



TUGAS AKHIR – MO.141326

ANALISA PENGARUH PENGELASAN SMAW DAN  
FCAW-SS PADA MATERIAL *LOW CARBON STEEL*  
GRADE S355J2+N TERHADAP PERUBAHAN DISTORSI  
DENGAN VARIASI *HEAT INPUT* DENGAN  
MENGUNAKAN METODE EKSPERIMEN DAN  
METODE NUMERIK

MEGA AYU NURFITRIANA

NRP. 4312100056

Dosen Pembimbing :

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



**FINAL PROJECT – MO.141326**

**ANALYSIS THE EFFECT OF SMAW AND FCAW-SS  
WELDING PROCESS ON LOW CARBON STEEL  
MATERIAL GRADE S355J2+N AGAINST  
DEFORMATION WITH VARIATION OF HEAT INPUT  
USING EXPERIMENTAL AND NUMERICAL METHODS**

**MEGA AYU NURFITRIANA**

**NRP. 4312100056**

**Supervisors :**

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

**Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D**

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING**

**Marine Technology Faculty**

**Institute Sepuluh Nopember of Technology**

**Surabaya 2016**

**Analisa Pengaruh Pengelasan SMAW dan FCAW-SS Pada Material *Low Carbon Steel* Grade S355J2+N Terhadap Perubahan Distorsi Dengan Variasi *Heat Input* dengan menggunakan Metode Eksperimen dan Metode Numerik**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Mega Ayu Nurfitriana**

NRP. 4312 100 056

Disetujui oleh :

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D



(Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

(Pembimbing 2)

3. R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D

(Penguji 1)

4. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D

(Penguji 2)

5. Darta Marina, S.T., M.T

(Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2016

## ABSTRAK

ANALISA PENGARUH PENGELASAN SMAW DAN FCAW-SS PADA MATERIAL *LOW CARBON STEEL* GRADE S355J2+N TERHADAP PERUBAHAN DISTORSI DENGAN VARIASI *HEAT INPUT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE EKSPERIMEN DAN METODE NUMERIK

Nama Mahasiswa : Mega Ayu Nurfitriana  
NRP : 4312100056  
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS  
Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, ST, MT, Ph.D  
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

Dalam tugas akhir ini melakukan analisis eksperimen dengan variasi arus las (*Ampere*) yang mengakibatkan perbedaan masukan panas (*heat input*). Kemudian dilakukan pengujian makroetsa dan pengukuran perubahan distorsi sudut. Analisis selanjutnya melakukan pemodelan numerik dengan *software* berbasis elemen hingga, dengan menggunakan data dari eksperimen sebagai validasi. Beban yang dikenakan pada model berupa *heat flux* pada setiap luasan elemen. Pemodelan numerik akan menghasilkan *output* berupa perubahan suhu sepanjang waktu pengelasan hingga pendinginan pada analisis *thermal* dan perubahan distorsi pada analisis struktural. Hasil analisis struktural yang diperoleh dari pemodelan berupa perubahan distorsi akan divalidasi dengan hasil perubahan distorsi sudut pada eksperimen. Dari hasil validasi diperoleh pendekatan antara pengujian eksperimen dengan numerik, kemudian akan diperoleh nilai perubahan distorsi paling minimum. Diketahui perubahan distorsi sudut yang paling minimum pada pengujian pengelasan, yaitu pengelasan SMAW 60-75 A sebesar 1,5°, 0,5°, 0,5°, dan 0,6° serta dalam pengukuran satuan panjang perubahan distorsi bernilai 1,2 mm, 0,3 mm, 0,1 mm, dan 0,1 mm. Sama halnya perubahan distorsi sudut pada pemodelan numerik paling minimum adalah pengelasan SMAW 60-75 A.

*Kata Kunci*—Distorsi, eksperimen, *heat input*, struktural, *thermal*.

## **ABSTRACT**

**ANALYSIS THE EFFECT OF SMAW AND FCAW-SS WELDING PROCESS  
ON LOW CARBON STEEL MATERIAL GRADE S355J2+N AGAINST  
DEFORMATION WITH VARIATION OF HEAT INPUT USING  
EXPERIMENTAL AND NUMERICAL METHODS**

*Name of Student* : Mega Ayu Nurfitriana  
*REG* : 4312100056  
*Department* : Department of Ocean Engineering, Marine  
Technology Faculty, ITS  
*Supervisors* : Nur Syahroni, ST, MT, Ph.D  
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

*In this final project the analysis was performed by the experimental method using variations of welding current (Ampere) which result in differences of heat input. Subsequently, the makroetsa testing and measuring the change in angle distortion were carried out. Furthermore, numerical modeling with using finite element based software was performed, the load imposed on the model is in the form of heat flux on each area element. Numerical modeling will generate output welding temperature changes over time until cooling on thermal analysis and changes in distortion and residual stresses in the structural analysis. The result of structural analysis obtained from modeling are the change of distortion will be validated with changes angular distortion in the experiment. Validation of the results obtained approach between experiments with numerical, then the value will be obtained to the minimum distortion. Discovered to change the minimum angular distortion in the experiments, i.e SMAW welding process in 60-75 A are 1,5°, 0,5°, 0,5°, and 0,6° also in measurement unit of length change of distortion has value 1.2 mm, 0.3 mm, 0.1 mm and 0.1 mm. Similarly with changes the angular distortion at the minimum numerical modeling is the SMAW welding process in 60-75 A.*

*Keywords — Distortion, experiment, heat input, structural, thermal.*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xxii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1 Latar Belakang Masalah .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	5
I.3 Tujuan Penelitian .....	5
I.4 Manfaat Penelitian .....	6
I.5 Batasan Masalah .....	6
I.6 Sistematika Penulisan .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	9
II.1 Tinjauan Pustaka .....	9
II.2 Dasar Teori .....	11
II.2.1 Klasifikasi material jenis <i>Carbon Steel</i> .....	11
II.2.2 Pengelasan Baja Karbon .....	12
II.2.3 Spesifikasi Baja Karbon Grade S355J2+N .....	15
II.2.4 Jenis Proses Pengelasan .....	16
II.2.4.1 SMAW ( <i>Shielded Metal Arc Welding</i> ) .....	16
II.2.4.2 FCAW ( <i>Flux Cored Arc Welding</i> ) .....	18
II.2.5 Klasifikasi Sambungan Las .....	22
II.2.6 Jenis Elektroda Pengelasan .....	28
II.2.7 Kampuh atau Sambungan Las .....	28
II.2.8 Siklus Termal Pengelasan .....	29

II.2.9	<i>Heat Input</i> .....	33
II.2.9.1	Besar Arus Pengelasan.....	34
II.2.9.2	Tegangan Busur Las.....	34
II.2.9.3	Kecepatan Pengelasan.....	35
II.2.10	Perubahan Bentuk Dalam Pengelasan.....	35
II.2.10.1	Teori Deformasi.....	35
II.2.10.2	Deformasi Elastis.....	36
II.2.10.3	Deformasi Plastis.....	38
II.2.10.4	Distorsi Pada Pengelasan.....	39
II.2.11	Pengurangan Tegangan Sisa.....	41
II.2.12	Pengujian Material.....	41
II.2.12.1	Dasar Teori Pengujian Makroesta ( <i>macro etch test</i> ).....	41
II.2.12.2	Dasar Teori Pengujian Mikro.....	42
II.2.13	Metode Elemen Hingga.....	44
<b>BAB III.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>53</b>
III.1	Metode Penelitian.....	53
III.2	Prosedur Penelitian.....	54
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>97</b>
IV.1	Data Hasil Pengelasan.....	97
IV.2	Perhitungan <i>Heat Input</i> .....	97
IV.3	Data Pengukuran Distorsi.....	99
IV.4	Pemodelan.....	100
IV.4.1	Perhitungan <i>Heat Flux</i> .....	101
IV.4.2	Konvergensi Meshing.....	104
IV.4.3	Hasil Pembebanan.....	107
IV.4.3.1	Hasil Analisis <i>Thermal</i> Model Pengelasan SMAW 60-75 A.....	107
IV.4.3.2	Hasil Analisis Struktural Model Pengelasan SMAW 60-75 A ...	110
IV.4.3.3	Hasil Analisis <i>Thermal</i> Model Pengelasan SMAW 85-95 A.....	115
IV.4.3.4	Hasil Analisis Struktural Model Pengelasan SMAW 85-95 A ...	118
IV.4.3.5	Hasil Analisis <i>Thermal</i> Model Pengelasan FCAW-SS 150 A ....	123
IV.4.3.6	Hasil Analisis Struktural Model Pengelasan FCAW-SS 150 A..	126
IV.4.3.7	Hasil Analisis <i>Thermal</i> Model Pengelasan FCAW-SS 200 A ....	131

IV.4.3.8 Hasil Analisis Struktural Model Pengelasan FCAW-SS 200 A..	134
IV.5 Validasi Distorsi .....	139
IV.6 Pembahasan Hasil Analisis .....	143
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	145
V.1 Kesimpulan .....	145
V.2 Saran .....	146
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	xxv
<b>LAMPIRAN A</b>	
<b>LAMPIRAN B</b>	
<b>LAMPIRAN C</b>	
<b>LAMPIRAN D</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Baja Karbon (Harsono dan Wiryosumarto, 1996) .....	11
Tabel 2.2.Suhu Pemanasan Mula Pada Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi (Harsono dan Wiryosumarto, 1996).....	14
Tabel 2.3 Baja Struktural Komposisi Kimia (www.oakleysteel.co.uk, Structural Steel Plates, 2016).....	16
Table 2.4. Nilai koefisien efisiensi pengelasan .....	30
Tabel 3.1. Parameter pengelasan SMAW .....	64
Tabel 3.2. Parameter pengelasan FCAW-SS SS .....	65
Tabel 3.3. Data material Properties S355J2+N pada temperatur ruangan .....	75
Tabel 3.4. <i>Thermal Propeties</i> Material S355J2+N.....	76
Tabel 4.1. Data Hasil Pengelasan .....	97
Tabel 4.2. Perhitungan <i>Heat Input</i> .....	98
Tabel 4.3. Pengukuran Distorsi secara manual searah Sumbu Y .....	99
Tabel 4.4. Pengukuran Distorsi Angular secara manual searah Sumbu Y .....	100
Tabel 4.5. <i>Mesh Sensitivity Analysis</i> .....	105
Tabel 4.6. <i>Loadstep</i> Pembebanan pada pengelasan SMAW 60-75 A.....	108
Tabel 4.7 Besar distorsi sesuai titik yang ditinjau pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2 .....	115
Tabel 4.8 <i>Loadstep</i> Pembebanan pada pengelasan SMAW 85-95 A.....	116
Tabel 4.9 Besar distorsi sesuai titik yang ditinjau pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2 .....	123
Tabel 4.10 <i>Loadstep</i> Pembebanan pada pengelasan FCAW-SS 150 A .....	124
Tabel 4.11 Besar distorsi sesuai titik yang ditinjau pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2.....	131
Tabel 4.12 <i>Loadstep</i> Pembebanan pada pengelasan FCAW-SS 200 A .....	132
Tabel 4.13 Besar distorsi sesuai titik yang ditinjau pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2.....	139
Tabel 4.14 Hasil pengukuran distorsi analisis struktural pada pengelasan sambungan T dengan variasi <i>heat input</i> .....	143

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram fase Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	15
Gambar 2.2 Proses SMAW .....	17
Gambar 2.3 Pemandangan Logam Cair .....	17
Gambar 2.4 <i>Self-Shielding Flux Core Arc Welding</i> .....	19
Gambar 2.5 <i>Gas-Shielding Flux Core Arc Welding</i> .....	19
Gambar 2.6 Tipe sistem Semi Otomatis pada FCAW .....	20
Gambar 2.7 Tipe sistem Otomatis pada FCAW .....	20
Gambar 2.8 <i>Fillet Weld</i> pada pengelasan Joint-T .....	22
Gambar 2.9 Jenis-jenis sambungan dasar .....	23
Gambar 2.10 Alur Sambungan Las Tumpul .....	24
Gambar 2.11 Sambungan T .....	25
Gambar 2.12 Macam-macam sambungan sudut .....	26
Gambar 2.13 Sambungan Tumpang .....	26
Gambar 2.14 Sambungan Sisi .....	27
Gambar 2.15 Sambungan dengan Penguat .....	27
Gambar 2.16 Sambungan T .....	28
Gambar 2.17 Siklus termal selama proses pengelasan .....	29
Gambar 2.18 Ilustrasi aliran panas secara konveksi .....	33
Gambar 2.19 (a) Struktur kristal mengalami tegangan tarik, (b) tidak ada tegangan, dan (c) Struktur kristal mengalami tegangan tekan .....	36
Gambar 2.20 Macam-macam distorsi dalam pengelasan .....	40
Gambar 2.21 Contoh pendiskritan plat berlubang .....	45
Gambar 2.22 Geometri Elemen SOLID70 .....	46
Gambar 2.23 Geometri Elemen SOLID90 .....	46
Gambar 2.24 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID70 .....	47
Gambar 2.25 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID90 .....	47
Gambar 2.26 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID 185 .....	48
Gambar 2.27 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID186 .....	48
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir .....	53
Gambar 3.2 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir (lanjutan) .....	54

Gambar 3.3 Material eksperimen .....	55
Gambar 3.4 <i>Fillet Weld Break and Macroetch Test Plate—Welder or Welding Operator Qualification (AWS D1.1)</i> .....	56
Gambar 3.5 Mesin las SMAW .....	57
Gambar 3.6 Mesin las FCAW .....	57
Gambar 3.7 <i>Welding Gun</i> .....	58
Gambar 3.8 <i>Workpiece Connection (Clamp)</i> pada material.....	58
Gambar 3.9 Penggaris .....	59
Gambar 3.10 <i>Brush</i> .....	59
Gambar 3.11 Alat gerinda .....	59
Gambar 3.12 <i>Welding Gauge</i> .....	60
Gambar 3.13 <i>Clamp meter</i> .....	60
Gambar 3.14 <i>Wire feed speed meter</i> .....	61
Gambar 3.15 <i>Thermometer check material</i> .....	61
Gambar 3.16 Jangka sorong digital .....	62
Gambar 3.17 Elektrode E7018 .....	62
Gambar 3.18 <i>Gun FCAW</i> .....	63
Gambar 3.19 Palu las.....	63
Gambar 3.20 Spidol.....	63
Gambar 3.21 <i>Fillet Weld Test Assembly (ASME IIC, 2013)</i> .....	66
Gambar 3.22 <i>Fillet Welds in Plate – Test Positions (ASME IX, 2013)</i> .....	66
Gambar 3.23 <i>Acceptable Weld Profiles – AWS D1.1</i> .....	66
Gambar 3.24 <i>Unacceptable Weld Profiles – AWS D1.1</i> .....	67
Gambar 3.25 <i>Minimum Fillet Weld Size – AWS D1.1</i> .....	67
Gambar 3.26 Pemberian tack weld pada material uji.....	69
Gambar 3.27 Pemberian pelat-punggung ( <i>backing bar</i> ) pada material uji .....	69
Gambar 3.28 Sketsa Layer Pengelasan Plat <i>Low Carbon Steel</i> .....	69
Gambar 3.29 Proses Penandaan Plat dengan Memberi Titik-titik Pada Plat yang Akan Dihitung Perubahan Distorsi .....	70
Gambar 3.30 Hasil pengelasan pada pelat yang diberi titik untuk menghitung perubahan distorsi .....	70
Gambar 3.31 Penandaan material yang akan dipotong menjadi spesimen uji .....	71

Gambar 3.32 Proses pemotongan material .....	71
Gambar 3.33 Proses <i>millin</i> pada material .....	72
Gambar 3.34 Hasil spesimen setelah proses <i>grinding</i> .....	72
Gambar 3.35 Hasil spesimen makroesta ( <i>Macro etch Test</i> ) .....	73
Gambar 3.36 Perletakkan spesimen uji diatas kaca untuk pengukuran distorsi .....	73
Gambar 3.37 Hasil Pengelasan dan Perubahan Distorsi pada <i>macro etch examination photography</i> .....	74
Gambar 3.38 Grafik <i>thermal conductivity</i> dan <i>thermal strain</i> ( <i>SYSWELD material database</i> ) .....	75
Gambar 3.39 Grafik <i>density</i> dan <i>specific heat capacity</i> ( <i>SYSWELD material database</i> ) .....	75
Gambar 3.40 Grafik <i>Young's modulus</i> dan <i>Poisson's ratio</i> ( <i>SYSWELD material database</i> ) .....	76
Gambar 3.41 Grafik <i>phase specific yield strength</i> ( <i>SYSWELD material database</i> ) .....	76
Gambar 3.42 Diagram alir Pemodelan Analisis Thermal .....	77
Gambar 3.43 Diagram alir Pemodelan Analisis Thermal (lanjutan) .....	78
Gambar 3.44 <i>Select Preferences</i> .....	79
Gambar 3.45 <i>Import model</i> .....	79
Gambar 3.46 Geometri model dari <i>software Solidworks</i> .....	80
Gambar 3.47 <i>Input Material Properties</i> .....	80
Gambar 3.48 Pemilihan <i>Element</i> .....	81
Gambar 3.49 Melakukan <i>Meshing</i> .....	82
Gambar 3.50 Hasil <i>Meshing</i> .....	82
Gambar 3.51 Pemilihan Pembebanan .....	83
Gambar 3.52 <i>Uniform Temperature</i> .....	83
Gambar 3.53 <i>Reference Temperature</i> .....	83
Gambar 3.54 Penentuan Beban Konveksi .....	84
Gambar 3.55 <i>Input heat flux</i> .....	85
Gambar 3.56 Pengaturan <i>Time and Substeps (thermal)</i> .....	86
Gambar 3.57 <i>Solve Load step</i> .....	86
Gambar 3.58 <i>Result Viewer kontur Temperature</i> .....	87
Gambar 3.59 <i>Result Viewer</i> .....	88
Gambar 3.60 <i>TimeHist Postpro</i> .....	88

Gambar 3.61 Diagram alir Pemodelan Analisis Struktural .....	89
Gambar 3.62 <i>Switch Element Type</i> .....	90
Gambar 3.63 <i>Analysis Type</i> .....	91
Gambar 3.64 Pemberian Kondisi Batas ( <i>Boundary Condition</i> ) .....	92
Gambar 3.65 Pembacaan dari pembebanan <i>thermal</i> .....	92
Gambar 3.66 <i>Write Load Step</i> .....	93
Gambar 3.67 <i>Solve Load Step</i> .....	93
Gambar 3.68 <i>Result Viewer</i> .....	94
Gambar 4.1 Penentuan titik peninjauan pengukuran distorsi pada pengelasan SMAW 60-75 A.....	100
Gambar 4.2 Grafik <i>Mesh Sensitivity Analysis</i> .....	105
Gambar 4.3 Pemodelan Sambungan T dengan <i>Boundary Condition</i> pelat pengganjal pelat-punggung ( <i>backing bar</i> ) .....	106
Gambar 4.4 <i>Loadstep</i> pembebanan pada area pemodelan SMAW 60-75 A.....	109
Gambar 4.5 Grafik perubahan temperatur tiap detik pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan SMAW 60-75 A.....	109
Gambar 4.6 Distribusi panas pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan SMAW 60-75 A.....	110
Gambar 4.7 Total Deformasi dari Analisis Struktural pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2 .....	110
Gambar 4.8 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -3,4 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2.....	111
Gambar 4.9 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -3,4 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2.....	111
Gambar 4.10 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -1,7 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2.....	112
Gambar 4.11 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -1,7 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2.....	112
Gambar 4.12 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +1,0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2.....	113
Gambar 4.13 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +1,0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2.....	113

Gambar 4.14 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +2,2 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2.....	114
Gambar 4.15 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +2,2 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2.....	114
Gambar 4.16 <i>Loadstep</i> pembebanan pada area pemodelan SMAW 85-95 A.....	117
Gambar 4.17 Grafik perubahan temperatur tiap detik pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan SMAW 85-95 A.....	117
Gambar 4.18 Distribusi panas pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan SMAW 85-95 A.....	118
Gambar 4.19 Total Deformasi dari Analisis Struktural pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2.....	119
Gambar 4.20 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -3,4 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.....	119
Gambar 4.21 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -3,4 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2.....	120
Gambar 4.22 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -1,7 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2.....	120
Gambar 4.23 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -1,7 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2.....	121
Gambar 4.24 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +1,0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2.....	121
Gambar 4.25 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +1,0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2.....	122
Gambar 4.26 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +2,2 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2.....	122
Gambar 4.27 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +2,2 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2.....	123
Gambar 4.28 <i>Loadstep</i> pembebanan pada area pemodelan FCAW-SS 150 A .....	125
Gambar 4.29 Grafik perubahan temperatur tiap detik pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan FCAW-SS 150 A .....	125
Gambar 4.30 Distribusi panas pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan FCAW-SS 150 A .....	126

Gambar 4.31 Total Deformasi dari Analisis Struktural pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2.....	127
Gambar 4.32 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -3,4 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 .....	127
Gambar 4.33 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -3,4 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 .....	128
Gambar 4.34 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -1,7 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 .....	128
Gambar 4.35 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -1,7 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 .....	129
Gambar 4.36 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +1,0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 .....	129
Gambar 4.37 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +1,0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 .....	130
Gambar 4.38 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +2,2 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 .....	130
Gambar 4.39 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +2,2 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 .....	131
Gambar 4.40 <i>Loadstep</i> pembebanan pada area pemodelan FCAW-SS 200 A .....	133
Gambar 4.41 Grafik perubahan temperatur tiap detik pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan FCAW-SS 200 A .....	133
Gambar 4.42 Distribusi panas pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan FCAW-SS 200 A .....	134
Gambar 4.43 Total Deformasi dari Analisis Struktural pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2.....	135
Gambar 4.44 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -3,4 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 .....	135
Gambar 4.45 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -3,4 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 .....	136
Gambar 4.46 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -1,7 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 .....	136

Gambar 4.47 Garis peninjauan distorsi dengan jarak -1,7 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 .....	137
Gambar 4.48 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +1,0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 .....	137
Gambar 4.49 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +1,0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 .....	138
Gambar 4.50 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +2,2 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 .....	138
Gambar 4.51 Garis peninjauan distorsi dengan jarak +2,2 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 .....	139
Gambar 4.52 Grafik Validasi deformasi pengelasan SMAW 60-75 A .....	140
Gambar 4.53 Grafik Validasi deformasi pengelasan SMAW 85-75 A .....	141
Gambar 4.54 Grafik Validasi deformasi pengelasan FCAW-SS 150 A.....	141
Gambar 4.55 Grafik Validasi deformasi pengelasan FCAW-SS 200 A.....	142



