second}}$$

$$= 1.224 \text{ mm/s}$$

3. Kecepatan pengelasan pada layer ketiga (mm/s)

Waktu : 3 menit 56 detik

(3 x 60 detik) + 56 detik = 236 detik

$$\text{Kecepatan potong} : \frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$$

$$\frac{300 \text{ mm}}{236 \text{ second}}$$

$$= 1.271 \text{ mm/s}$$

4. Kecepatan pengelasan pada layer keempat (mm/s)

Waktu : 4 menit 0 detik

$$(4 \times 60 \text{ detik}) + 0 \text{ detik} = 240 \text{ detik}$$

$$\text{Kecepatan potong} : \frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$$

$$\frac{300 \text{ mm}}{240 \text{ second}}$$

$$= 1.25 \text{ mm/s}$$

- ❖ Maka didapatkan heat input sebesar

$$1. \text{ HI} = \frac{V \times I \times \eta}{s}$$
$$\frac{28 \times 110 \times 0.8}{1.176}$$

$$= 2095.238 \text{ J/mm}$$

$$2. \text{ HI} = \frac{V \times I \times \eta}{s}$$
$$\frac{28 \times 150 \times 0.8}{1.224}$$

$$= 2745.098 \text{ J/mm}$$

$$3. \text{ HI} = \frac{V \times I \times \eta}{s}$$

$$\frac{28 \times 150 \times 0.8}{1.271}$$

$$= 2643.587 \text{ J/mm}$$

4. HI =

$$\frac{V \times I \times \eta}{S}$$

$$\frac{28 \times 150 \times 0.8}{1.25}$$

$$= 2688 \text{ J/mm}$$

❖ Rata-rata Heat Input Variasi 1

$$\frac{2095.238 + 2745.098 + 2643.587 + 2688}{4}$$

$$= 2542.980 \text{ j/mm}$$

Untuk arus 170 Amphere dengan panjang pengelasan 300 mm

1. Kecepatan pengelasan pada layer pertama (mm/s)

Waktu : 4 menit 11 detik

(4 x 60 detik) + 11 detik = 251 detik

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{251 \text{ second}}$$

$$= 1.195 \text{ mm/s}$$

2. Kecepatan pengelasan pada layer kedua (mm/s)

Waktu : 3 menit 58 detik

(3 x 60 detik) + 58 detik = 238 detik

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{238 \text{ second}}$$

$$= 1.260 \text{ mm/s}$$

3. Kecepatan pengelasan pada layer ketiga (mm/s)

Waktu : 3 menit 51 detik

(3 x 60 detik) + 51 detik = 231 detik

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{231 \text{ second}}$$

$$= 1.298 \text{ mm/s}$$

4. Kecepatan pengelasan pada layer keempat (mm/s)

Waktu : 3 menit 55 detik

(3 x 60 detik) + 55 detik = 235 detik

Kecepatan potong :  $\frac{\text{Panjang pemotongan}}{\text{Waktu pemotongan}}$

$$\frac{300 \text{ mm}}{235 \text{ second}}$$

$$= 1.276 \text{ mm/s}$$

- ❖ Maka didapatkan heat input sebesar

$$1. \text{ HI} = \frac{V \times I \times \eta}{S}$$

$$\frac{28 \times 110 \times 0.8}{1.195}$$

$$= 2061.924 \text{ J/mm}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad \text{HI} &= \frac{V \times I \times \eta}{1.260} \\
 &= \frac{28^S \times 170 \times 0.8}{1.260} \\
 &= 3022.222 \text{ J/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad \text{HI} &= \frac{V \times I \times \eta}{1.298} \\
 &= \frac{28^S \times 170 \times 0.8}{1.298} \\
 &= 2933.744 \text{ J/mm}
 \end{aligned}$$