## DAFTAR SIMBOL

DC	= <i>Direct Current</i>
AC	= <i>Alternating Current</i>
Q	= <i>net heat input / effective thermal power (watt)</i>
$\eta$	= Koefisien efisiensi pengelasan
U	= Tegangan busur (Volt)
I	= Arus listrik (Ampere)
$H_{net}$	= Energi input bersih (kJ/mm)
E	= Tegangan (Volt)
$f_1$	= Efisiensi pemindahan panas
v	= Kecepatan pengelasan (mm/s)
$\rho$	= massa jenis (Kg/m <sup>3</sup> )
c	= <i>specific heat</i> (J/Kg.k)
$\lambda$	= konduktivitas termal (W/m.K)
$Q_G$	= debit perubahan temperatur (W/m <sup>3</sup> )
[D]	= Matriks konduktivitas (-)
$K_{xx}$	= Konduktivitas arah x (W/mm.K)
$K_{yy}$	= Konduktivitas arah y (W/mm.K)
$K_{zz}$	= Konduktivitas arah z (W/mm.K)
L	= vektor <i>heat flux</i>
T	= <i>thermal gradient</i>
$q_1$	= <i>heat flux</i> pada elemen (J/mm <sup>2</sup> )
$q_e$	= <i>heat flux</i> yang dihasilkan elektroda (J/mm <sup>2</sup> )
$A_1$	= luas permukaan elemen (mm <sup>2</sup> )
$A_f$	= luasan fluks yang dihasilkan elektroda (mm <sup>2</sup> )
b	= Panjang kaki las (mm)
t	= Waktu yang diperlukan pada satu elemen (s)
$q_h$	= aliran panas secara konveksi (kW/m <sup>2</sup> )
h	= koefisien konveksi (kW/m <sup>2</sup> °C)
T	= Temperatur pada permukaan solid (°C)
$T_{\infty}$	= Temperatur fluida pengelasan (°C)

$\nu$	= Bilangan poisson
$\epsilon_y$	= regangan melintang
$\epsilon_z$	= regangan tarik
$\tau$	= Tegangan geser
$F_s$	= gaya
$A_s$	= luas bidang geser
$\alpha$	= pergeseran sudut
$\gamma$	= Regangan geser
$G$	= modulus geser atau modulus kekakuan
$E$	= modulus elastisitas
$\{w\}$	= <i>displacement</i>
$[N]$	= nilai parameter simpul di tiap node elemen
$\{u\}$	= nodal <i>displacement</i>
$\epsilon$	= regangan total
$\epsilon^{el}$	= regangan elastis
$\epsilon^{th}$	= regangan termal
$D$	= kekakuan material
$\Delta T$	= perbedaan antara <i>reference temperature</i> dengan <i>actual temperature</i>
$U$	= <i>internal strain energy (internal work)</i>
$P$	= <i>external work</i>
$\delta$	= <i>virtual operator</i>
$\epsilon$	= vektor regangan
$\sigma$	= vektor tegangan
$V$	= volumen elemen
$\delta U$	= energi regangan virtual
$w$	= vektor displasmen dari <i>general point</i>
$\{F^a\}$	= vektor <i>acceleration force</i>
$[Kc]$	= Matriks kekakuan elemen
$\{F_c^{th}\}$	= Vektor beban termal elemen
$\phi$	= diameter (mm)
$DOF$	= <i>Degree Of Freedom</i>

## **DAFTAR LAMPIRAN**

**LAMPIRAN A (*WELDING PROCEDURE SPECIFICATION*)**

**LAMPIRAN B (*PERHITUNGAN HEAT FLUX*)**

**LAMPIRAN C (*INPUT SOFTWARE*)**

**LAMPIRAN D (*OUTPUT SOFTWARE*)**

**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Teknologi pengelasan merupakan salah satu bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam dunia *manufacturing, engineering*, konstruksi dan produksi (Mubarok dan Sidharta 2010). Dimana pengelasan banyak digunakan pada dunia industri maritim yang sangat luas, meliputi bidang perkapalan, bidang struktur bangunan laut (*offshore structure*), baik struktur terpancang (*fixed structure*) maupun struktur terapung (*floating structure*) dan struktur perpipaan (*pipeline structures*) yang dalam setiap tahap pengerjaannya selalu terdapat pengelasan. Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Pengelasan logam merupakan salah satu proses manufaktur yang memegang peranan penting dalam dunia industri. Teknik las digunakan secara luas untuk penyambungan pelat dan profil baja pada konstruksi kapal, bangunan lepas pantai, dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi las karena prosesnya lebih sederhana sehingga biaya produksi menjadi lebih murah. Disamping untuk kepentingan manufaktur atau fabrikasi, teknik pengelasan juga digunakan untuk perawatan dan reparasi, misal untuk mempertebal bagian-bagian yang sudah aus dan macam-macam reparasi lainnya (Kusuma 2011). Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) adalah pengelasan yang banyak digunakan untuk penyambungan konstruksi berat, misalnya jembatan, perpipaan, dan konstruksi bangunan baja (Yuliono 2009). Pada umumnya, ada lima jenis sambungan dasar pada pengelasan. Kelima jenis sambungan tersebut antara lain, *butt joint, lap joint, T-joint, edge joint*, dan *corner joint*. Sambungan-sambungan tersebut memiliki karakteristik sendiri-sendiri tergantung kondisi material yang dikerjakan. Sedangkan untuk posisi pengelasan ada beberapa jenis, yaitu: *flat (F), horizontal (H), vertical (V)*, dan *overhead (OH)* (ASME section IX, 2013).

Disamping itu dalam bidang pengelasan juga sering muncul permasalahan-permasalahan. Permasalahan yang muncul biasanya disebabkan karena bagian logam yang dilas menerima panas pengelasan lokal dan selama berjalan prosesnya berubah-ubah sehingga distribusi temperaturnya tidak merata. Karena dalam panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal sedangkan pada bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalang pengembangan yang mengakibatkan terjadinya peregangan yang kompleks. Apabila tidak dihindari, peregangan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk. Sehubungan dengan masalah yang ditimbulkan akibat distribusi panas yang tidak merata sering kali dalam pengelasan pelat-pelat tipis yang dilas pada struktur atau gading-gading, pelat tipis tersebut mengalami deformasi yang berbentuk seperti gelombang. Selain itu, arah dan urutan pengelasan yang sesuai dengan aturan dan proses pengelasan sering diabaikan sebagai akibat kurangnya pemahaman mengenai kekuatan sambungan dari juru las.

Dalam proses pengelasan, penyambungan dapat dijamin berkualitas baik apabila terjadi pencampuran secara metalurgis antara masing-masing logam induk dan logam tambahan. Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang dikenal dengan *heat input* (masukan panas). Adanya masukan panas pada logam ini juga mengakibatkan adanya tegangan sisa yang nantinya akan menimbulkan distorsi.

Pada saat pengelasan, sumber panas berjalan terus dan menyebabkan perbedaan distribusi temperatur pada logam sehingga terjadi pemuaian dan penyusutan yang tidak merata. Akibatnya, tegangan sisa dan distorsi akan timbul pada logam yang dilas. Tegangan sisa timbul karena adanya perbedaan temperatur yang besar, sedangkan distorsi terjadi jika logam las dibiarkan bergerak leluasa selama proses pendinginan. Tegangan sisa yang terjadi pada kampuh las ini dapat menyebabkan kegagalan (*fatigue*) yang mana dapat mengurangi kekuatan dari struktur dan komponen. Oleh karena itu, tegangan sisa dalam pengelasan harus dikurangi sampai sekecil

mungkin untuk mencegah kegagalan desain suatu komponen. Dengan mengerti mekanisme terjadinya tegangan sisa dapat dipelajari untuk mengambil langkah – langkah meminimalisasikan tegangan sisa yang terjadi pada saat pengelasan (Setyawati 2010). Dengan besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dikurangi dengan mengurangi besarnya masukan panas dan banyaknya logam lasan yang dilaksanakan dengan memperkecil sudut alur dari kampuh dan memperkecil panjang kaki las dan penguat. Karena penghalang luar juga menyebabkan terjadinya tegangan sisa, maka perlu menentukan urutan pengelasan yang baik, diantaranya urutan pengelasan maju, urutan pengelasan langkah mundur (*back step*), urutan pengelasan simetri, dan urutan pengelasan loncat. Sedangkan untuk arah pengisian lasan, dapat ditentukan juga diantaranya, urutan pengisian lapis banyak, urutan pengisian kaskade, dan urutan pengisian blok (Wiryosumarto dan Okumura 1996).

Pada prinsipnya, jika material yang akan dilakukan pengelasan jenisnya berbeda, maka prosedur dan jenis las yang digunakan juga bisa berbeda. *Carbon steel* adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu yang dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Dimana paduan antara Fe dan C dengan kadar C sampai 2,14%. Sifat-sifat mekanik baja karbon tergantung dari kadar C yang dikandungnya. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut kadar karbon yang dikandungnya, yaitu baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,30 % karbon, baja karbon sedang mengandung 0,30 – 0,45 % karbon, dan baja karbon tinggi mengandung 0,45 – 1,7 % karbon. Semakin tinggi paduan *carbon* pada Fe, titik didihnya lebih rendah pada peleburannya. Maka penambahan unsur *carbon* pada baja sangatlah berpengaruh pada tingkat kekerasan suatu bahan yang akan diproses menjadi barang yang berhubungan dengan pemesinan maupun lainnya. Dan juga menentukan keuletan dan kegetasan suatu bahan tersebut, pada saat diuji kekerasannya. Dalam studi ini, penulis menggunakan *low carbon steel* dengan kadar karbon kurang dari 0,3%. Dimana kekuatan tarik pada baja karbon rendah lebih kecil diantara baja karbon lainnya. Baja karbon rendah memiliki

kepekaan retak las yang rendah apabila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Namun, retak las pada baja karbon dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau apabila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi.

Pada studi eksperimen ini, penulis menggunakan proses SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dikenal juga dengan istilah *Manual Metal Arc Welding* (MMAW) atau Las elektroda terbungkus adalah suatu proses penyambungan dua keping logam atau lebih, menjadi suatu sambungan yang tetap, dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambah atau pengisi berupa elektroda terbungkus. Sedangkan, *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) merupakan las busur listrik fluks inti tengah atau pelindung inti tengah. FCAW merupakan kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Ada dua jenis variasi FCAW yang memiliki kegunaan berbeda-beda tergantung dari metode gas pelindung, diantaranya *Self shielding* FCAW (Pelindungan sendiri) atau FCAW-SS, yaitu melindungi las yang mencair dengan gas dari hasil penguapan dan reaksi inti fluks dan *Gas shielding* FCAW (perlindungan gas) dual gas atau FCAW-G, yaitu melindungi las yang mencair selain dengan gas sendiri juga ditambah gas pelindung dari luar sistem. Gas pelindung yang biasa digunakan untuk FCAW-G adalah menggunakan gas CO<sub>2</sub> atau campuran CO<sub>2</sub> dengan Argon. Namun dengan keberadaan oksigen kadang akan menimbulkan masalah baru yaitu dengan tingkat porositas yang dihasilkan reaksi CO<sub>2</sub> dan oksigen yang ada di udara sekitar lasan, sehingga perlu memilih fluks yang mengandung zat yang bersifat pengikat oksigen atau *deoxydizer*. Elektroda FCAW-G dapat digunakan untuk mengelas *carbon steel*, *low alloy steel* dan *stainless steel*. Berpedoman pada AWS, elektroda-elektroda yang digunakan pada pengelasan FCAW dibicarakan pada pasal 1.3.3 (PPNS, Teknik Pengelasan).

Baja karbon rendah adalah bahan yang paling banyak dipakai dalam proses manufaktur. Kelebihan dari baja karbon rendah adalah mudah dibentuk dan harganya murah. Kelemahan baja karbon adalah mudah aus



karena memiliki kekerasan yang rendah. Untuk meningkatkan kekerasan baja karbon dengan cara meningkatkan kadar karbon pada permukaannya, sehingga kekerasan dan kekuatannya dapat ditingkatkan dengan perlakuan panas.

Karena pengaruh *heat input* terhadap material sangat signifikan terhadap kualitas hasil lasan, maka dalam studi ini dilakukan analisis distorsi pada *low carbon steel* dengan proses pengelasan SMAW dan FCAW-SS.

Pada studi eksperimen ini, akan diteliti pengaruh pengelasan SMAW dan FCAW posisi las 2F dengan jenis sambungan T *joint* terhadap perubahan distorsi pada *Low Carbon Steel* dengan perbedaan variabel *heat input* menggunakan arah pengelasan mundur (*back step*) di Perusahaan Profab Indonesia dengan melakukan pengujian *Macroetch* di BKI Batam. Selanjutnya melakukan perbandingan dengan menggunakan pemodelan numerik.

## **I.2. Rumusan Masalah**

1. Berapa besar perubahan distorsi *angular* akibat pengaruh pengelasan SMAW pada *low carbon steel* jenis sambungan T *joint* dengan variasi *heat input*?
2. Berapa besar perubahan distorsi *angular* akibat pengaruh pengelasan FCAW-SS pada *low carbon steel* jenis sambungan T *joint* dengan variasi *heat input*?
3. Bagaimana analisis perubahan distorsi *angular* dengan variasi *heat input* dan menghasilkan distorsi paling minimum pada metode eksperimen dan metode numerik?

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

1. Mengukur besarnya pengaruh distorsi *angular* yang ditimbulkan pada proses pengelasan SMAW dengan variasi *heat input* yang berbeda pada *carbon steel*.

2. Mengukur besarnya perubahan distorsi *angular* yang ditimbulkan pada proses pengelasan FCAW dengan variasi *heat input* yang berbeda pada *carbon steel*.
3. Mengetahui hasil distorsi *angular* pada eksperimen yang paling minimum dari metode eksperimen dan metode numerik.

#### **I.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui faktor-faktor perilaku hubungan pengaruh *heat input* yang mempengaruhi terjadinya distorsi, dapat mengetahui besar *heat input* yang paling baik dengan arah pengelasan urutan mundur (*back step*) yang digunakan dalam pengelasan SMAW dan FCAW-SS pada *carbon steel* dan mengurangi terjadinya distorsi, serta setelah mengetahui hasil analisis, diharapkan dapat menjadikan suatu acuan dalam melakukan pengelasan *T-joint* dengan proses pengelasan SMAW dan FCAW-SS pada penyambungan material *carbon steel*.

#### **I.5. Batasan Masalah**

1. Pengelasan dilakukan dengan metode las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan FCAW-SS (*Flux Cored Arc Welding - Self Shielding*) yang dilakukan di PT Profab Indonesia.
2. Jenis material yang diuji adalah *low carbon steel* dengan spesifikasi S355J2+N.
3. Dimensi material 300 x 150 x 10 mm.
4. Posisi pengelasan adalah 2F dengan jenis sambungan *T-joint*.
5. Parameter *heat input* yang dirubah adalah arus listrik, yaitu untuk arus listrik pada proses pengelasan SMAW dengan kisaran 60-75 A dan 85-95 A, sedangkan untuk pada proses pengelasan FCAW sebesar 150 A dan 200 A. Sedangkan, untuk *travel speed* sebesar 60-70 mm/min.
6. Urutan pengelasan yang digunakan adalah urutan pengelasan mundur (*back step*).

7. Pengukuran perubahan distorsi dilakukan dengan pengukuran perubahan distorsi sudut (*angular distortion*).
8. Pengukuran distorsi diperoleh dari hasil pengelasan dengan dilihat secara visual dan *Macro-etch examination photography* untuk melihat kerusakan logam akibat proses deformasi.
9. Cacat pada material saat las diabaikan.
10. Pengelasan menggunakan pelat-punggung (*backing bar*) pada sisi tegak.
11. Pengelasan dilakukan berdasarkan hasil *Procedure Qualification Record Run Sheet* (PQR) dan *Welding Procedure Specification* (WPS).
12. Pemodelan menggunakan *software* SOLIDWORKS dan analisis menggunakan *software* ANSYS 16.2.
13. Prosedur pengelasan berdasarkan ASME section IIC dan IX serta AWS D1.1.

## **I.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan ini adalah :

### **Bab I Pendahuluan**

Pada Bab ini dijelaskan mengenai latar belakang studi yang dilakukan, permasalahan yang diangkat, tujuan yang ingin dicapai, manfaat dari penelitian, batasan-batasan masalah yang diterapkan serta sistematika penulisan Tugas Akhir.

### **Bab II Tinjauan Pustaka Dan Dasar Teori**

Studi literatur yang menunjang untuk penelitian Tugas Akhir yang memberikan penjelasan mengenai teori yang digunakan dalam proses pengelasan yang digunakan, pembuatan dan pengujian spesimen.

### **Bab III Metodologi Penelitian**

Menjelaskan langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian dan pengujian benda kerja atau spesimen uji.

#### **Bab IV Analisis Data Dan Pembahasan**

Bab ini menjelaskan mengenai pembahasan dan analisis dari hasil penelitian dan pengujian.

#### **Bab V Penutup**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian ini beserta saran mengenai penelitian yang harus dilakukan lebih lanjut.

**BAB II**

**TINJAUAN PUSTAKA**

**DAN DASAR TEORI**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### II.1. Tinjauan Pustaka

Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel, dan lain sebagainya. Di samping itu, pengelasan dapat dipergunakan juga untuk reparasi. Berdasarkan definisi dari *Deutche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat diperluas lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryo Sumarto dan Okumura. 1996).

Penelitian yang dilakukan oleh Agung Prambudi (2012) berjudul “Analisa Pengaruh Variasi Pengelasan Dua Sisi Material AH 36 Terhadap Distribusi Panas, Deformasi, dan Tegangan Sisa Pada Pengelasan Fillet Joint”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya deformasi dari pengaruh variasi *sequence* pengelasan sisi yang dilas dengan metode FCAW, mengetahui distribusi panas yang terjadi pada daerah las setelah dilakukan pengelasan, dan berapa besar tegangan sisa yang ada di daerah pengelasan dua sisi dengan *sequence* las berbeda. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa hasil tegangan sisa total yang ditunjukkan pada grafik tegangan Von Mises terbesar dialami variasi 1 dengan dua torches dilakukan secara arah bersamaan, sedangkan tegangan terkecil berada pada variasi 4 dengan dua torches. Kemudian hasil analisa diperoleh nilai terbesar terjadi pada variasi hampir sama yakni melengkung ke atas di bagian ujung pelat yang tidak diberikan *constraint* ke arah sumbu XYZ.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Mochammad Detta Rizky Safrisal (2014) berjudul “Analisa Pengaruh Pengelasan GMAW Terhadap Perubahan Distorsi Pada Aluminium Dengan Variasi Variabel *Heat Input*”. Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui berapa besarnya perubahan distorsi yang ditimbulkan pada proses pengelasan GMAW dengan variasi

arus listrik yang berbeda pada aluminium seri 5083, mengetahui hasil perubahan distorsi, tidak hanya pada distorsi angular, tetapi distorsi longitudinal dan distorsi transversal, dan mengetahui hasil distorsi pada eksperimen yang paling minimum.

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses pengelasan berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal. Sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalang pengembangan yang mengakibatkan terjadinya peregangan yang rumit. Kalau tidak dihindari, peregangan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk tetap yang disebabkan adanya perubahan bentuk mekanik. Disamping terjadi perubahan bentuk, yang dengan sendirinya terjadi regangan maka terjadi juga tegangan yang sifatnya tetap yang kemudian disebut sebagai tegangan sisa. Tegangan sisa yang terjadi dalam pengelasan terbagi menjadi dua, yaitu tegangan sisa oleh adanya halangan dalam yang terjadi karena pemanasan dan pendinginan setempat pada bagian konstruksi yang bebas dan tegangan sisa oleh adanya hubungan luar, yang terjadi karena perubahan bentuk dan penyusutan dari konstruksi. Selain itu, tegangan sisa dan perubahan bentuk yang terjadi sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan. Oleh karena itu, usaha untuk mengatur dan mengurangi tegangan sisa beserta distorsinya harus mendapat perhatian utama.

Panas yang bersumber dari busur las menghasilkan siklus panas yang kompleks dalam pengelasan, dan hal ini menyebabkan perubahan-perubahan mikrostruktur pada HAZ yang memicu tegangan panas sementara dan pergerakan metal yang akhirnya menghasilkan adanya tegangan sisa dan distorsi material.

Distorsi adalah terjadinya perubahan bentuk atau penyimpangan bentuk oleh panas, termasuk akibat proses pengelasan. Terjadinya pemuaian benda kerja mengakibatkan melengkung atau tertarik bagian-bagian sekitar benda kerja las. Hal ini karena semua logam akan mengalami

pengembangan jika terkena panas, terjadi penyusutan jika mengalami pendinginan. Sehingga seorang operator atau pekerja las harus memiliki kemampuan untuk mengendalikan pemuaian dan penyusutan agar tidak berlebihan pada benda kerja.

## II.2. Dasar Teori

### II.2.1. Klasifikasi material jenis *Carbon Steel*

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,3%, baja karbon sedang mengandung 0,3% sampai 0,45% karbon, dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45% sampai 1,7%.

Apabila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun. Klasifikasi dari baja karbon dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon (Harsono dan Wiryosumarto, 1996)

	jenis dan kelas	kadar karbon (%)	Kekuatan lulus (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Per-panjangannya (%)	Kekerasan Brinell	Peng-gunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Pelat tipis
	baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang, kawat
	baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
	baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
Baja karbon sedang	baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	alat-alat mesin
Baja karbon tinggi	baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	perkakas
	baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-Nop	180-235	rel, pegas, dan kawat piano

Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

a. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3% C. Baja ini tidak dapat



dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

b. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3%C-0,45% C. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai. Baja ini lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

c. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,45% C - 1,7% C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya martensit, sehingga membuat baja menjadi getas.

## **II.2.2. Pengelasan Baja Karbon**

### **Pengelasan Baja Karbon Rendah**

a. Klasifikasi baja karbon rendah

Baja karbon rendah yang disebut juga baja lunak banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja karbon ini dibagi lagi dalam baja kil, semi-kil dan baja rim, dimana penamaanya didasarkan atas persyaratan deoksidasi, cara pembekuan dan distribusi rongga atau lubang halus didalam.

b. Sifat Mampu Las dari Baja Karbon Rendah

Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi mampu-las dari baja karbon rendah adalah kekuatan takik dan kepekaan terhadap las. Kekuatan takik pada baja karbon rendah dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon C dan menaikkan kadar mangan Mn. Suhu transisi dari kekuatan takik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan Mn/C.

Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan.

Namun retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi.

*Thermal Conductivity* rendah dengan titik lebur yang tinggi. Dimana *thermal conductivity* adalah kemampuan suatu material untuk menyalurkan panas melalui massanya. Koefisien *thermal expansion* rendah. *Thermal expansion* adalah penambahan panjang material secara linier terhadap perubahan suhu.

c. Cara pengelasan baja karbon rendah

Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada di dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas. Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah.

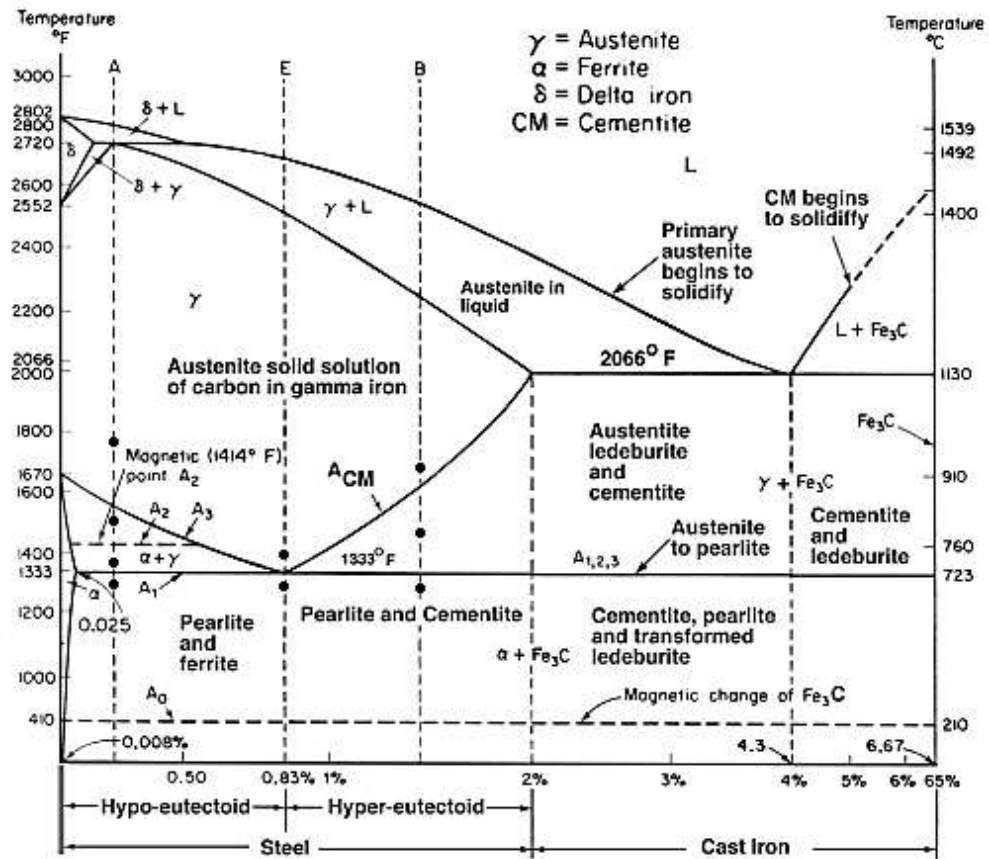
Baja karbon sedang dan karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu daerah pengaruh panas atau HAZ (*Heat Affective Zone*) pada baja ini mudah menjadi keras apabila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Disamping itu pengelasan dengan menggunakan elektroda yang sama kuat dengan logam lasnya mempunyai perpanjangan yang rendah. Terjadinya retak dapat dihindari dengan pemanasan mula dengan suhu yang sangat tergantung dari pada kadar karbon atau harga ekivalen karbon, seperti dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Suhu Pemanasan Mula Pada Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi (Harsono dan Wiryosumarto, 1996)

Kadar Karbon (%)	Suhu Pemanasan Mula (°C)
0,2 Maks.	90 (maks.)
0,2 - 0,3	90 – 150
0,3 - 0,45	150 – 260
0,45 - 0,80	260 – 420

Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon, suatu jenis logam paduan besi (Fe) dan karbon (C). Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (*solid solution*) hingga 0,05% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki *alpha ferrite* pada temperatur ruang. Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk *hard intermetallic stoichiometric compound* (Fe<sub>3</sub>C) yang dikenal sebagai *cementite* atau *carbide*. Selain larutan padat *alpha-ferrite* yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu *delta-ferrite* dan *gamma-austenite*. Logam Fe bersifat *polymorphism* yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, *alpha-ferrite* akan berubah menjadi *gamma-austenite* saat dipanaskan melewati temperature 910°C. Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400°C *gamma-austenite* akan kembali berubah menjadi *delta-ferrite*. (Alpha dan Delta) Ferrite dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (Gamma) Austenite memiliki struktur kristal FCC.

Wajib mengetahui diagram fase Fe-Fe<sub>3</sub>C, untuk mengetahui struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon, seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram fase Fe-Fe<sub>3</sub>C

### II.2.3. Spesifikasi Baja Karbon Grade S355J2+N

S355J2+N adalah baja kekuatan tinggi yang paling umum untuk konstruksi, dimana baja ini adalah struktur baja *non-alloy* untuk EN10025-2 2004. Dengan kekuatan luluh peningkatan sebesar lebih dari S355 MPa pada baja konstruksi lainnya. Biasanya nilai-nilai hasil Dillinger S355J2+N adalah konsekuensi dari pelat baja struktural memiliki sulfur dan fosfor yang sangat rendah. Hal tersebut adalah hasil dari *Dillinger*, proses metalurgi dua tahap ketika membuat baja, yang mana artinya bahwa struktur mikro baja yang lebih homogen dan sebagai konsekuensinya lebih keras dan lebih mampu untuk menahan kekuatan rekayasa yang diterapkan.

Berikut baja struktural dengan komposisi kimia pada Tabel 2.3, diantaranya :

Tabel 2.3 Baja Struktural Komposisi Kimia (*www.oakleysteel.co.uk, Structural Steel Plates, 2016*)

Grade	S355J2+N
Standard	EN10025-2:2004
Number	1,0577
C (max) < 40	0,23
C (max) < 40mm	0,24
Si	0,55
Mn	1,7
P	0,035
S	0,035
Nb	
V	
Al	
Ti	
Cr	
Ni	
Mo	
N	-
Cu	0,6

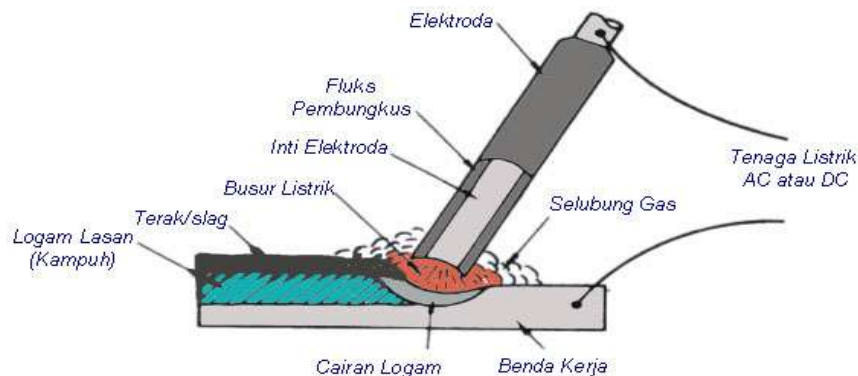
## II.2.4. Jenis Proses Pengelasan

### II.2.4.1. SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

*Metal Arc Welding* (SMAW) dikenal juga dengan istilah *Manual Metal Arc Welding* (MMAW) atau las elektroda terbungkus adalah suatu proses penyambungan dua keping logam atau lebih, menjadi suatu sambungan yang tetap, dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambah/pengisi berupa elektroda terbungkus.

Pada proses las elektroda terbungkus, busur api listrik yang terjadi antara ujung elektroda dan logam induk atau benda kerja (*base metal*) akan menghasilkan panas. Panas tersebut yang mencairkan ujung elektroda (kawat las) dan benda kerja secara setempat. Busur listrik yang ada dibangkitkan oleh mesin las. Elektroda yang dipakai berupa kawat yang dibungkus oleh pelindung berupa fluks. Dengan adanya pencairan ini maka kampuh las akan terisi oleh logam cair yang berasal dari elektroda dan

logam induk, terbentuklah kawah cair, lalu membeku maka terjadilah logam lasan (*weldment*) dan terak (*slag*), seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses SMAW (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butiran-butiran yang terbawa oleh arus dari pada busur listrik yang terjadi. Apabila menggunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cairnya yang terbawa akan menjadi halus sebaliknya bila arus yang dipakai kecil maka butirannya akan menjadi lebih besar, seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pemindahan Logam Cair (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

Proses pemindahan logam cair seperti diterangkan diatas sangat mempengaruhi dari sifat-sifat mampu las dari logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus, sedangkan proses pemindahan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan juga oleh komposisi bahan pembungkus elektroda

(*fluks*) yang digunakan. Selama proses pengelasan terjadi fluks yang digunakan sebagai bahan pembungkus elektroda mencair dan terapung pada cairan kawah las lalu membeku menutupi deposit las menjadi terak las atau yang disebut *slag*. *Slag* inilah yang akan melindungi hasil lasan yang baru membeku agar tidak terpengaruh oleh udara luar (oksidasi). Pada saat itu juga bahan fluks yang terbakar berubah menjadi gas yang berfungsi sebagai bahan pelindung dari udara luar terhadap oksidasi dan juga sebagai pemantap busur.

#### **II.2.4.2. FCAW (Flux Cored Arc Welding)**

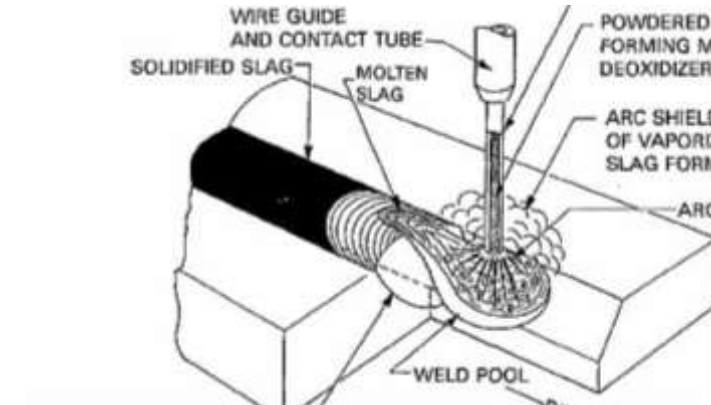
*Flux cored arc welding* (FCAW) merupakan las busur listrik fluks inti tengah atau pelindung inti tengah. FCAW merupakan kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau *rectifier*. FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk. Gas pelindungnya juga sama-sama menggunakan karbon dioksida CO<sub>2</sub>.

*Flux cored arc welding* atau las busur berinti flux mirip dengan proses las GMAW, yaitu menggunakan elektroda solid dan tubular yang diumpankan secara kontinyu dari sebuah gulungan. Elektroda diumpankan melalui gun atau torch sambil menjaga busur yang terbentuk diantara ujung elektroda dengan base metal. FCAW menggunakan elektroda dimana terdapat serbuk flux di dalam batangnya. Butiran-butiran dalam inti kawat ini menghasilkan sebagian atau semua shielding gas yang diperlukan. Jadi berlawanan dengan GMAW, dimana seluruh gas pelindung berasal dari sumber luar. FCAW bisa juga menggunakan gas pelindung tambahan, tergantung dari jenis elektroda, logam yang dilas, dan sifat dari pengelasan yang dikerjakan.

Ada dua jenis variasi FCAW yang memiliki kegunaan berbeda-beda tergantung dari metode gas pelindung, yaitu *Gas Shielded* (FCAW-G) dan

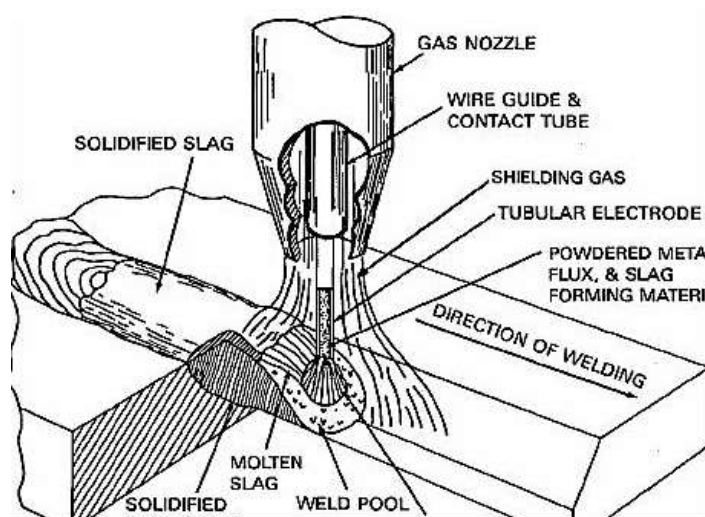
*Self-shielded* (FCAW-SS). Berdasarkan metode pelindung, FCAW dibedakan :

- a. *Self shielding* FCAW (Pelindungan sendiri), yaitu melindungi las yang mencair dengan gas dari hasil penguapan dan reaksi inti fluks, seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Self-Shielding Flux Core Arc Welding* (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

- b. *Gas shielding* FCAW (perlindungan gas) atau dual gas, yaitu melindungi las yang mencair selain dengan gas sendiri juga ditambah gas pelindung dari luar sistem, seperti pada Gambar 2.5.



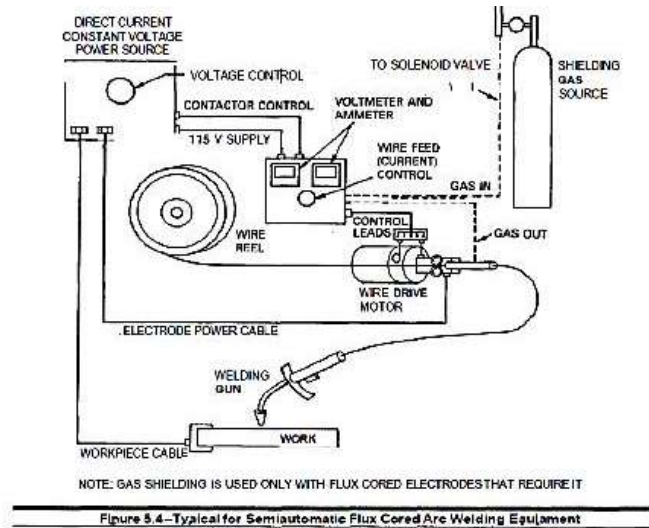
Gambar 2.5 *Gas-Shielding Flux Core Arc Welding* (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)



Kedua jenis pelindung di atas menghasilkan terak las yang memadai untuk melindungi metal las yang akan beku. Perbedaannya terletak pada tambahan sistem pemasok gas dan welding torch (*welding gun*), seperti pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.

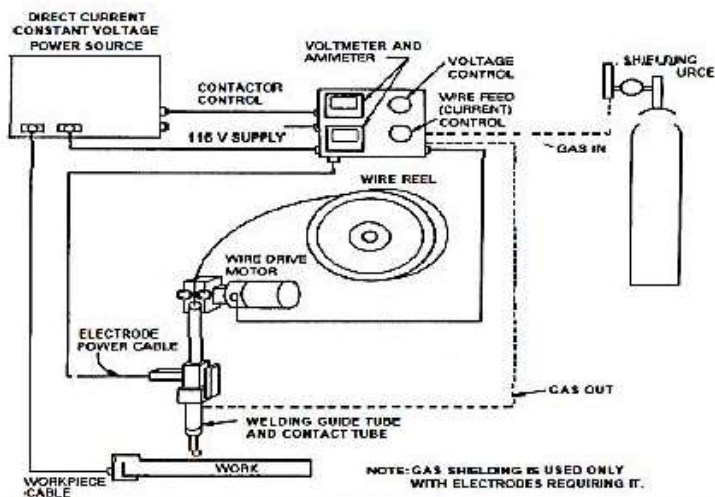
Berdasarkan cara pengoperasiannya, FCAW dibedakan menjadi :

- a. Semi otomatis atau *semi automatic*



Gambar 2.6 Tipe sistem Semi Otomatis pada FCAW (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

- b. Otomatik atau *machine otomatic*



Gambar 2.7 Tipe sistem Otomatis pada FCAW (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

Sifat-sifat utama (*Principal features*) FCAW dalam proses pengelasan, diantaranya :

1. Produktivitas yang kontinu dari pasokan elektroda las.
2. Sifat metalurgi las yang dapat dikontrol dari pemilihan fluks.
3. Pembentukan manik las yang cair dapat ditopang oleh slag yang tebal dan kuat,

Pelindung gas umumnya menggunakan gas CO<sub>2</sub> atau campuran CO<sub>2</sub> dengan Argon. Namun dengan keberadaan oksigen kadang akan menimbulkan masalah baru yaitu dengan porositas yang dihasilkan reaksi CO<sub>2</sub> dan oksigen yang ada di udara sekitar lasan, sehingga perlu memilih fluks yang mengandung zat yang bersifat pengikat oksigen atau deoxydizer.

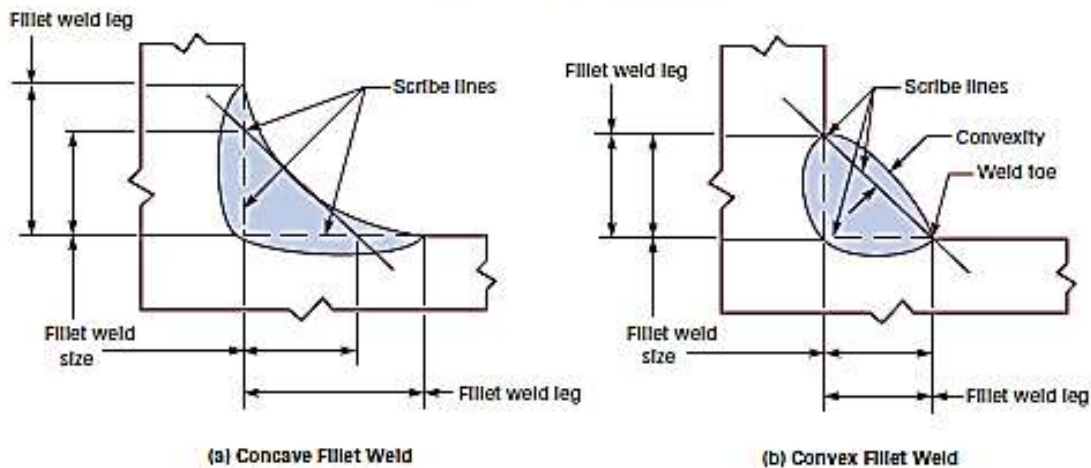
Mesin las FCAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang fillernya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. Pilihan ketika menggunakan DC polaritas negatif atau positif adalah terutama ditentukan elektroda yang digunakan. Beberapa filler FCAW didesain untuk digunakan hanya DC- atau DC+. Filler lain dapat menggunakan keduanya DC- dan DC+.

Elektroda pada FCAW adalah yang didalamnya ada lubangnya. Biasanya elektroda ini terdiri dari paduan baja karbon rendah yang mengelilingi inti bahan. Elektroda FCAW-G dapat digunakan untuk mengelas *carbon steel*, *low alloy steel* dan *stainless steel*. Berpedoman pada AWS, elektroda-elektroda yang digunakan pada pengelasan FCAW

dibicarakan pada pasal 1.3.3. Pada pengelasan *carbon steel* dan *low alloy steel*, elektroda berinti flux yang banyak dipakai adalah dari jenis T-1 (*acid slag*), T-2 (*single pass welding*) dan T-5 (*basic slag*).

Untuk mempermudah dalam proses pengelasan, perlu adanya kampuh agar filler dapat mengisi logam induk yang akan disambung. Kampuh akan diperlukan jika ketebalan material yang akan dilas lebih dari 6 mm (ASME section IX). Ada jenis kampuh yang biasanya digunakan dalam pengelasan pada sambungan-T seperti yang terlihat pada Gambar 2.8.

FIG. 8 DIMENSIONS OF FILLET WELDS



Gambar 2.8 *Fillet Weld* pada pengelasan *Joint-T* (ASME II, 2013)

## II.2.5. Klasifikasi Sambungan Las

### a. Sambungan Las Dasar

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya dibagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut di atas terjadi sambungan sialng, sambungan dengan penguat, dan sambungan sisi, seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Jenis-jenis sambungan dasar (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

#### b. Sambungan Tumpul

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian. Sambungan penetrasi penuh dibagi lebih lanjut menjadi sambungan tanpa pelat pembantu dan sambungan dengan pelat pembantu yang masih dibagi lagi dalam pelat pembantu yang turut menjadi bagian dari konstruksi dan pelat pembantu yang hanya sebagai penolong pada waktu proses pengelasan saja, seperti pada Gambar 2.10.

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)		—	

Gambar 2.10 Alur Sambungan Las Tumpul (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

c. Sambungan bentuk T dan bentuk silang

Pada kedua sambungan ini secara garis besar dibagi dalam dua jenis yaitu jenis las dengan alur dan jenis las sudut. Hal-hal yang dijelaskan untuk sambungan tumpul di atas juga berlaku untuk sambungan jenis ini. Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin sekali ada bagian batang yang menghalangi yang dalam hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur, seperti pada Gambar 2.11.

Lasan Dengan Alur	Lasan Penetrasi penuh					
	Lasan Penetrasi Sebagian					
Lasan Sudut						

Gambar 2.11 Sambungan T (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

d. Sambungan sudut

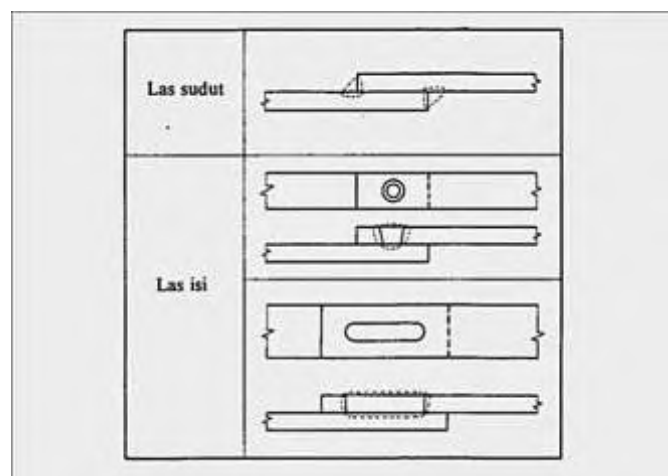
Dalam sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang dapat menyebabkan terjadinya retak lamel. Hal ini dapat dihindari dengan membuat alur pada pelat tegak. Apabila pengelasan dalam tidak dapat dilakukan karena sempitnya ruang, maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan pelat pembantu, seperti pada Gambar 2.12.