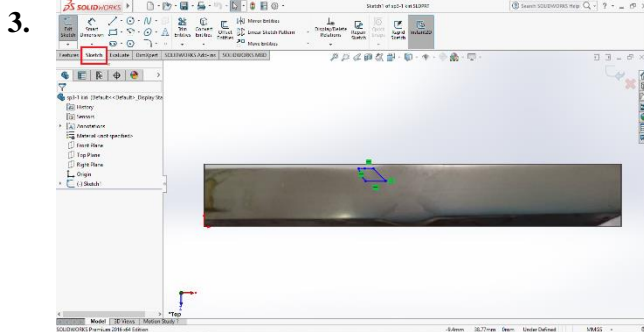
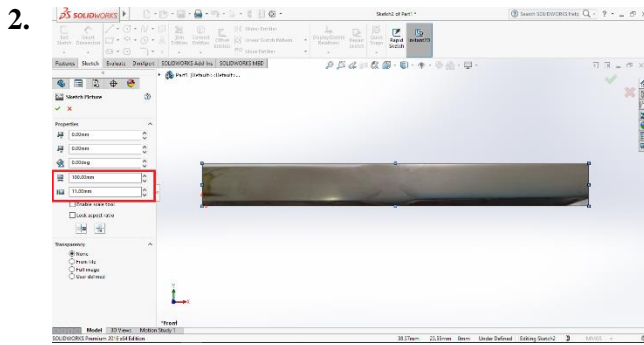
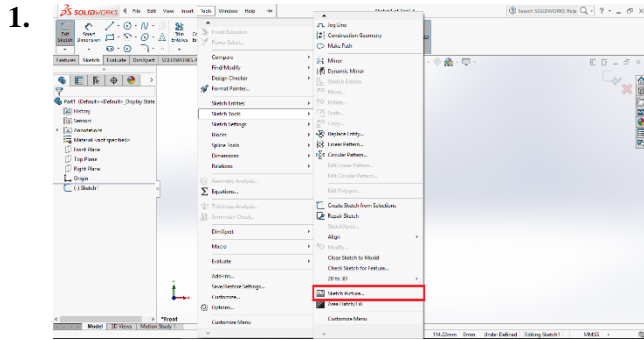
$$\begin{aligned}
 4. \quad \text{HI} &= \frac{V \times I \times \eta}{1.276} \\
 &= \frac{28^S \times 170 \times 0.8}{1.276} \\
 &= 2984.326 \text{ J/mm}
 \end{aligned}$$

❖ Rata-rata Heat Input Variasi 1

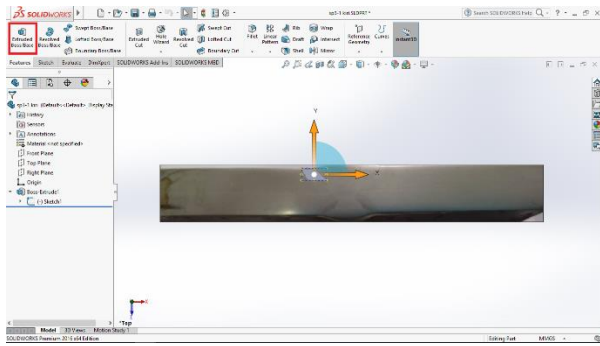
$$\frac{2061.924 + 3022.222 + 2933.744 + 2984.326}{4}$$

$$= \mathbf{2750.554 \text{ j/mm}}$$

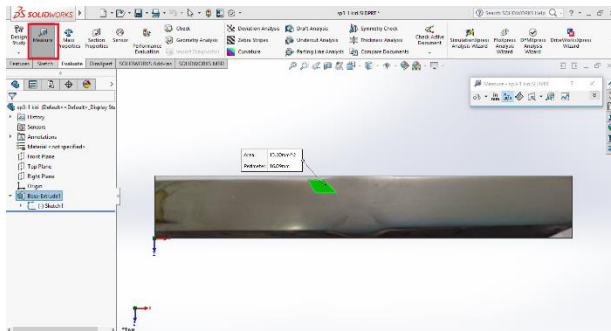
# Lampiran gambar langkah-langkah menghitung luasan HAZ dengan solidworks



4.



5.





## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 14 februari 1997 di Lamongan, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan Formal yang pernah ditempuh yaitu pada tahun 2003 – 2009 bersekolah di SDN Bantarjati 5 Bogor, kemudian pada tahun 2009 – 2012 melanjutkan ke SMP Negeri 3 Bogor dan pada tahun 2012 – 2015 melanjutkan ke SMA Negeri 6 Bogor. Setelah itu pada tahun 2015 penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi Diploma, Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS dan mengambil bidang studi Manufaktur. Penulis pernah menjabat sebagai Staff Manajemen Bisnis BSO Kewirausahaan di Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin Industri periode 2016 – 2017, penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Semen Indonesia Tbk selama satu bulan. Dalam melakukan kerja praktek penulis melakukan studi dengan judul “Perawatan Sistem Conveyor pada Coal Ship Unloading“ di PT Semen Indonesia Tbk . Bagi pembaca yang berdiskusi dan menanyakan informasi mengenai tugas akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis via E-mail : [Febiadig@gmail.com](mailto:Febiadig@gmail.com)