Lasan dengan alur	Lasan penetrasi penuh								
	Lasan penetrasi sebagian								
Gabungan lasan dengan alur dan las sudut									
Las sudut									

Gambar 2.12 Macam-macam sambungan sudut (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

e. Sambungan Tumpang

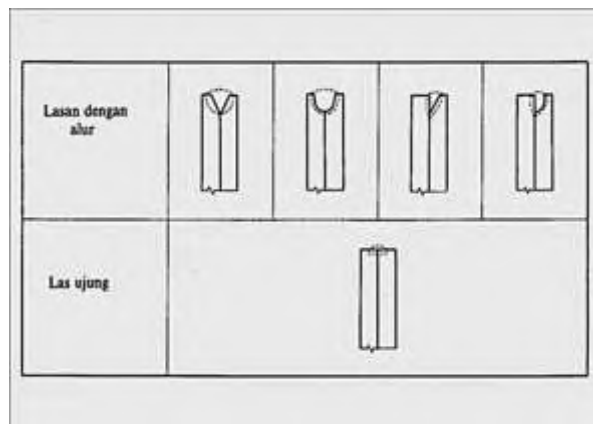
Sambungan tumpang dibagi dalam 3 jenis, yaitu las sudut dan las isi. Karena sambungan ini efisiensinya rendah, maka jarang sekali digunakan untuk pelaksanaan penyambungan konstruksi utama. Sambungan tumpang biasanya dilaksanakan dengan las sudut dan las isi, seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Sambungan Tumpang (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

f. Sambungan Sisi

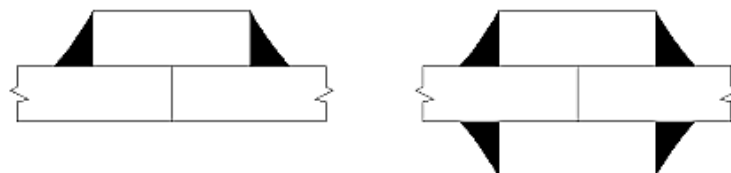
Sambungan sisi dibagi dalam sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung. Untuk jenis lasan dengan alur, pada pelatnya harus dibuat alur sedangkan pada jenis las ujung dilakukan pada ujung pelat tanpa ada alur. Jenis las ujung biasanya hasilnya kurang memuaskan kecuali bila pengelasannya dilakukan dalam posisi datar dengan aliran listrik yang tinggi. Karena hal ini, maka jenis las ujung hanya dipakai untuk pengelasan tambahan atau sementara pada pengelasan pelat – pelat yang tebal, seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Sambungan Sisi (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)

g. Sambungan dengan Pelat Penguat

Sambungan ini dibagi dalam dua jenis, yaitu sambungan dengan pelat penguat tunggal dan dengan pelat penguat ganda. Sambungan ini mirip dengan sambungan tumpang. Dengan alasan yang sama dengan sambungan tumpang, maka sambungan ini jarang digunakan untuk penyambungan konstruksi utama, seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Sambungan dengan Penguat (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 1996)



## II.2.6. Jenis Elektroda Pengelasan

Elektroda terbungkus pada umumnya digunakan dalam pelaksanaan pengelasan tangan. Di negara-negara industri, elektroda las terbungkus sudah banyak yang di standarkan berdasarkan penggunaannya. Standarisasi elektroda dalam AWS (*American Welding Society*) didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las dan dinyatakan dengan tanda EXXXX, yang artinya sebagai berikut :

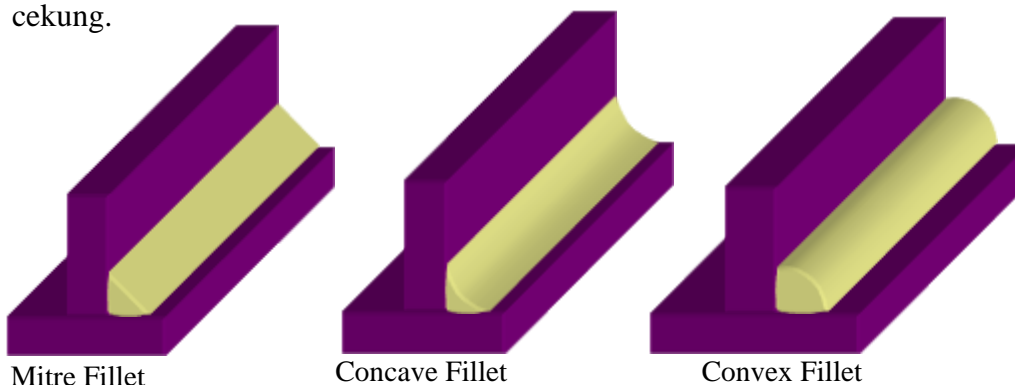
- E : Menyatakan elektroda las busur listrik
- XX : Dua angka sesudah E menyatakan kekuatan tarik (ksi)
- X : Angka ketiga menyatakan posisi pengelasan, yaitu:
  - Angka 1 untuk pengelasan segala posisi
  - Angka 2 untuk pengelasan posisi datar dan dibawah tangan
  - Angka 3 untuk pengelasan posisi dibawah tangan
- X : Angka keempat menyatakan jenis selaput dan arus yang cocok

dipakai untuk pengelasan.

Sebagai contoh adalah elektroda yang digunakan dalam studi eksperimen ini, yaitu elektroda E7018.

## II.2.7. Kampuh atau Sambungan Las

Pengerjaan sambungan atau kampuh las terdiri dari 4 jenis yaitu sambungan kampuh sisi, sambungan berimpit, sambungan sudut dan sambungan T. Kampuh sambungan T yaitu antara lain datar, cembung, dan cekung.



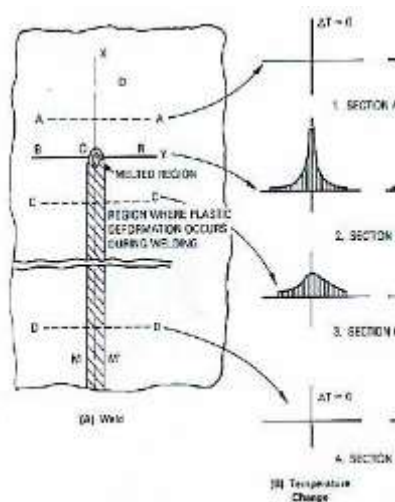
Gambar 2.16 Sambungan T (*TWI Certification Ltd, 2015*)

### II.2.8. Siklus Termal Pengelasan

Ketika suatu benda dikenai proses pengelasan, temperatur pada daerah busur las akan mengalami perubahan dengan sangat cepat. Hal ini mengakibatkan perbedaan temperatur di daerah sekitar busur las. Setelah perbedaan temperatur terjadi panas mulai mengalir ke sekitar daerah pengelasan yang mempunyai temperatur lebih rendah sehingga terjadi distribusi panas ke daerah sekitar alur las. Distribusi temperatur yang terjadi pada saat proses pemanasan maupun pendinginan tidak sama pada hampir tiap titik pada bagian daerah lasan. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.17 terdapat bagian-bagian daerah berdasarkan distribusi temperaturnya.

- A-A : Daerah yang belum tersentuh panas
- B-B : Daerah yang mencair tepat pada busur las
- C-C : Daerah terjadinya deformasi plastis selama proses pengelasan
- D-D : Daerah yang sudah mengalami pendinginan.

Selain ditinjau dari tempatnya, distribusi yang tidak merata ini terjadi juga dari segi waktu. Hal ini mengakibatkan terjadinya siklus termal yang sangat kompleks, siklus ini menggambarkan laju pendinginan yang terjadi pada daerah tertentu dari benda las. Ketidakmerataan distribusi temperatur inilah yang menjadi penyebab timbulnya tegangan sisa dan distorsi pada struktur las, seperti pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Siklus termal selama proses pengelasan (AWS Vol. I, 1996)

Adanya pemanasan dan pendinginan pada benda las, akan menyebabkan perubahan struktur mikro bagian-bagian tertentu pada benda las. Perubahan struktur mikro yang harus diperhatikan adalah pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*). Perubahan struktur mikro ini akan merubah sifat mekanik dari daerah yang mengalami perubahan tersebut. Sifat dari daerah HAZ akan mempengaruhi kualitas sambungan las, yang mana sifat ini tergantung pada lamanya proses pendinginan. Pemanasan yang terjadi pada saat pengelasan mendapat sumber panas dari elektroda yang digunakan. Nilai sumber panas dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$Q = \eta \cdot U \cdot I \quad (2.1)$$

Dimana:

$Q$  : net heat input / effective thermal power (watt)

$\eta$  : Koefisien efisiensi pengelasan

$U$  : Tegangan busur (Volt)

$I$  : Arus listrik (Ampere)

Nilai koefisien efisiensi pengelasan akan berbeda untuk setiap jenis pengelasannya. Pada Tabel 2.4 tertera nilai koefisien efisiensi pengelasan untuk tiap-tiap jenis pengelasan.

Tabel 2.4 Nilai koefisien efisiensi pengelasan

<b>Jenis Pengelasan</b>	<b><math>\eta</math></b>
SAW – Steel	0,91 – 0,99
SMAW – Steel	0,66 – 0,75
FCAW – SS	0,78 – 0,87
GMAW – CO <sub>2</sub> ; Steel	0,75 – 0,93
GMAW – Ar ; Steel	0,66 – 0,77
GTAW – Ar ; Steel	0,25 – 0,75
GTAW – He ; Al	0,50 – 0,80
GTAW – Ar ; Al	0,22 – 0,46

Energi panas yang terbentuk dari perubahan energi listrik tidak akan diserap secara penuh oleh logam lasan, sehingga energi busur las bersih dapat dihitung sebagai berikut :

$$H_{net} = \frac{f_1 \cdot E \cdot I}{v} \quad (2.2)$$

Dimana:

- $H_{net}$  : Energi input bersih (kJ/mm)
- $E$  : Tegangan (Volt)
- $I$  : Arus listrik (Ampere)
- $f_1$  : Efisiensi pemindahan panas
- $v$  : Kecepatan pengelasan (mm/s)

Proses perpindahan atau distribusi panas yang terjadi saat pengelasan adalah proses konduksi dan konveksi. Proses konduksi terjadi pada logam yang menerima panas secara langsung karena adanya sentuhan langsung logam dengan elektroda. Sedangkan proses konveksi terjadi karena permukaan yang terkena langsung dengan udara. Proses konduksi lebih dominan daripada konveksi karena memiliki nilai yang lebih tinggi dan panasnya ditransferkan ke semua arah. Persamaan dasar konduksi panas adalah:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = Q_G + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right] \quad (2.3)$$

Dimana :

- $\rho$  : massa jenis (Kg/m<sup>3</sup>)
- $c$  : *specific heat* (J/Kg.k)
- $\lambda$  : konduktivitas termal (W/m.K)
- $Q_G$  : debit perubahan temperatur (W/m<sup>3</sup>)

Heat *flux* selama proses pemanasan dapat dihitung menggunakan hubungan vektor *heat flux* dan *thermal gradient*.

$$\{q\} = -[D] \cdot \{L\} \cdot T \quad (2.4)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Dimana:

- [D] : Matriks konduktivitas (-)
- $K_{xx}$  : Konduktivitas arah x (W/mm.K)
- $K_{yy}$  : Konduktivitas arah y (W/mm.K)
- $K_{zz}$  : Konduktivitas arah z (W/mm.K)

Transfer panas pada distribusi temperatur dipengaruhi besarnya *heat flux* yang mengenai elemen, dapat dihitung dengan persamaan (Mahrlein, 1999):

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f} \quad (2.6)$$

Dimana:

- $q_1$  : *heat flux* pada elemen (J/mm<sup>2</sup>)
  - $q_e$  : *heat flux* yang dihasilkan elektroda (J/mm<sup>2</sup>)
  - $A_1$  : luas permukaan elemen (mm<sup>2</sup>)
  - $A_f$  : luasan fluks yang dihasilkan elektroda (mm<sup>2</sup>)
- $$q_e = \frac{H_{net}}{A_e} = \frac{f_1 \cdot E \cdot I}{A_e} = \frac{f_1 \cdot E \cdot I}{\pi r_e^2} \quad (2.7)$$

Jika persamaan 2.6 disederhanakan, maka didapat:

$$A_f = b \cdot v \cdot t \quad (2.8)$$

Dimana:

- b : Panjang kaki las (mm)
- v : Kecepatan pengelasan (mm/s)
- t : Waktu yang diperlukan pada satu elemen (s)

Konveksi adalah Aliran Panas dengan media perantara fluida. Sebagaimana pada konduksi, perbedaan suhu pada solid *base metal* dengan fluida pada *weld metal* menyebabkan terjadinya transfer energi dari daerah dengan suhu tinggi ke daerah dengan suhu rendah (Gambar 2.18). Persamaan heat transfer secara konveksi diperoleh dari persamaan hukum pendinginan Newton,

$$q_h = h (T - T_\infty) \quad (2.9)$$

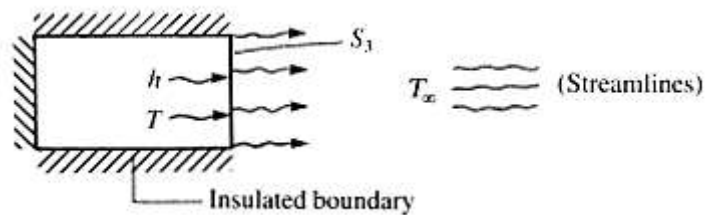
Dimana,

$q_h$  = aliran panas secara konveksi ( $kW/m^2$ )

$h$  = koefisien konveksi ( $kW/m^2C$ )

$T$  = Temperatur pada permukaan solid ( $^{\circ}C$ )

$T_\infty$  = Temperatur fluida pengelasan ( $^{\circ}C$ )



Gambar 2.18 Ilustrasi aliran panas secara konveksi

### II.2.9. Heat Input

Dalam pengelasan, untuk mencairkan logam induk dan logam pengisi diperlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan berasal dari bermacam-macam sumber yang tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari parameter arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam ditempat akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelesan yang dikenal dengan *heat input*. Persamaan *heat input* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q = \eta \frac{V \cdot I}{v} \quad (kJ/mm) \quad (2.10)$$

Keterangan :

$Q = \text{Heat Input (kJ/mm)}$

$\eta = \text{Thermal Efficiency (\%)}$

$V = \text{Voltage (V)}$

$I = \text{Current (A)}$

$v = \text{Welding Speed (mm/sec)}$

### **II.2.9.1. Besar Arus Pengelasan**

Berpengaruh langsung pada penetrasi logam las, bentuk manik las, lebar HAZ (*Heat Affected Zone*) dan dilusi. Arus las makin besar dapat memperdalam penetrasi logam las dan juga memperlebar HAZ, demikian sebaliknya. Pemakaian arus las semakin tinggi juga dapat memperlebar manik las.

Arus las juga mempengaruhi dilusi atau pencampuran. Semakin besar arus las maka semakin besar juga dilusi yang artinya semakin banyak bagian logam induk yang mencair.

Besarnya arus pengelasan ditentukan oleh diameter elektroda. Semakin besar diameter elektroda yang dipakai maka semakin tinggi arus las yang diperlukan. Secara logika, untuk mencairkan kawat las berdiameter lebih besar akan membutuhkan panas lebih tinggi. Energi panas sebanding dengan arus las. Oleh karena itu, fakta bahwa pemakaian kawat las berdiameter besar membutuhkan arus las yang besar juga.

### **II.2.9.2. Tegangan Busur Las**

Berbanding lurus dengan tinggi busur. Yang dimaksud dengan tinggi busur disini adalah jarak antara ujung elektroda dengan permukaan logam induk yang dilas. Jika saja pada saat pengelasan terjadi kenaikan tinggi busur maka pada saat itu juga tegangan las merangkak naik dan arus las turun. Kenaikan tegangan akan terus berlanjut jika tinggi busur makin besar dan pada akhirnya mungkin saja busur listrik tidak ada lagi. Walaupun ada korelasi antara arus dan tegangan, tetapi tegangan las ini tidak berpengaruh secara langsung pada penetrasi logam las.

### **II.2.9.3. Kecepatan Pengelasan**

Semakin tinggi kecepatan pengelasan biasanya dipengaruhi oleh tingginya arus pengelasan. Untuk mencairkan ujung elektroda diperlukan energi yang cukup. Dengan kebutuhan energi yang cukup ini, pengelasan dapat berlangsung dengan normal. Apabila energi yang diberikan lebih dari cukup misalnya saja dengan memberikan arus las lebih tinggi, maka proses pencairan ujung elektroda berlangsung lebih cepat. Kecepatan pencairan elektroda yang tidak diimbangi dengan kecepatan pengelasan mungkin saja menyebabkan penumpukan cairan logam las di permukaan logam induk. Untuk menghasilkan manik las yang normal, maka tentu saja kecepatan pencairan ujung elektroda harus diimbangi dengan kecepatan pengelasan. Dengan demikian benar saja bahwa tingginya arus pengelasan sangat mempengaruhi kecepatan pengelasan.

## **II.2.10. Perubahan Bentuk Dalam Pengelasan**

### **II.2.10.1. Teori Deformasi**

Deformasi merupakan perubahan pada material, baik perubahan dimensi maupun struktur karena mendapat beban dari luar. Beban bisa berupa beban mekanis maupun proses fisika-kimia. Perubahan yang terjadi pada material dapat berupa pemuaian maupun pengkerutan. Perubahan tersebut dimulai dari perubahan struktur dalam material sebelum akhirnya berdampak pada perubahan dimensi material. Jadi perubahan dimensi tergantung dari perubahan struktur material. Apabila perubahan struktur dari material teratur, maka perubahan dimensi secara umum juga teratur.

Pada struktur logam deformasi terjadi mulai dari struktur kristal yang berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Untuk mengurangi dampak batas butir dan untuk mengurangi kerumitan dalam pembahasan selanjutnya, maka akan mengkhususkan pada pembahasan pada distorsi kristal tunggal. Deformasi pada logam fasa tunggal berdasarkan prosesnya meliputi deformasi elastis dan deformasi plastis.

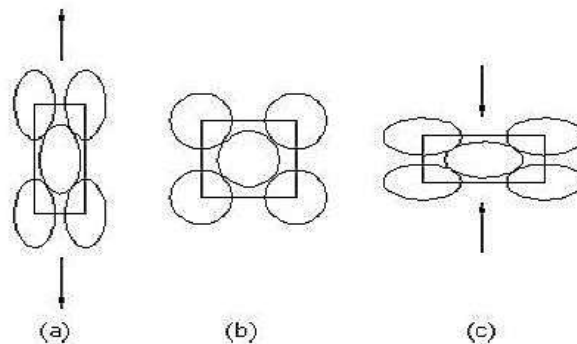


### II.2.10.2. Deformasi Elastis

Deformasi elastis merupakan perubahan yang bersifat tidak tetap. Hal ini karena perubahan yang terjadi pada struktur akan segera kembali ke bentuk semula apabila beban yang bekerja pada struktur dihilangkan. Sehingga deformasi elastis tidak menyebabkan perubahan nyata dalam struktur. Pada saat bekerjanya beban, maka terjadi perpindahan atom secara elastis ke tingkat yang lebih tinggi relatif terhadap yang lain. Karena selain deformasi, bahan menyerap energi akibat gaya yang bekerja sepanjang garis deformasi.

Pada sebagian besar material, selama beban tidak melebihi batas elastis, deformasi sebanding dengan besarnya beban. Hubungan ini disebut dengan Hukum Hooke yang dinyatakan regangan sebanding dengan tegangan. Hukum Hooke yang mensyaratkan bahwa hubungan beban deformasi tersebut berbentuk linier. Namun tidak semua material berperilaku elastis dan memiliki hubungan antara tegangan dan regangan linier.

Apabila beban yang bekerja berupa gaya tarik, benda akan bertambah panjang. Setelah gaya dihilangkan, maka benda akan kembali ke bentuk semula. Sebaliknya, apabila benda dikenai gaya tekan maka benda akan mengalami pengkerutan sehingga menjadi lebih pendek. Regangan elastis baik dalam arah memanjang maupun memendek, ditunjukkan pada Gambar 2.19 berikut :



Gambar 2.19 (a) Struktur kristal mengalami tegangan tarik, (b) tidak ada tegangan, dan (c) Struktur kristal mengalami tegangan tekan (Amarna, 2008)

Dalam deformasi elastis regangan sebanding dengan tegangan. Perbandingan antara tegangan dengan regangan material disebut dengan Modulus Elastisitas, E (*Modulus Young*). Modulus Elastisitas dapat menjadi karakteristik dari material logam. Semakin besar gaya tarik antar atom logam, maka semakin besar pula modulus elastisitasnya.

Setiap perpanjangan atau pemendekan struktur kristal dalam satu arah tertentu karena gaya luar akan mengakibatkan perubahan dimensi dalam arah tegak lurus dengan gaya tersebut. Pada gambar 2.19 (a) terlihat adanya kontraksi tegak lurus gaya tarik.

Perbandingan negatif antara regangan melintang ( $\epsilon_y$ ) dan regangan tarik ( $\epsilon_z$ ) disebut dengan bilangan poisson. Harga dari bilangan poisson berkisar antara 0,25 sampai dengan 0,5.

$$\nu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_z} \quad (2.11)$$

Pada beban geser, bekerja dua gaya sejajar seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.19 (b). Tegangan geser ( $\tau$ ) adalah gaya ( $F_s$ ) dibagi dengan luas bidang geser ( $A_s$ ).

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (2.12)$$

Gaya geser menyebabkan adanya pergeseran sudut ( $\alpha$ ). Regangan geser ( $\gamma$ ) didefinisikan sebagai nilai dari tangensial sudut ( $\alpha$ ) tersebut dengan regangan geser ( $\gamma$ ). Regangan geser elastis sebanding dengan tegangan geser.

$$G = \frac{\alpha}{\gamma} \quad (2.13)$$

Dimana G adalah modulus geser atau modulus kekakuan yang berbeda dengan modulus elastisitas (E). Namun untuk regangan yang kecil berlaku hubungan sebagai berikut :

$$E = 2G (1 + \nu) \quad (2.14)$$

Regangan geser akan tetap bersifat elastis selama atom-atom mengalami pergeseran tetap bertetangga dengan atom-atom bermula.

### **II.2.10.3. Deformasi Plastis**

Apabila tegangan yang bekerja pada material melebihi batas elastisitas, maka deformasi yang timbul adalah deformasi plastis. Batas elastisitas adalah suatu batas dimana tegangan maksimum yang dapat dikenakan tanpa menghasilkan suatu deformasi yang bersifat permanen. Deformasi plastis berkaitan dengan perpindahan atom-atom di dalam butiran dan mengakibatkan perubahan permanen pada bentuk spesimen material. Dimana perubahan ini mengakibatkan distorsi.

Deformasi plastis terjadi karena adanya geseran plastis dan slip, dimana bidang atom bergeser terhadap bidang di dekatnya. Deformasi geser juga terjadi bila ada gaya tekan atau tegangan, karena gaya-gaya ini dapat diuraikan menjadi tegangan geser. Tegangan geser yang diperlukan untuk menghasilkan slip dalam bidang kristal tertentu disebut tegangan geser kritis.

Deformasi plastis merubah struktur intern logam, oleh karena itu deformasi dapat merubah sifat – sifat dari suatu logam. Salah satu bukti dari perubahan ini adalah dengan melakukan pengukuran tahanan. Sifat lain yang juga berubah yang mempunyai nilai teknik lebih besar adalah kekuatan.

Deformasi plastis bersifat merugikan bagi struktur karena dapat menurunkan kekuatan dari material. Untuk itu deformasi sebisa mungkin dihindari dengan pemberian beban pada struktur yang tidak melebihi batas elastisitas material. Demikian juga dalam kasus pengelasan, hal inibisa dicapai dengan prosedur pengelasan yang baik, yaitu pengelasan yang tidak menimbulkan tegangan sisa yang besar yang dapat menimbulkan perubahan bentuk yang permanen pada material struktur.

#### II.2.10.4. Distorsi Pada Pengelasan

Pada proses pengelasan, sambungan pada material menerima beban panas yang tinggi. Distribusi panas yang ditimbulkan tidak merata ke semua bagian. Sehingga suhu pada daerah lasan dan HAZ lebih tinggi dari pada logam induk yang tidak terkena pengaruh panas. Selama proses pendinginan, daerah lasan akan menjadi padat dan menyusut sehingga terjadi tegangan tarik disekitar lasan dan HAZ. Jika tegangan tarik yang dihasilkan melebihi *yield point* dari logam induk, maka hal ini bisa menimbulkan deformasi plastis pada material. Deformasi plastis ini nantinya akan menyebabkan perubahan dimensi dan penyimpangan material. Hal inilah yang disebut dengan distorsi.

Dalam pengelasan terdapat beberapa proses yang terjadi, antara lain pencairan logam, pendinginan, pengembangan thermal, pemanjangan atau penyusutan material las, sehingga pada konstruksi las seringkali terjadi perubahan bentuk atau deformasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya deformasi las, yaitu masukan panas pengelasan dan adanya penahan atau penghalang pada sambungan las.

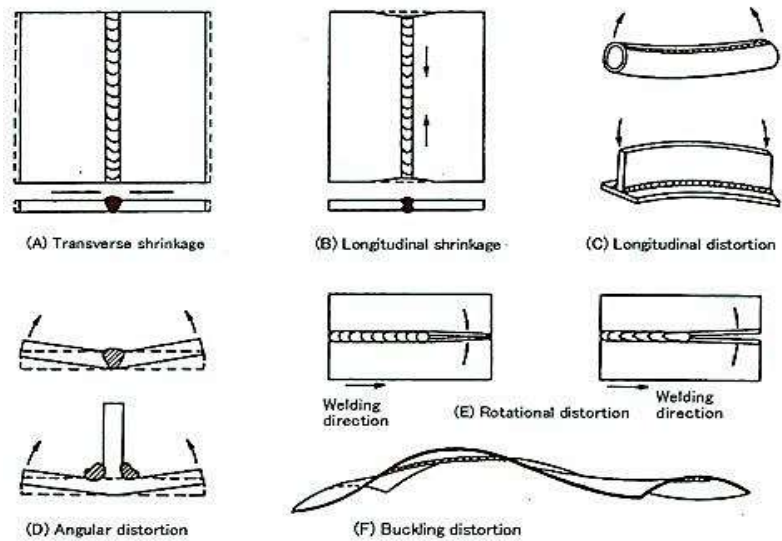
Faktor yang termasuk dalam masukan panas (*heat input*) dimana masukan panas ditentukan oleh tegangan listrik, aliran listrik, kecepatan pengelasan, serta ukuran dan jenis elektroda, cara pengelasan, suhu pemanasan mula, tebal pelat, geometri sambungan, serta jenis dan jumlah lapisan dari lasan.

Sedangkan faktor dimana adanya penahan atau penghalang ditentukan oleh bentuk, ukuran serta susunan dari batang –batang penahan dan *welding sequence* atau urutan pengelasan.

Ada beberapa macam distorsi yang terjadi pada pengelasan, seperti pada Gambar 2.20.

1. *Transverse shrinkage*
2. *Longitudinal shrinkage*
3. *Longitudinal distortion*
4. *Angular distortion*
5. *Rotational distortion*

## 6. Buckling distortion



Gambar 2.20 Macam-macam distorsi dalam pengelasan (Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 2007)

Pada proses pengelasan akan terjadi perubahan bentuk akibat panas pengelasan, untuk pecegahan diperlukan teknik-teknik khusus yaitu :

a. Jumlah *welding pass*

Semakin banyak *welding pass* yang digunakan akan meningkatkan resiko terjadinya deformasi.

b. Pengelasan berurutan (*sequence weld*)

Mengelas sambungan yang panjang ada kecenderungan terjadi distorsi yang besar, untuk pencegahannya yaitu dengan melakukan teknik pengelasan berurutan (*sequence-weld*).

c. Derajat pengekangan

Menentukan seberapa besar tahanan untuk mempertahankan material tetap ada posisinya. Penggunaan penahan atau tanggem akan meminimalkan pergerakan atau pergeseran material pada proses pengelasan. Namun pada saat penahan dilepas akan terjadi perubahan deformasi yang relatif kecil karena akibat tegangan sisa.

d. Detail sambungan

Bentuk geometri sambungan lasan dan jenis sambungan mempengaruhi bentuk distorsi yang terjadi. Semakin merata

distribusi deposit logam lasan pada kampuh las akan semakin mengurangi timbulnya deformasi khususnya *angular distortion*.

#### **II.2.11. Pengurangan Tegangan Sisa**

Dalam pengelasan tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah pengelasan. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dikurangi dengan jalan mengurangi besarnya masukan panas dan banyaknya logam lasan yang dilaksanakan dengan memperkecil sudut alur dari kampuh dan memperkecil celah akar pada las tumpul. Dalam hal las tersebut, dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las dan penguat. Karena penghalang luar juga menyebabkan terjadinya tegangan sisa, maka perlu dihindari terjadinya dengan menentukan urutan pengelasan yang baik.

Beberapa urutan pengelasan yang baik untuk menghindari terjadinya tegangan sisa, diantaranya :

- a. Arah pengelasan urutan maju
- b. Arah pengelasan urutan simetri
- c. Arah pengelasan urutan langkah mundur
- d. Arah pengelasan urutan loncat

#### **II.2.12. Pengujian Material**

##### **II.2.12.1. Dasar Teori Pengujian Makroesta (*Macro etch Test*)**

Pengujian makro ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan atau material. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Misalnya, logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk non-metal (bukan logam).

### II.2.12.2. Dasar Teori Pengujian Mikro

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Untuk melakukan pengujian mikro, maka diperlukan proses metalografi. Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan ada beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahapan yang harus dilalui adalah mounting, grinding, polishing, dan etching. Dari keempat proses tersebut, proses grinding dan polishing merupakan proses yang penting. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat teknologis sangat dipengaruhi oleh mikro struktur logam dan paduannya, disamping komposisi kimianya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji. Proses grinding dan polishing merupakan proses yang sangat penting untuk membuat permukaan sampel menjadi benar-benar halus agar dapat dilakukan pengujian. Pada proses ini biasa digunakan sebuah mesin poles yang memiliki komponen utama berupa motor penggerak, piringan logam, dan keran air. Pada pengujian kali ini digunakan sebuah motor penggerak berupa motor listrik yang akan berfungsi sebagai penggerak dua piringan logam.

Sebelum melakukan pengamatan struktur mikro dan makro, material uji (baja) harus melalui beberapa proses persiapan yang harus dilakukan, diantaranya :

1. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses pemotongan material merupakan suatu proses untuk mendapatkan material uji dengan cara mengurangi dimensi awal material uji menjadi dimensi yang lebih kecil. Pemotongan material uji ini bertujuan untuk mempermudah pengamatan struktur mikro material uji pada alat scanning. Proses pemotongan material uji dapat dilakukan dengan cara pematahan, penggergajian, pengguntingan, dan lain-lain.

## 2. Pembungkaiian (*Mounting*)

Proses pembungkaiian sering digunakan untuk material uji yang mempunyai dimensi yang lebih kecil. Dalam pemilihan media pembungkaiian haruslah sesuai dengan jenis material yang akan digunakan. Pembungkaiian haruslah memiliki kekarasan yang cukup dan tahan terhadap distorsi fisik akibat panas yang dihasilkan pada saat proses pengamplasan. Proses pembungkaiian ini bertujuan untuk mempermudah pengamplasan dan pemolesan.

## 3. Pengamplasan (*Grinding*)

Pengamplasan bertujuan untuk meratakan permukaan material uji setelah proses pemotongan material uji. Proses pengamplasan dibedakan atas pengamplasan kasar dan pengamplasan sedang. Pengamplasan kasar dilakukan sampai permukaan material uji benar-benar rata, sedangkan pengamplasan sedang dilakukan untuk mendapatkan permukaan material uji yang lebih halus. Pada saat melakukan proses pengamplasan material uji harus diberi cairan pendingin guna menghindari terjadinya *overheating* akibat panas yang ditimbulkan pada saat proses pengamplasan.

## 4. Pemolesan (*Polishing*)

Proses pemolesan bertujuan untuk menghasilkan permukaan material uji yang benar-benar rata dan sangat halus permukaannya hingga tampak mengkilap tanpa ada goresan sedikitpun pada material uji. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan serat kain yang diolesi larutan autosol metal polish.

## 5. Pengetsaaan (*Etching*)

Pengetsaaan bertujuan untuk memperlihatkan struktur mikro dari material uji dengan menggunakan mikroskop. Material uji yang akan di etsa harus bebas dari perubahan struktur



akibat deformasi serta dipoles secara teliti dan merata pada seluruh permukaan material uji yang akan diuji struktur mikronya.

### **II.2.13. Metode Elemen Hingga**

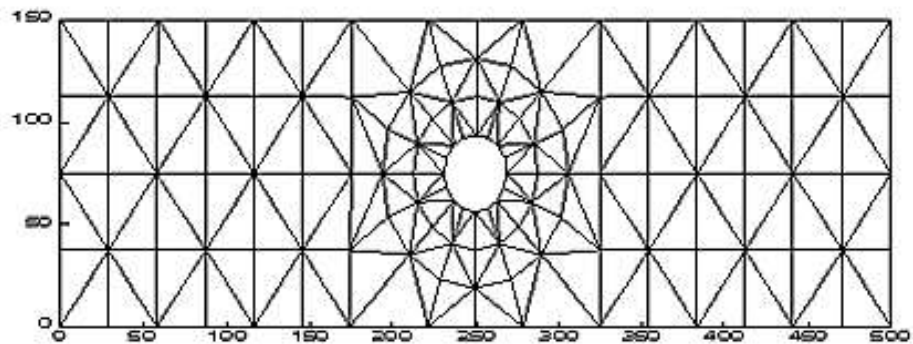
Metode elemen hingga merupakan salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah *structural*, *thermal*, dan elektromagnetik. Dapat dikatakan pula, metode elemen hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang rekayasa seperti geometri, pembebanan, dan sifat-sifat dari material yang sangat rumit. Hal ini sulit diselesaikan dengan solusi analisis matematis. Pendekatan metode elemen hingga menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Dalam proses penentuan titik simpul yang disebut dengan pendiskritan (*discretization*), suatu sistem dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi secara menyeluruh. Dalam metode ini seluruh masalah yang kompleks seperti variasi bentuk, kondisi batas, dan beban diselesaikan dengan metode pendekatan. Usaha pendiskritan ini dilakukan agar memudahkan dalam analisis karena adanya keterbatasan dalam analisis secara global.

Metode elemen hingga ini banyak digunakan karena hasil analisis sangat dekat atau hampir sama dengan struktur sebenarnya. Namun hasil dari metode elemen hingga ini bersifat numerik, bukan merupakan persamaan yang dapat diaplikasikan untuk berbagai kasus. Selain itu data-data yang dimasukkan cenderung banyak sehingga data output yang dijalankan oleh software pun lebih banyak.

Dalam tugas akhir ini, sambungan T akan dimodelkan menggunakan ANSYS. Dalam software ANSYS 16.2 dapat dilakukan pemodelan 2D ataupun 3D dengan elemen titik, elemen garis, elemen area, dan elemen solid. Semua jenis elemen ini dapat digabungkan untuk membentuk struktur yang akan dianalisis. Secara umum tahapan dalam perumusan metode elemen hingga sebagai berikut :

### Tahap I : Pendiskretan dan pemilihan jenis elemen

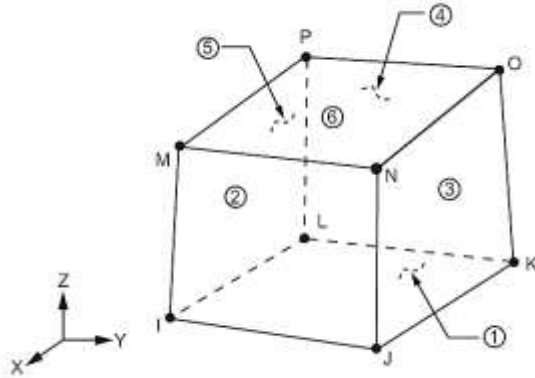
Tahap ini, pemilihan jenis elemen harus tepat sesuai dengan permasalahan yang ingin diselesaikan. Untuk mendapatkan pendekatan yang baik, ukuran *meshing* harus dapat mewakili kondisi struktur yang sebenarnya. *Meshing* untuk ukuran elemen kecil biasanya digunakan untuk analisis dengan kondisi yang mengalami perubahan drastis. Sedangkan untuk *meshing* ukuran elemen besar digunakan untuk analisis yang perubahannya cenderung konstan. Ukuran *meshing* tidak harus sekecil mungkin, karena membutuhkan kapasitas *hard disc* dan memori yang sangat besar. Dari ukuran *meshing* yang ada dipilih ukuran yang memberikan hasil rasio perubahan yang kecil dibanding dengan ukuran *meshing* yang lebih besar, seperti pada Gambar 2.21.



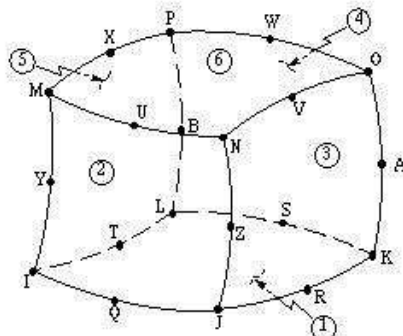
Gambar 2.21 Contoh pendiskritan plat berlubang

Jenis elemen yang digunakan pada analisis termal adalah SOLID70 dan SOLID90, seperti pada Gambar 2.22 dan Gambar 2.23. Elemen SOLID 70 memiliki delapan node dengan masing-masing node memiliki satu derajat kebebasan dan temperatur, seperti pada Gambar 2.24 dan Gambar 2.25. Elemen ini memiliki kemampuan menghantarkan panas sehingga dapat digunakan untuk analisis termal *transient* dan *steady-state*. Elemen SOLID70 dapat membentuk elemen dengan bentuk elemen prisma, tetrahedral, dan juga piramida. Elemen ini didefinisikan dengan delapan node dan ortotropik material properties. Untuk analisis *steady-state specific heat* dan massa jenis dapat diabaikan. Elemen yang memiliki kemampuan

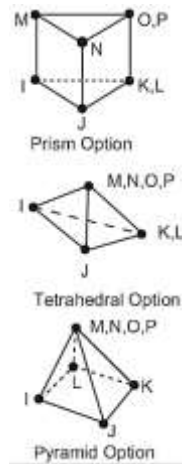
menghantarkan panas ini otomatis dapat juga digunakan untuk analisis struktural. Sedangkan elemen SOLID90 memiliki dua puluh node dengan masing-masing memiliki satu derajat kebebasan dan temperatur. Elemen SOLID90 dapat membentuk 3D, analisis *steady-state* atau *transient*. Elemen ini dapat membentuk elemen prisma, tetrahedral, dan piramid. Untuk analisis *steady-state*, *specific heat* dan massa jenis diabaikan. Ketika proses analisis termal menggunakan SOLID70 dan SOLID90 sudah selesai dilakukan, otomatis pada proses analisis struktural jenis elemen akan berubah menjadi SOLID 185 dan SOLID 186, seperti pada Gambar 2.26 dan Gambar 2.27.



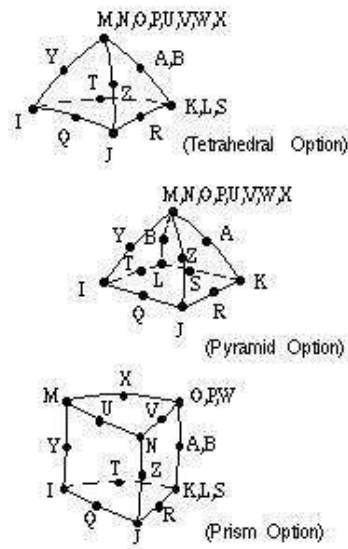
Gambar 2.22 Geometri Elemen SOLID70



Gambar 2.23 Geometri Elemen SOLID90



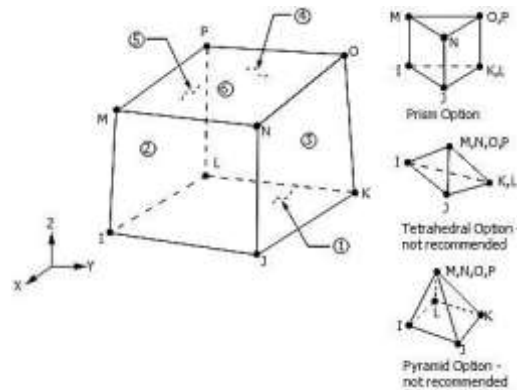
Gambar 2.24 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID70



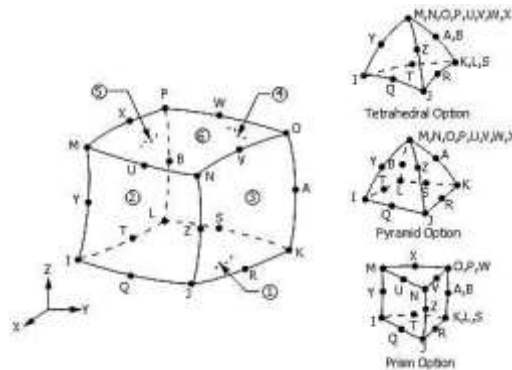
Gambar 2.25 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID90

Jenis elemen yang digunakan pada analisis struktural adalah SOLID185 dan SOLID186. Elemen SOLID185 memiliki delapan node dengan masing-masing node memiliki tiga derajat kebebasan. Elemen ini dapat bertranslasi ke arah sumbu x, y dan z. Elemen ini memiliki kemampuan berdefleksi dan meregang secara besar karena memiliki sifat plastis. Elemen SOLID185 dapat membentuk elemen dengan bentuk elemen prisma, tetrahedral dan degenerasi piramida bila digunakan di daerah-daerah yang tidak teratur. Elemen ini didefinisikan dengan delapan node dan ortotropik material propertis. Pada permukaan elemen dapat diberikan beban tekan. Sedangkan untuk elemen SOLID186, memiliki dua puluh node

dengan masing-masing node memiliki tiga derajat kebebasan. Elemen ini dapat bertranslasi ke arah sumbu x, y dan z. Jenis elemen ini untuk pemodelan *meshing* tidak teratur, seperti yang dihasilkan oleh berbagai sistem CAD/CAM. Elemen SOLID186 memiliki orientasi spasial apapun. Elemen ini juga memiliki kemampuan berdefleksi dan meregang secara besar karena memiliki sifat plastis. Elemen SOLID186 dapat membentuk elemen dengan bentuk elemen prisma, tetrahedral, dan piramid.



Gambar 2.26 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID 185



Gambar 2.27 Bentuk elemen yang dapat dibentuk SOLID186

Tahap II : Pemilihan fungsi *displacement*

Menentukan fungsi *displacement* yang didefinisikan pada tiap elemen dengan menggunakan nilai parameter simpul di tiap node elemen. Fungsi yang dipakai berupa polinomial, linear kuadratik, kubik atau deret trigonometri.

$$\{w\} = [N]\{u\} \tag{2.15}$$

Tahap III : Pendefinisian hubungan regangan-*displacement* dan tegangan-regangan.

Dapat ditentukan hubungan regangan akibat displasmen yang sudah ditentukan pada tahap sebelumnya. Hubungan tegangan-regangan nanti akan digunakan dalam proses penurunan persamaan untuk masing-masing elemen.

$$\sigma = D \varepsilon^{el} \quad (2.16)$$

dan

$$\varepsilon = \varepsilon^{el} + \varepsilon^{th} \quad (2.17)$$

dimana:

- $\varepsilon$  : regangan total
- $\varepsilon^{el}$  : regangan elastis
- $\varepsilon^{th}$  : regangan termal
- $D$  : kekakuan material

*Vector thermal strain* untuk isotropik medium dengan suhu yang tergantung pada koefisien ekspansi termal, dengan rumus:

$$\varepsilon^{th} = \Delta T \alpha(T) \quad (2.18)$$

$\Delta T$  adalah perbedaan antara *reference temperature* dengan *actual temperature*.

Tahap IV : Penentuan matriks kekakuan elemen dan persamaan elemen

Untuk menentukan matriks kekakuan dan persamaan elemen dapat digunakan metode keseimbangan langsung dan metode energi dengan menggunakan prinsip energi potensial minimum.

$$\delta U = \delta P \quad (2.19)$$

Dimana:

- $U$  : *internal strain energy (internal work)*
- $P$  : *external work*, seperti efek inersia
- $\delta$  : *virtual operator*

*Virtual strain energy* dapat ditulis:

$$\delta = \int [\delta \varepsilon]^T \{\sigma\} d\{V\} \quad (2.20)$$

Dimana,

$\varepsilon$  : vektor regangan

$\sigma$  : vektor tegangan

$V$  : volumen elemen

Substitusi persamaan (3.2) dan (3.3) untuk memperoleh  $\delta U$

$$\delta U = \int (\{\delta\varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon\} - \{\delta\varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon^{th}\}) dV \quad (2.21)$$

Strain yang dikaitkan dengan nodal displasmen :

$$\{\varepsilon\} = [B]\{u\} \quad (2.22)$$

Untuk displasmen konstan, energi regangan virtual adalah :

$$\delta U = \{\delta\varepsilon\}^T \int [B]^T [D] [B] dV \{u\} - \{\delta u\}^T \int [B]^T [D] \{\varepsilon^{th}\} dV \quad (2.23)$$

*External work* karena gaya inersia diformulasikan sebagai:

$$\delta P = - \int \{\delta w\}^T \{F^a\} dV \quad (2.24)$$

Dimana:

$w$  : vektor displasmen dari general point

$\{F^a\}$  : vektor *acceleration force*

Berdasarkan hukum gerak Newton II :

$$\{F^a\} = \rho \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} \{w\} \quad (2.25)$$

Jika *displacement* dengan elemen dihubungkan pada nodal *displacement* :

$$\{w\} = [N]\{u\} \quad (2.26)$$

Persamaan (3.20) dapat ditulis kembali menjadi:

$$\delta P = -\{\delta u\} \rho \int \{N\}^T [N] dV \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} \{u\} \quad (2.27)$$

Lalu substitusi persamaan (3.9) dengan persamaan (3.13) , menjadi:

$$\begin{aligned} & \{\delta\varepsilon\}^T \int [B]^T [D] [B] dV \{u\} - \{\delta u\}^T \int [B]^T [D] \{\varepsilon^{th}\} dV = \\ & -\{\delta u\} \rho \int \{N\}^T [N] dV \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} \{u\} \end{aligned} \quad (2.28)$$

$\{\delta u\}^T$  vektor adalah sebuah *displacement* umum yang sebenarnya, sebuah kondisi diperlukan untuk memenuhi persamaan displamen konstan dikurangi sampai :

$$[K_c] - \{F_c^{th}\} = [M_c]\{\ddot{u}\} \quad (2.29)$$

Dimana,

$$[K_c] = \int [B]^T [D] [B] dV \quad \rightarrow \text{Matriks kekakuan elemen} \quad (2.30)$$

$$\{F_c^{th}\} = \int [B]^T [D] [\varepsilon^{th}] dV \quad \rightarrow \text{Vektor beban termal elemen} \quad (2.31)$$

$$\{M_c\} = \rho \int [N]^T [N] dV \quad (2.32)$$

Tahap V : Penggabungan persamaan elemen dan penentuan kondisi batas

Pada tahap ini akan didapatkan matriks kekakuan global yang bersifat singular. Kondisi batas digunakan untuk menghilangkan singularitasnya. Matriks kekakuan global didapatkan dari menggabungkan persamaan elemen pada tahap empat menggunakan metode kekakuan langsung.

Tahap VI : Penyelesaian derajat kebebasan yang belum diketahui

Untuk mendapatkan besaran yang belum diketahui digunakan metode eliminasi (misal metode *Gauss*) atau metode iterasi (misal metode *Gauss-seidel*).

Tahap VII : Menentukan regangan dan tegangan elemen

Besaran yang didapat pada tahap enam (misal *displacement*) digunakan untuk menentukan regangan dan tegangan di elemen.

Tahap VIII : Interpretasi hasil

Hasil yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk grafis sehingga akan memepermudah pembacaan hasil.



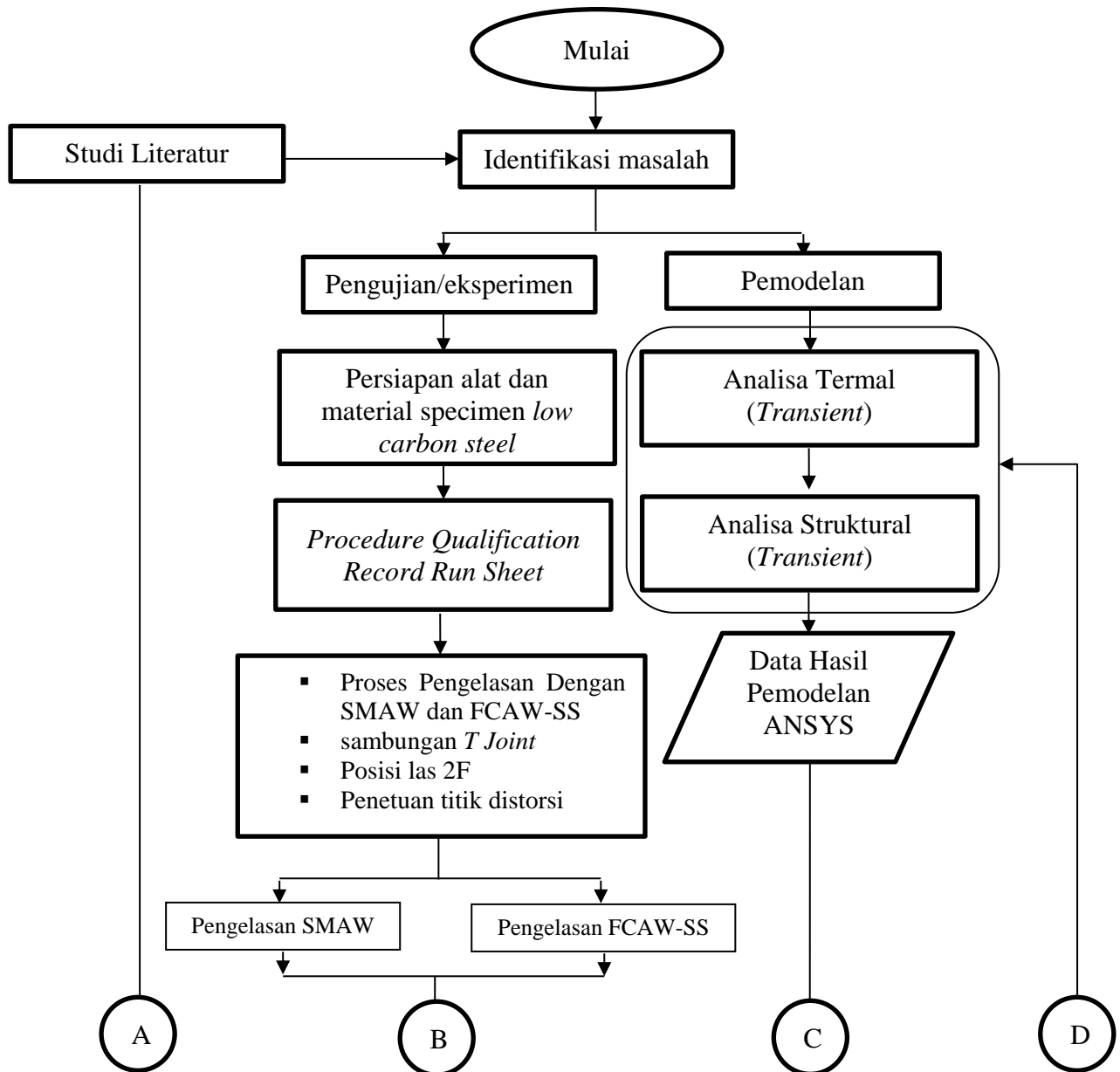
## **BAB III**

# **METODOLOGI PENELITIAN**

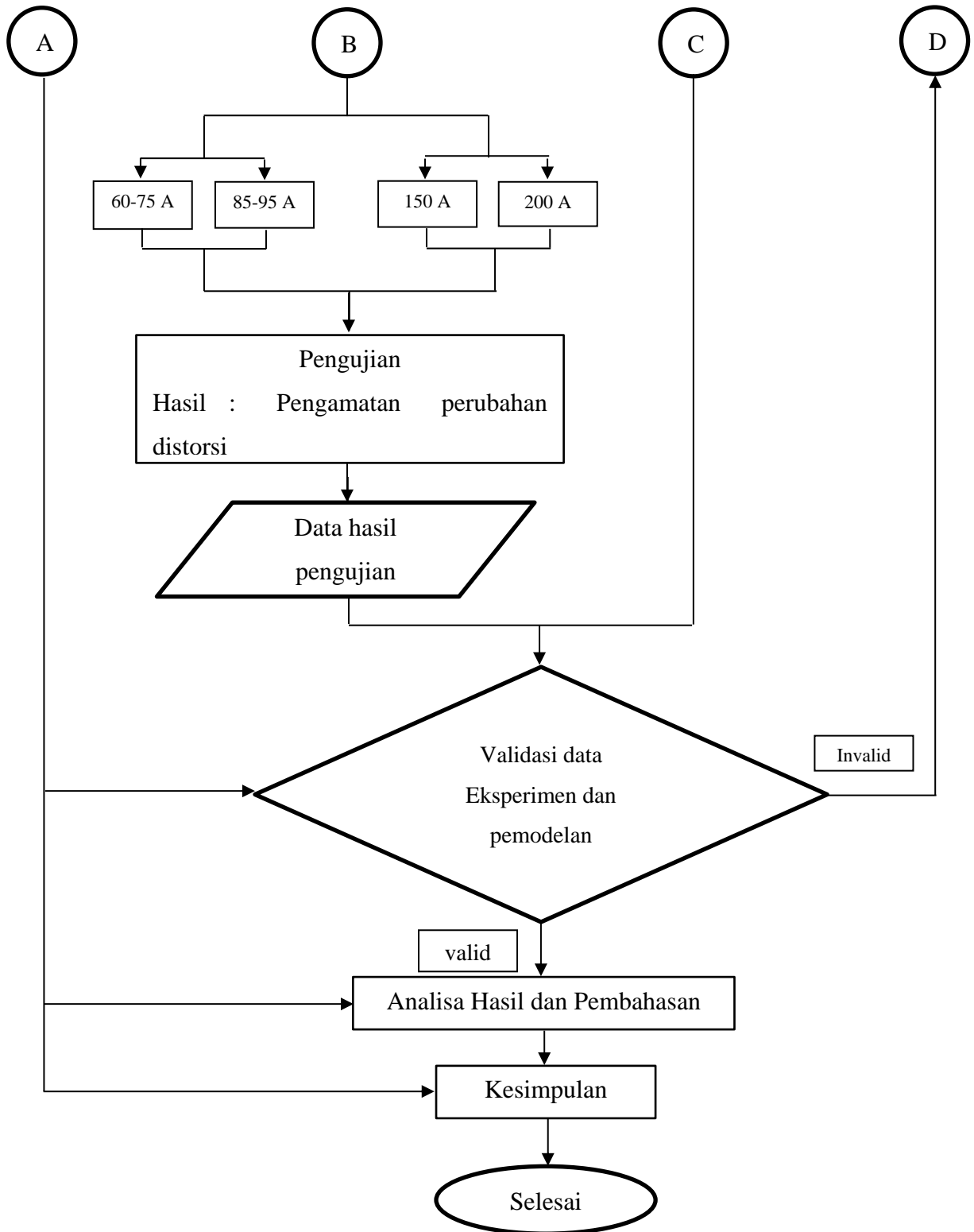
# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## III.1. Metode Penelitian

Untuk mempermudah evaluasi perkembangan penelitian untuk tugas akhir akan dibuat diagram pengerjaan/metodologi. Secara garis besar pengerjaan tugas akhir ini dapat dijelaskan dalam Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir



Gambar 3.2 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir (Lanjutan)

### III.2. Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 dapat dijelaskan sebagai berikut :

## 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui teori-teori dasar yang menunjang dalam penulisan penelitian tugas akhir dan sebagai acuan dalam menyusun semua hipotesa dan kesimpulan yang akan diambil. Studi literatur berfungsi sebagai bekal pengetahuan awal untuk menentukan arah pengerjaan penelitian tugas akhir ini. Dalam studi literatur ini digunakan pula untuk mencari data tentang material, prosedur pengelasan, dan pemodelan sambungan pengelasan pada pelat. Dalam teori-teori dan data-data yang akan digunakan dalam penelitian dan analisis, data tersebut diperoleh dari :

- Buku-buku tentang pengelasan dan efek distorsi yang ditimbulkan.
- Jurnal nasional dan internasional, skripsi, dan buku-buku relevan seperti Teknologi Pengelasan Logam, Petunjuk Kerja Las dan lain-lain.
- *Codes* atau standar yang berhubungan dengan penelitian ini.

## 2. Pengujian atau eksperimen

Percobaan yang dilakukan terdiri dari :

- Persiapan Material dan Alat

### a. Persiapan material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material jenis plat baja karbon rendah Grade S355J2+N sebanyak 4 set (1 set terdapat dua pelat).

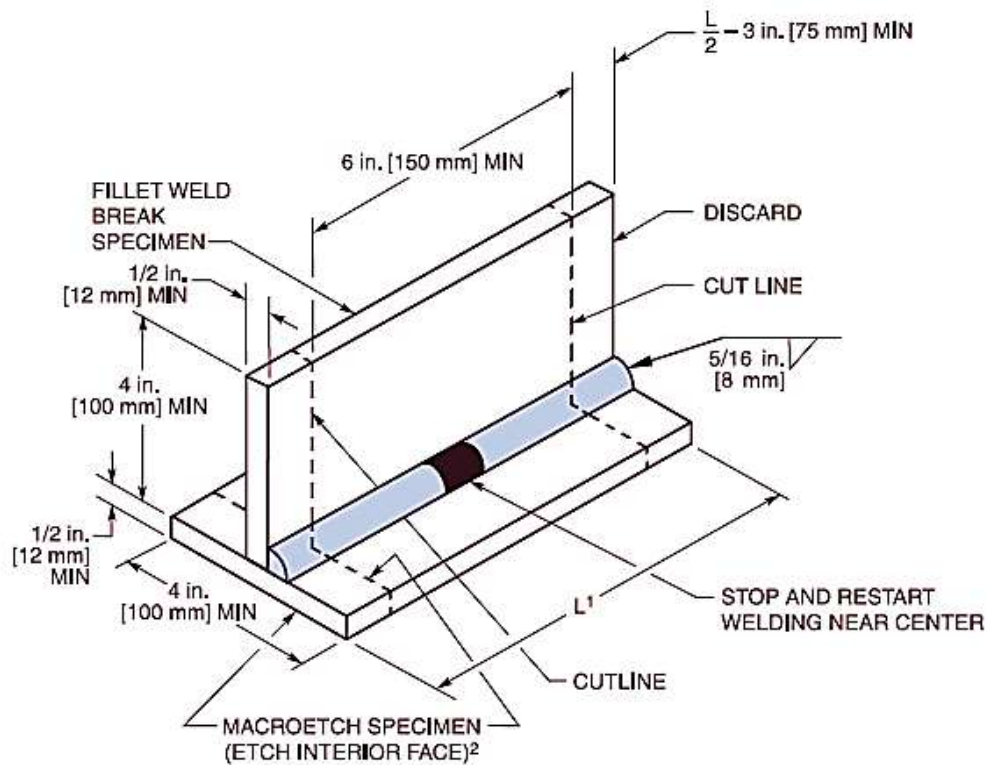
Spesifikasi material : 300 mm x 150 mm x 10 mm, seperti pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



Gambar 3.3 Material eksperimen

Jenis Pengelasan :

- SMAW
  - Tipe elektrode = elektroda A5.1 E7018
  - Diameter elektrode = 2,5 mm
  - Besar arus listrik = 60-100 Ampere
  - Kecepatan rata-rata = 60-70 mm/menit
- FCAW-SS
  - Tipe elektrode = elektrode A5.29 NR-440
  - Diameter elektrode = 2 mm
  - Besar arus listrik = 100-200 A
  - Kecepatan rata-rata = 60-70 mm/menit



Gambar 3.4 *Fillet Weld Break and Macroetch Test Plate—Welder or Welding Operator Qualification (AWS D1.1)*

b. Persiapan alat

Peralatan yang digunakan dalam pengelasan :

- Mesin Las

Jenis mesin las SMAW yang digunakan dalam percobaan ini adalah *Lincoln electric*, seperti pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Mesin las SMAW

Jenis mesin FCAW yang digunakan dalam percobaan ini adalah *Travo DC 400*.



Gambar 3.6 Mesin las FCAW

- Pemegang elektroda

Ujung yang tidak berselaput dari elektroda dijepit dengan pemegang elektroda, seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Welding Gun*

- *Workpiece Connection (Clamp)*

*Workpiece connection (clamp)* adalah alat penghubung antara base metal dengan *arc welding power source*, seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Workpiece Connection (Clamp)* pada material

- Mistar

Mistar digunakan untuk mengukur jarak masing-masing titik acuan distorsi yang diamati, seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Penggaris

- *Brush* (sikat)

Sikat las dipergunakan untuk membersihkan benda kerja yang akan dilas dan membersihkan terak las yang sudah lepas dari jalur las oleh pukulan palu las, seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Brush*

- Alat Gerinda

Alat gerinda berfungsi untuk menghaluskan benda kerja, seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Alat gerinda



- *Welding Gauge*  
*Welding Gauge* digunakan untuk memeriksa dan mengukur beda permukaan pada sambungan sudut (*fillet*) dan tinggi las (*capping*), seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 *Welding Gauge*

- *Clamp meter*  
Digunakan untuk mengetahui tegangan (V) dan kuat arus (I) yang digunakan pada saat pengelasan berlangsung, seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 *Clamp meter*

- *Wire feed speed meter*  
Digunakan untuk mengukur kecepatan kawat elektrode pada saat melakukan proses pengelesan, seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 *Wire feed speed meter*

- *Thermometer check material*

Digunakan untuk mengukur suhu atau temperatur material sesudah atau sebelum melakukan pengelasan, seperti pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 *Thermometer check material*

- Jangka sorong digital

Digunakan untuk mengukur suatu benda dengan tingkat ketelitian mencapai satu per seratus millimeter, seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Jangka sorong digital

- Elektrode SMAW

Kawat elektrode berselaput (fluks). Fungsi fluks pada pengelasan ini adalah membentuk slag diatas hasil lasan yang berfungsi sebagai pelindung hasil lasan dari udara (Oksigen, hidrogen, dsb) selama proses las berlangsung, seperti pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Elektrode E7018

- *Welding Gun* FCAW

Digunakan sebagi alat penyalur gas buang dan kawat *wire* pada benda kerja.Serta sebagai penghantar massa, seperti pada Gambar 3.18



Gambar 3.18 *Gun FCAW*

- Palu Las

Palu Ias digunakan untuk melepaskan dan mengeluarkan terak las pada jalur Ias dengan jalan memukul-kan atau menggosreskan pada daerah las, seperti pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Palu las

- Spidol

Digunakan untuk penanda keterangan pada material, seperti pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Spidol

- *Stopwatch*

Alat yang digunakan untuk mengukur lamanya waktu yang diperlukan dalam proses pengelasan.

### 3. Proses Pengelasan

Prosedur pengelasan mengacu pada WPS prosedur pengelasan material baja. Adapun spesifikasi prosedur pengelasan (WPS) sebagai berikut :

#### a. Pengelasan SMAW

Welder : Maidin (Welder Profab Indonesia)  
 Proses Pengelasan : SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)  
 Desain Sambungan : T Joint  
 Kampuh : Fillet  
 Material : *Low Carbon Steel S355J2+N*  
 Elektroda : E7018-1- H4R  $\phi$  2,5  
 Dimensi : 300 mm x 150 mm x 10 mm  
 Posisi : 2F

Tabel 3.1 Parameter pengelasan SMAW

#### Welding Procedure

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Filler	SMAW	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	87	19
Capping	SMAW	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	87	19
Capping	SMAW	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	87	19

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Filler	SMAW	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	96	21
Capping	SMAW	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	97	22
Capping	SMAW	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	97	22

b. Pengelasan FCAW-SS

Welder : Maidin (Welder Profab Indonesia)  
 Proses Pengelasan : FCAW-SS ( *Self Shielded Flux*

*Cored Arc Welding*

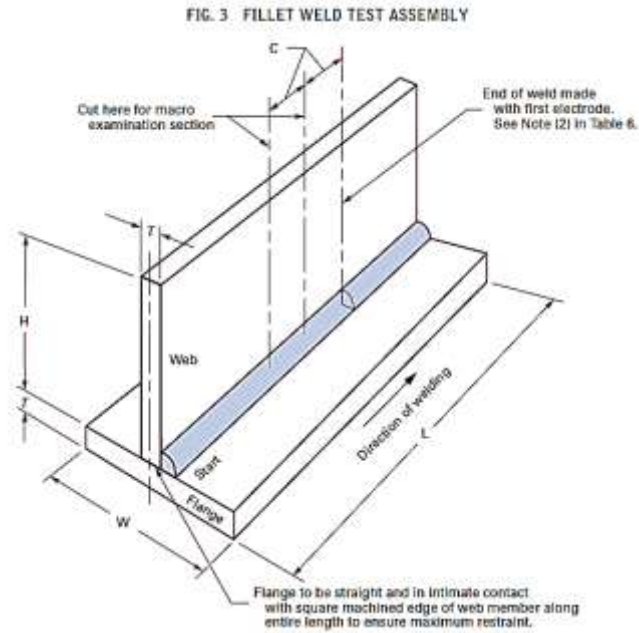
Desain Sambungan : T Joint  
 Kampuh : Fillet  
 Material : *Low Carbon Steel* S355J2+N  
 Elektroda : E71T8-Ni2-JH  
 Dimensi : 300 mm x 150 mm x 10 mm  
 Posisi : 2F

Tabel 3.2 Parameter pengelasan FCAW SS

*Welding Procedure*

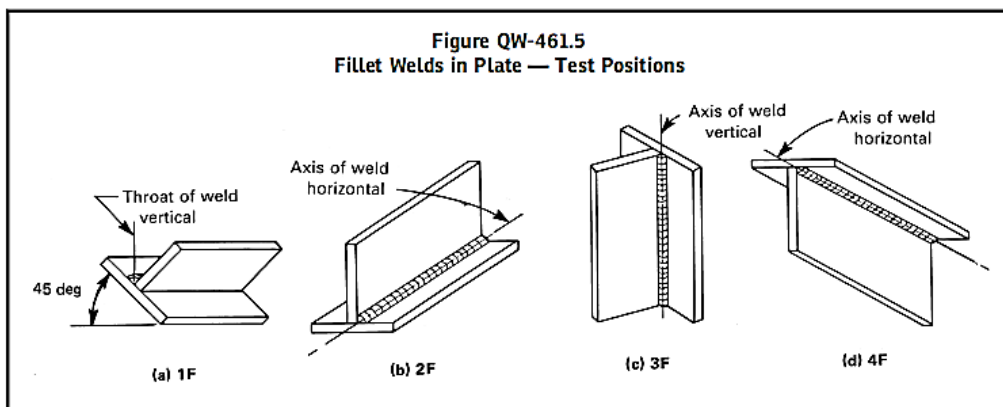
Weld Pass	Process	Electrode		<i>Current Type and Polarity</i>	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Filler	FCAW	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	130	22,8
Capping	FCAW	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	131	22,4
Capping	FCAW	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	144	22,9

Weld Pass	Process	Electrode		<i>Current Type and Polarity</i>	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Filler	FCAW	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	165	29,4
Capping	FCAW	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	166	29,2
Capping	FCAW	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	163	28,9

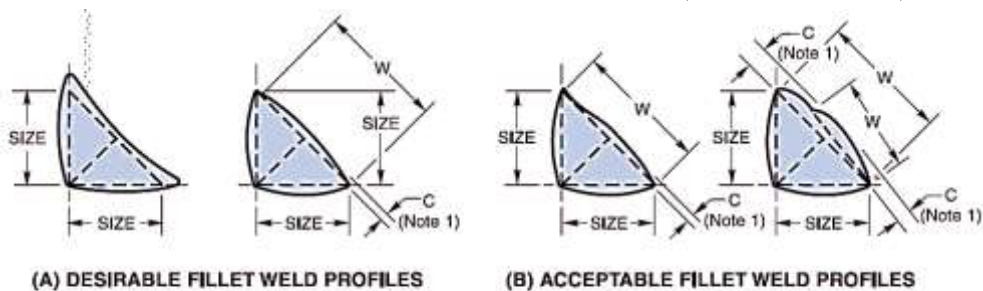


Gambar 3.21 *Fillet Weld Test Assembly* (ASME IIC, 2013)

2013 SECTION IX



Gambar 3.22 *Fillet Welds in Plate – Test Positions* (ASME IX, 2013)



Note 1. Convexity, C, of a weld or individual surface bead with dimension W shall not exceed the value of the following table:

Copyright American Welding Society 5.4—Acceptable and Unacceptable Weld Profiles (see 5.24 [pg. 190])  
 Provided by IHS under license with AWS  
 Licensee-Aramco HQ9980755100  
 No reproduction or reworking permitted without license from IHS  
 27/pt Not for Resale, 01/08/2006 05:12:02 MST

Gambar 3.23 *Acceptable Weld Profiles – AWS D1.1*

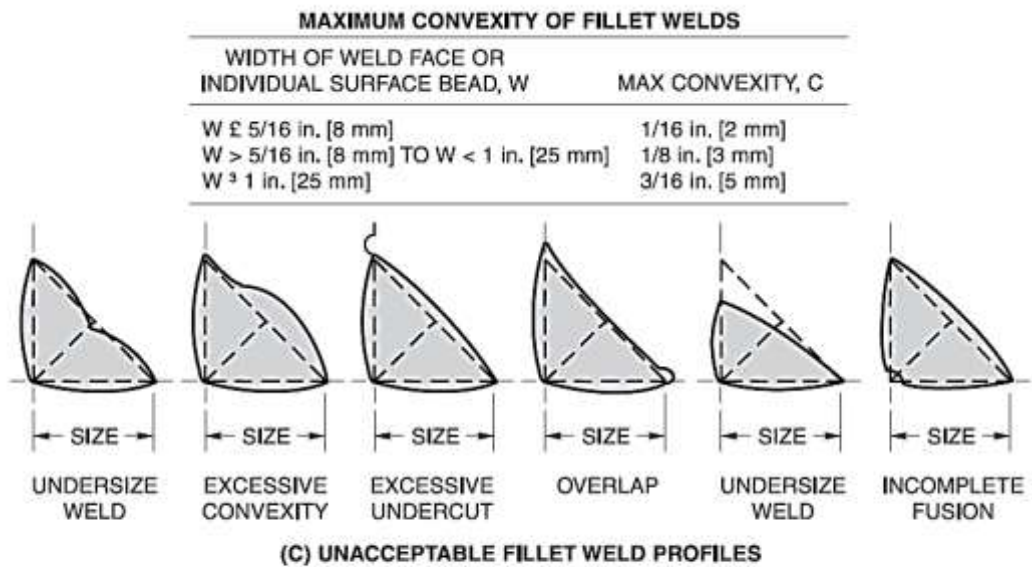


Figure 5.4 (Cont'd)—Acceptable and Unacceptable Weld Profiles (see 5.24 [pg. 190])

Copyright American Welding Society  
 Provided by IHS under license with AWS  
 No reproduction or networking permitted without license from IHS

28/p1 Licensee=Aramco HQ9980755100  
 Not for Resale, 01/09/2006 05:12:02 MST

Gambar 3.24 Unacceptable Weld Profiles – AWS D1.1

**Table 5.8**  
**Minimum Fillet Weld Size (see 5.14 [pg. 183])**

Base Metal Thickness (T) <sup>1</sup>		Minimum Size of Fillet Weld <sup>2</sup>	
in.	mm	in.	mm
T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 (Note 3)	3 (Note 3)
1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5
1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6
3/4 < T	20 < T	5/16	8

Notes:

1. For non-low-hydrogen processes without preheat calculated in accordance with 3.5.2, T equals thickness of the thicker part joined; single-pass welds shall be used.  
 For non-low-hydrogen processes using procedures established to prevent cracking in accordance with 3.5.2 and for low-hydrogen processes, T equals thickness of the thinner part joined; single-pass requirement does not apply.
2. Except that the weld size need not exceed the thickness of the thinner part joined.
3. Minimum size for cyclically loaded structures is 3/16 in. [5 mm].

Copyright American Welding Society  
 Provided by IHS under license with AWS  
 No reproduction or networking permitted without license from IHS

30/p1 Licensee=Aramco HQ9980755100  
 Not for Resale, 01/09/2006 05:12:02 MST

Gambar 3.25 Minimum Fillet Weld Size – AWS D1.1

4. Proses penyambungan material dengan pengelasan SMAW dan FCAW SS
  - Untuk *heat input* ada 2 variasi variabel, untuk proses pengelasan SMAW 60 – 75 A dan 85 – 95 A, sedangkan



untuk FCAW-SS sebesar 150 A dan 200 A. Jadi penelitian dilakukan sebanyak 4 kali sesuai variasi variabel *heat input* pada masing-masing proses pengelasan SMAW sebanyak 2 kali dan pengelasan FCAW-SS sebanyak 2 kali.

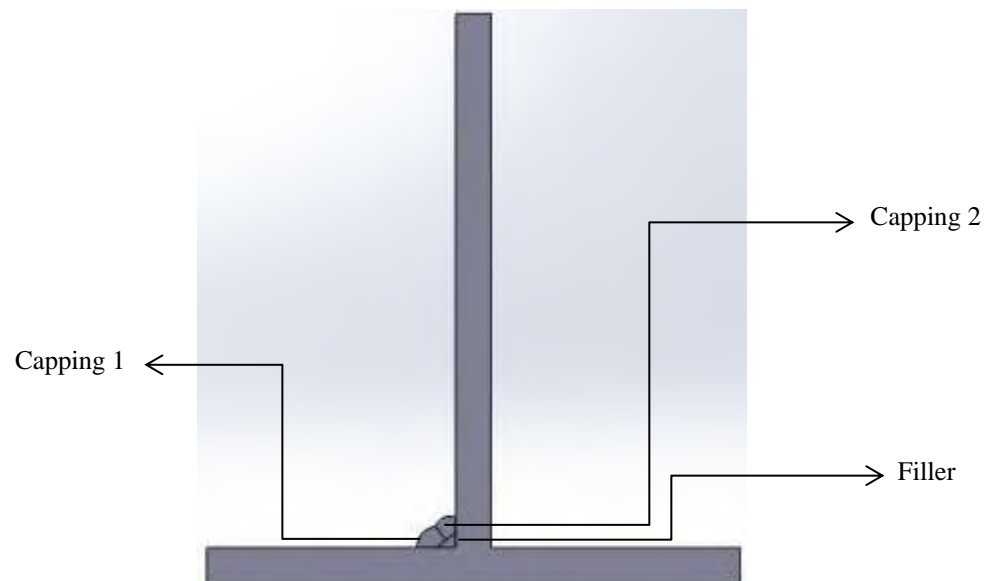
- Menghitung data awal plat sebelum dilakukan pengelasan, dan memastikan meja kerja rata dengan plat.
- Proses pengelasan diawali dengan pemberian *tack weld* pada Gambar 3.26 dan pelat-punggung (*backing bar*) pada Gambar 3.27, karena pengelasan hanya dilakukan satu sisi dimana sisi tegak sebagai penegar agar tidak terjadi perubahan distorsi pada sisi tegak.
- Setelah dilakukan pemberian *tack weld* dan pelat-punggung (*backing bar*), plat diberi tanda pada bagian tertentu yang akan dihitung perubahan *angular distortion* (distorsi sudut) seperti Gambar 3.29.
- Perhitungan kecepatan pengelasan pada tiap layer dilakukan pada saat proses pengelasan dimulai, serta menghitung perubahan distorsi sudut, menggunakan 4 layer pada penelitian ini, yaitu :
  - Pengelasan layer ke 1 (*filler*)  
Pada saat dilakukan pengelasan sampai selesai dihitung kecepatan pengelasan.
  - Pengelasan layer ke 2 (*capping*)  
Pada saat dilakukan pengelasan sampai selesai dihitung kecepatan pengelasan.
  - Pengelasan layer ke 3 (*capping*)  
Pada saat dilakukan pengelasan sampai selesai dihitung kecepatan pengelasan, dan menghitung perubahan efek distorsi tiap tanda titik plat yang sudah ada sebelum dilakukan pengelasan.



Gambar 3.26 Pemberian *tack weld* pada material uji



Gambar 3.27 Pemberian pelat-punggung (backing bar) pada material uji



Gambar 3.28 Sketsa Layer Pengelasan Plat *Low Carbon Steel*



Gambar 3.29 Proses Penandaan Plat dengan Memberi Titik-titik Pada Plat yang Akan Dihitung Perubahan Distorsi (sumber: dok.pribadi)



Gambar 3.30 Hasil pengelasan pada pelat yang diberi titik untuk menghitung perubahan distorsi (sumber: dok.pribadi)

5. Uji *macro etch examination photography*

- Dari hasil pengelasan kemudian dilakukan pengukuran distorsi dan besar *heat input* dengan menggunakan uji *macro etch examination photography* di laboratorium Biro Klasifikasi Indonesia, Batam.
- Material hasil pengelasan akan dipotong menjadi spesimen dengan ukuran yang sesuai ASME IIC, 2013.
- Selanjutnya memberikan tanda pada bagian yang akan dipotong seperti pada Gambar 3.31 dan letakkan material di atas alat mesin pemotongan seperti pada Gambar 3.32.



Gambar 3.31 Penandaan material yang akan dipotong menjadi spesimen uji



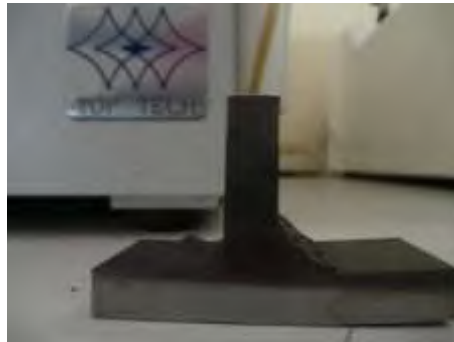
Gambar 3.32 Proses pemotongan material

- Material yang sudah dipotong kemudian diratakan agar tidak terjadi perbedaan tinggi permukaan akibat pemotongan material, seperti pada gambar 3.33.



Gambar 3.33 Proses *millin* pada material

- Selanjutnya material akan dilakukan pengamplasan (*grinding*) sampai pada kehalusan tertentu dengan menggunakan kertas gosok dengan nilai grid (kekasaran) 240, 600, dan 1000, serta melakukan pemolesan (*polishing*).



Gambar 3.34 Hasil spesimen setelah proses *grinding*

- Spesimen akan dioleskan cairan niral 5%, dimana terdiri dari nitrik 5% dan metanol 95%. Tujuan dari pengolesan dimana disebut pengetsaan (*etching*) adalah untuk memperlihatkan struktur mikro dari material uji dengan menggunakan mikroskop. Pada pengamatan kali ini dilakukan pada tiga lokasi tiap spesimen yaitu base metal, HAZ, dan *weld metal*, seperti pada Gambar 3.35.



Gambar 3.35 Hasil spesimen makroesta (*Macro etch Test*)

#### 6. Pengukuran Distorsi

Setelah proses pengelasan selesai, dilakukan pengukuran distorsi pada masing – masing spesimen. Peralatan yang dibutuhkan dalam pengukuran distorsi adalah kaca dan penggaris (Gambar 3.36).

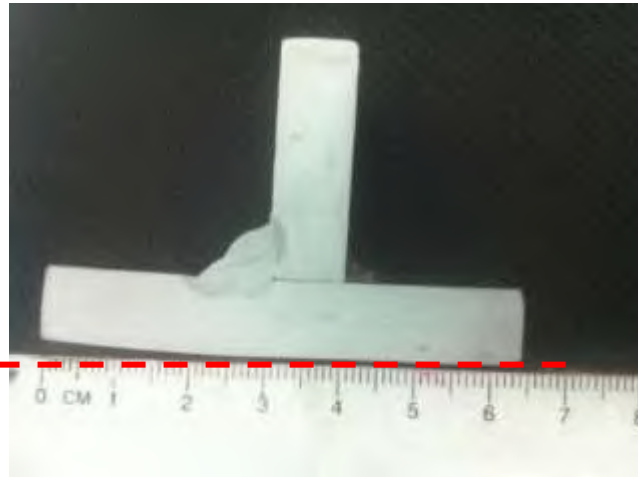
Langkah pengukuran distorsi adalah sebagai berikut :

- Spesimen terlebih dahulu diberi batas daerah yang akan diukur distorsinya (atas, tengah dan bawah).
- Meletakkan penggaris dan spesimen pada kaca (Gambar 3.36).



Gambar 3.36 Perletakkan spesimen uji diatas kaca untuk pengukuran distorsi (sumber: dok.pribadi)

- Lakukan pengukuran dengan penggaris sudut sebagai pengganti alat *welding gauge* untuk mengukur perubahan sudut yang terjadi.
- Membaca nilai sesuai yang ditunjukkan pada penggaris sudut. Lakukan hal yang sama pada material lainnya, seperti pada Gambar 3.37.



Gambar 3.37 Hasil Pengelasan dan Perubahan Distorsi pada *macro etch examination photography* (sumber: dok.pribadi)

## 5. Hasil Pengujian

Hasil pengujian diperoleh data perubahan distorsi terhadap waktu yang terjadi akibat pengelasan pelat dengan variasi *heat input* melalui proses pengelasan SMAW dan FCAW-SS.

## 6. Pembuatan Model Dan Analisis Model Menggunakan *Software ANSYS 16.2*

Simulasi pengelasan ini menggunakan bantuan *software ANSYS 16.2*. Pertama yang harus dilakukan adalah pembuatan model yang akan digunakan untuk analisis. Model yang sudah jadi kemudian dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang seragam agar akurasi perhitungan lebih baik. Secara umum langkah-langkah yang harus dilakukan sebagai berikut :

### 6.1 *Material properties*

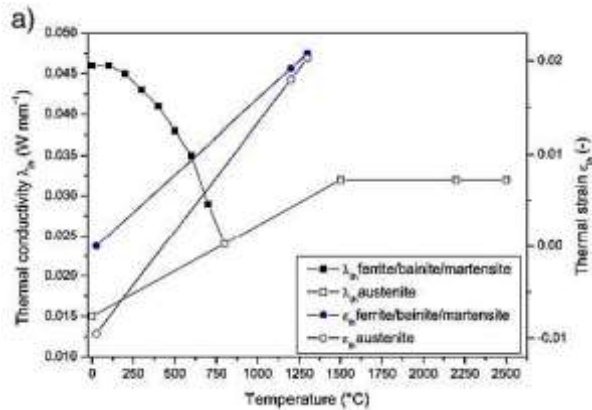
Pada tugas akhir ini material yang digunakan untuk pemodelan adalah pelat S355J2+N dan elektrode E7018-1-H4R. Dimana masing-masing material tersebut memiliki *material properties* sebagai berikut, seperti pada Gambar 3.38, Gambar 3.39, Gambar 3.40, dan Gambar 3.41.

- *Mechanical Properties*

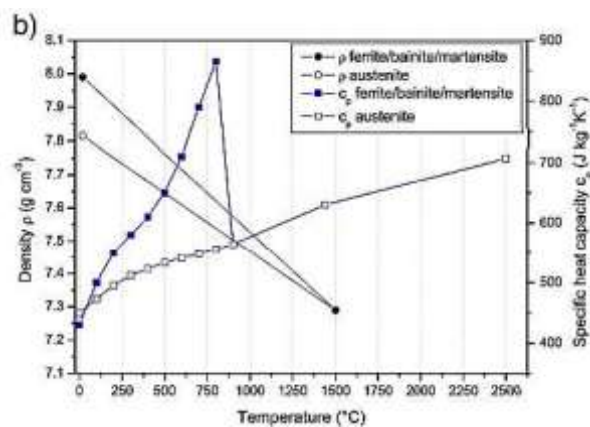
Tabel 3.3 Data material Properties S355J2+N pada temperatur ruangan

Type Material	Ultimate Tensile Strength	Yield Strength	Elongation
	Mpa (N/mm <sup>2</sup> )	Mpa (N/mm <sup>2</sup> )	%
S355J2+N	574	466	26

- *Thermal Properties S355J2+N*

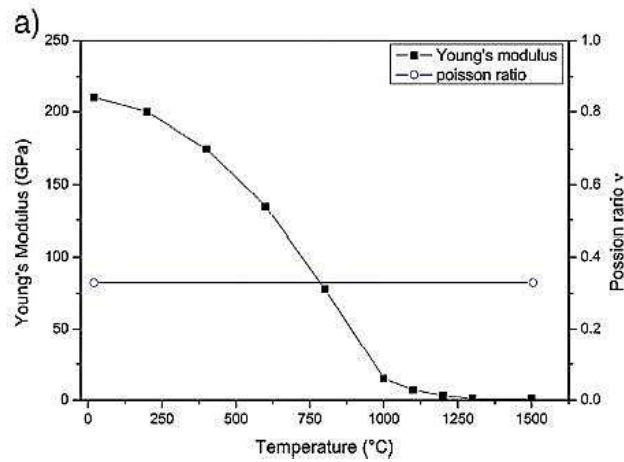


Gambar 3.38 Grafik *thermal conductivity* dan *thermal strain* (SYSWELD material database)

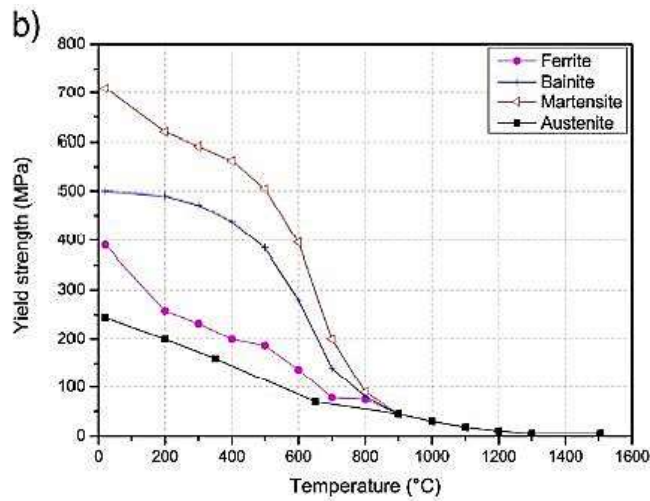


Gambar 3.39 Grafik *density* dan *specific heat capacity* (SYSWELD material database)





Gambar 3.40 Grafik *Young's modulus* dan *Poisson's ratio* (SYSWELD material database)



Gambar 3.41 Grafik *phase specific yield strength* (SYSWELD material database)

Properties material dari Gambar 3.38, Gambar 3.39, Gambar 3.40, dan Gambar 3.41 dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 *Thermal Propeties Material S355J2+N*

Temperature	Temperature	Density	Thermal Conductivity	Thermal Expansion Coefficient	Specific Heat	Young's Modulus	Possion's Ratio	Yield Strength
°C	K	kg/m <sup>3</sup>	W/m <sup>2</sup> K	1/°C x 10 <sup>-6</sup>	J/kg.K	P (N/m <sup>2</sup> )		Pa
0	273,15	7990	46,0	1,40,E-05	430	2,10,E+11	0,365	3,9,E+08
125	398,15	7940	45,8	1,42,E-05	515	2,05,E+11	0,365	3,2,E+08
250	523,15	7880	44,1	1,60,E-05	564	1,94,E+11	0,365	2,4,E+08
375	648,15	7820	41,7	1,66,E-05	600	1,78,E+11	0,365	2,1,E+08
500	773,15	7760	38,0	1,80,E-05	650	1,55,E+11	0,365	1,9,E+08

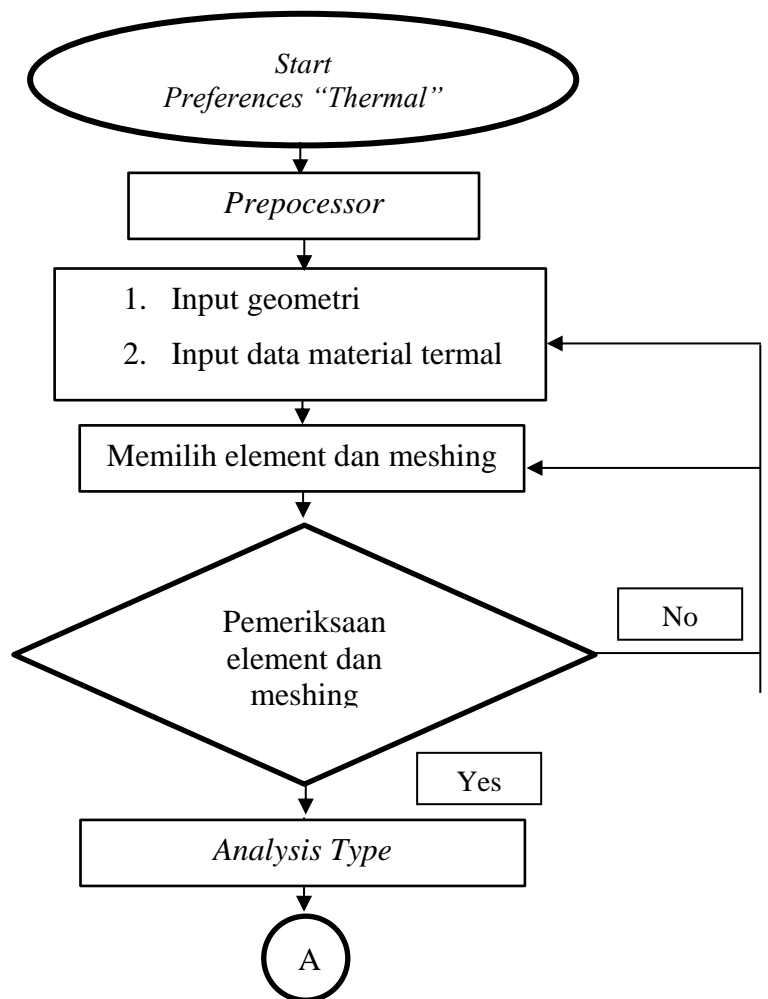
## 6.2 Pemodelan Pembebanannya

Pemodelan pengelasan *fillet* ini dilakukan dua macam pemodelan. Pemodelan yang pertama adalah pemodelan distribusi panas pada pengelasan yang digunakan untuk mengetahui distribusi temperatur. Sedangkan pemodelan yang kedua adalah pemodelan struktur yang digunakan untuk mengetahui besarnya distorsi.

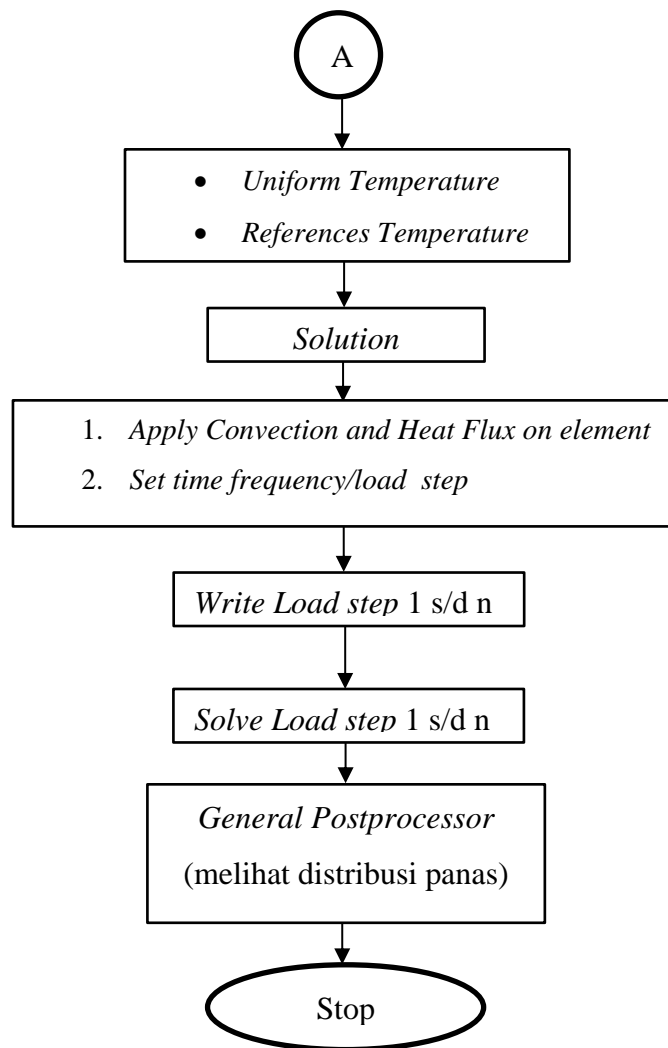
### 6.3 Pemodelan Distribusi Panas

#### 6.3.1 Bgan Alir Pemodelan Panas

Untuk melakukan analisis panas ada beberapa tahapan yang harus dilakukan. Secara garis besar akan dapat dilihat pada Gambar 3.42 dan Gambar 3.43 Diagram alir Pemodelan Analisis *Thermal*.



Gambar 3.42 Diagram alir Pemodelan Analisis *Thermal*



Gambar 3.43 Diagram alir Pemodelan Analisis *Thermal* (lanjutan)

### 6.3.2 Keterangan Pemodelan

#### 6.3.2.1 *Start Select Preference*

Untuk memulai pemodelan, langkah pertama yaitu memilih bidang ilmu untuk menyelesaikan masalah dan pemodelan. Untuk masalah pengelasan, perlu memilih *thermal* dan *structural* pada *references* agar dapat memberikan beban panas pada model. Perintah yang digunakan adalah *Preferences > Thermal* dan *Structural > OK*.



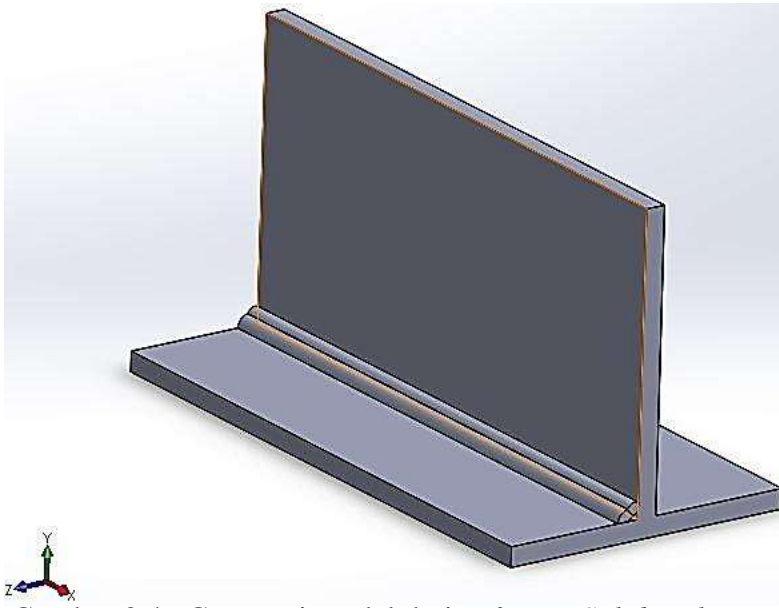
Gambar 3.44 *Select Preferences*

### 6.3.2.2 Pembuatan Geometri

Geometri pada model dilakukan dengan sistem *down to up*, dimana geometri dibuat mulai dari titik, garis, luasan, kemudian dibentuk bangun 3D yang memiliki volume. Namun ada yang menggunakan langsung luasan kemudian dibentuk bangun 3 dimensi. Pada pemodelan yang digunakan untuk tugas akhir, penulis menggunakan pemodelan *Solidworks*. Perintah yang digunakan adalah *File > Import > PARA*. (jenis file *save.as* dari *solidworks*) > OK.



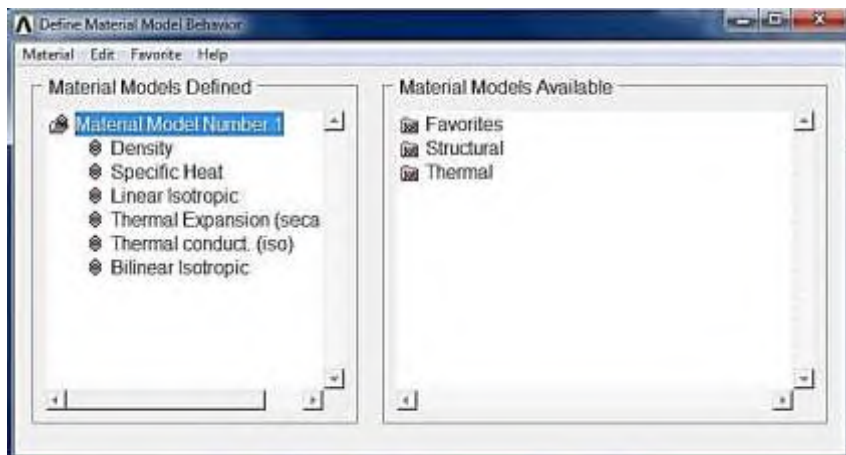
Gambar 3.45 *Import model*



Gambar 3.46 Geometri model dari *software Solidworks*

### 6.3.2.3 *Input Data Material Thermal*

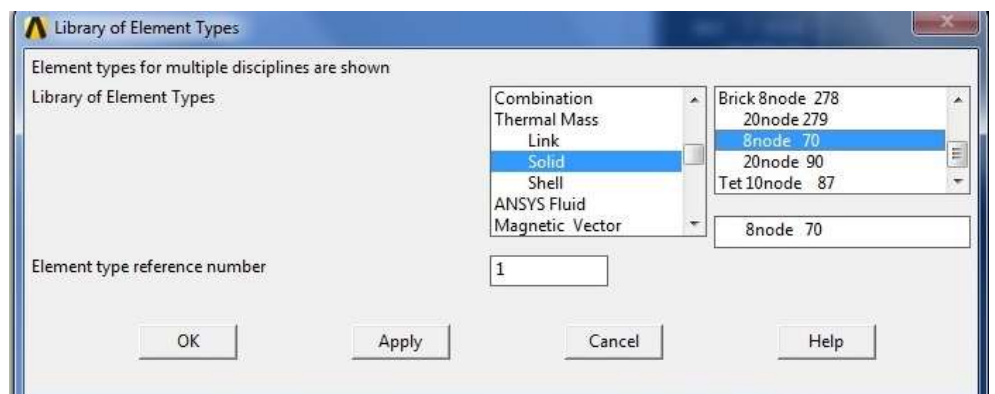
Geometri yang telah jadi harus diberi *data material properties* agar ketika program dijalankan memberikan hasil yang sesuai sifat material yang digunakan. *Material properties* yang dimasukkan dalam tahap ini cukup *properties* yang berhubungan dengan *thermal*. Perintah yang digunakan adalah *Preprocessor > Material Props > Material Models > Favorites > Thermal > Structural > OK*. Sesuaikan dengan *material properties* yang akan dimasukkan.



Gambar 3.47 *Input Material Properties*

#### 6.3.2.4 Pemilihan Elemen dan *Meshing*

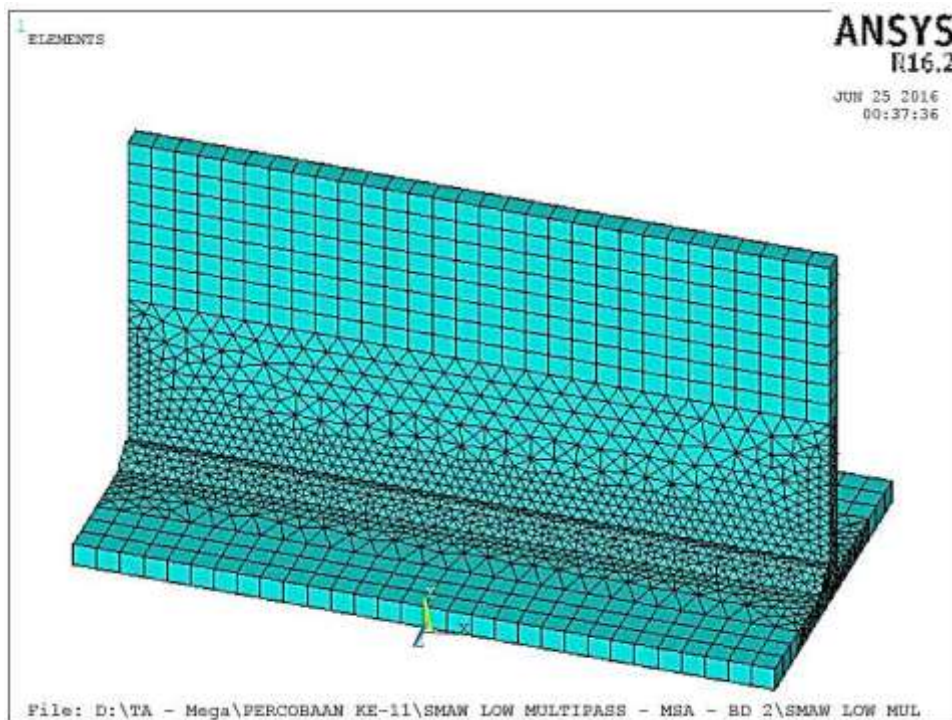
Dalam ANSYS semua model harus diberikan jenis elemen yang digunakan agar dapat dilakukan meshing. Elemen yang cocok digunakan untuk pemodelan adalah SOLID70 dan SOLID90. Perintah yang digunakan adalah *Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add > Thermal Mass > Solid > Brick 8 Node 278 > 8node 70 dan 20node 90 > OK*. Setelah elemen yang sesuai ditentukan, maka meshing dapat dilakukan. Meshing dilakukan dengan meshing menyeluruh, dengan perintah *Preprocessor > Meshing > Mesh Tool > Element Attribute : Volume > Set > Pick All > SOLID70 > OK* dan *Preprocessor > Meshing > Mesh Tool > Element Attribute : Volume > Set > masukan volume number > SOLID90 > OK*. Selanjutnya untuk elemen SOLID90 gunakan perintah *Preprocessor > Meshing > Mesh Tool > Mesh > masukan number volume > Mesh* dan untuk elemen SOLID70 gunakan perintah *Preprocessor > Meshing > Mesh Tool > Mesh > masukan number volume > Hex > Sweep > Sweep > Pick all*. Meshing dapat dilakukan berulang-ulang hingga diperoleh meshing yang bagus dan akurat.



Gambar 3.48 Pemilihan *Element*



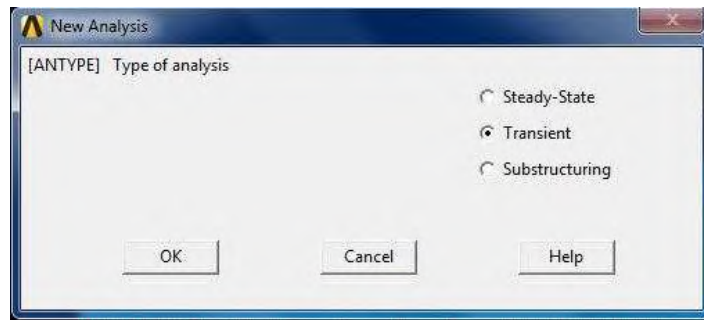
Gambar 3.49 Melakukan *Meshing*



Gambar 3.50 Hasil *Meshing*

### 6.3.2.5 Pemilihan Tipe Analisis

Dalam pemilihan beban, pemodelan menggunakan pembebanan *thermal* secara *transient*. Karena pengelasan merupakan fungsi lokasi (X,Y,Z) dan waktu (t). Dimana perintah yang digunakan yaitu *Solution > New Analysis > Transient*.



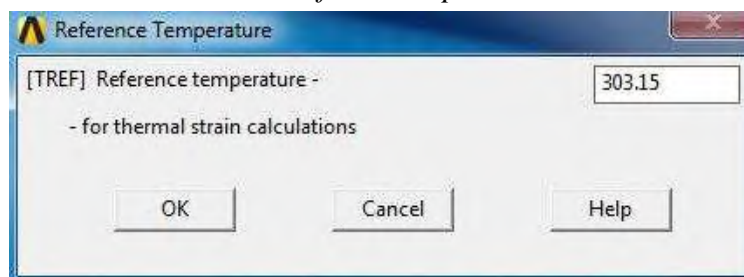
Gambar 3.51 Pemilihan Pembebanan

### 6.3.2.6 Penentuan *Uniform Temperature* dan *Reference Temperature*

Dalam hal ini menentukan referensi temperatur yang digunakan. Dalam penelitian ini referensi temperatur dan temperatur sejenis pada suhu ruangan, yaitu 303,15 K. Perintah yang digunakan adalah *Solution > Define Loads > Settings > Uniform Temp* dan *Reference Temp*.



Gambar 3.52 *Uniform Temperature*

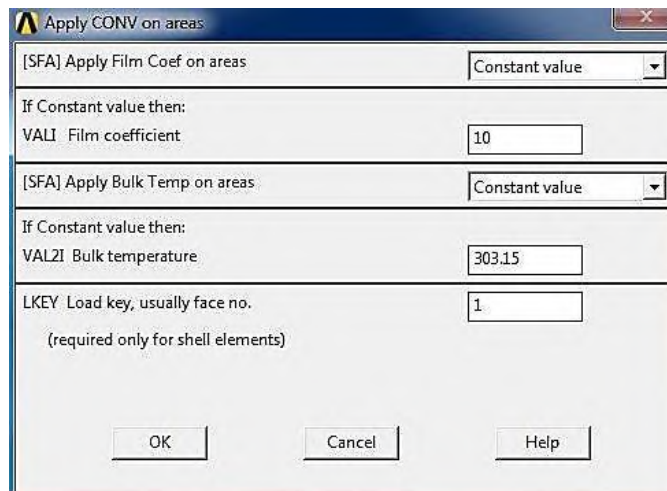


Gambar 3.53 *Reference Temperature*

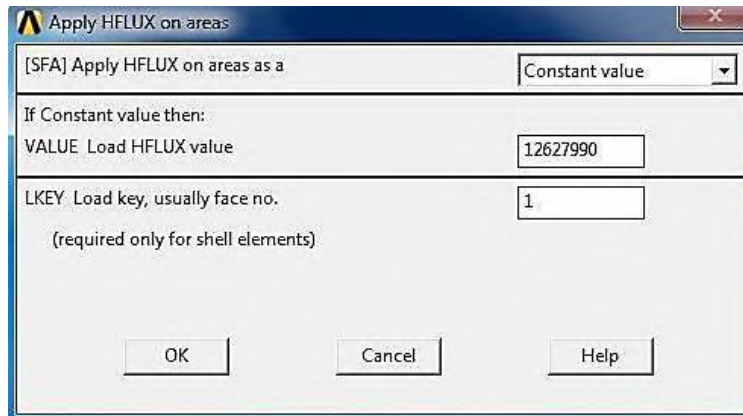


### 6.3.2.7 Pemberian Beban Thermal

Beban yang diberikan ada dua, yaitu *heat flux* dan konveksi. *Heat flux* merupakan beban yang mewakili beban pengelasan. Sedangkan konveksi merupakan kondisi batas yang diberikan karena material bersentuhan langsung dengan udara. Besar beban konveksi adalah 303.15 K (*Bulk Temperature*) dan 10 W/m<sup>2</sup>K (*Convective film coefficient*). *Heat flux* diberikan pada setiap elemen yang dilalui pada proses pengelasan. Karena beban berubah berdasarkan fungsi waktu, amaka digunakan beban transient. *Heat flux* diberikan dengan menggunakan fasilitas *load step* pada ANSYS. Pemberian beban konveksi dengan menggunakan perintah *Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Convection > Pick All*. Untuk pemberian beban *heat flux* dengan menggunakan perintah *Solution > Define Loads > Apply > Thermal > Heat Flux > On Area > pilih area yang akan diberikan beban *heat flux* > OK*.



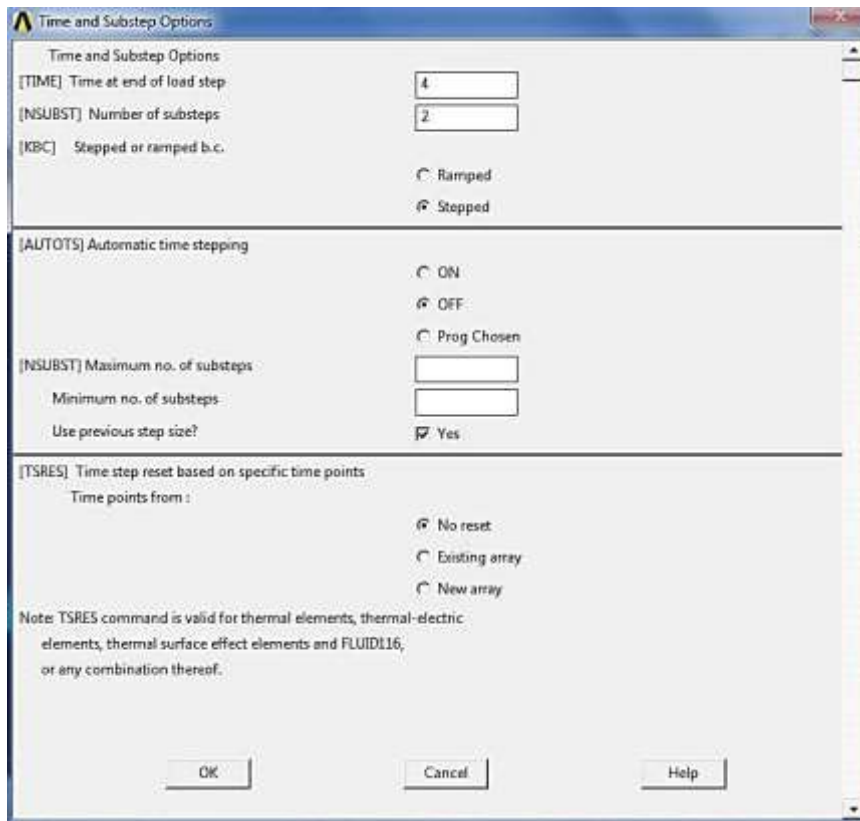
Gambar 3.54 Penentuan Beban Konveksi



Gambar 3.55 *Input heat flux*

#### 6.3.2.8 Penentuan *Time Step*

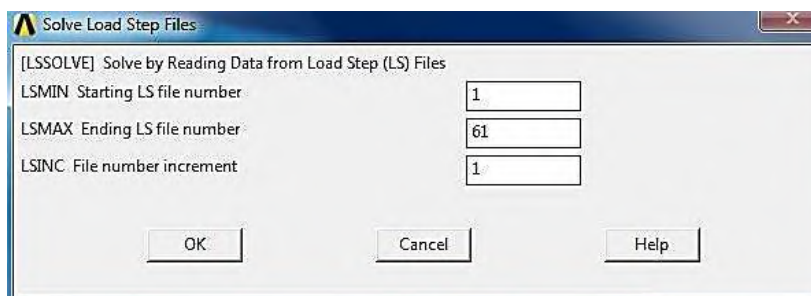
Model yang telah diberi beban *heatflux* selanjutnya diatur waktu pembebanannya, agar beban panas dapat berjalan sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Waktu dan langkah pembeban direncanakan ( 1 ~ n), dimana dari langkah ke-1 hingga ke-n waktu *increment*-nya (*time step*) ditentukan sesuai kebutuhan, untuk penelitian ini ditentukan masing – masing variasi pemodelan tiap detik di setiap langkah. Perintah yang digunakan adalah *Solution > Load Step Opts > Time/Frequence > Time and Substps.*



Gambar 3.56 Pengaturan *Time and Substeps (thermal)*

### 6.3.2.9 Penyelesaian Beban Thermal (*Solve Load*)

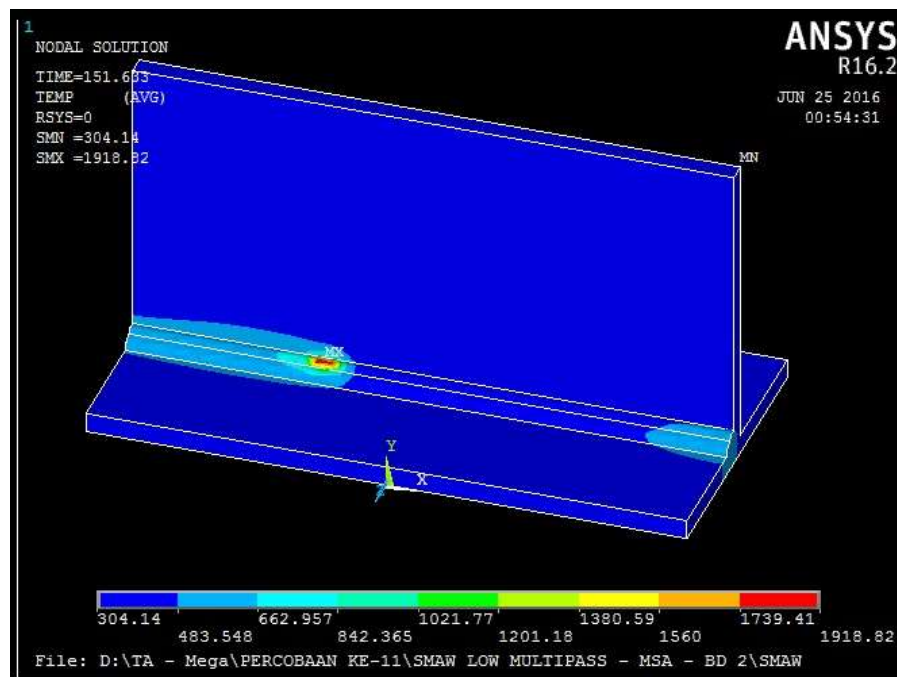
Selanjutnya menjalankan program untuk menyelesaikan hasil dari pembebanan (*solve load*). Karena pembebanan dilakukan dengan cara *load step*, maka *solve* dari pembebanan juga harus dilakukan dengan metode *load step* agar dari setiap *load step* terbaca oleh program. Jadi *solve* dilakukan mulai dari *load step* ke-1 hingga ke-n. Perintah yang digunakan adalah *Solution > Solve > From LS Files > Starting = 1, ending = 61 > OK*.



Gambar 3.57 *Solve Load step*

### 6.3.2.10 Melihat Hasil Pembebanan

Hasil yang diperoleh dari pembebanan *thermal* adalah distribusi panas yang terjadi pada material. Distribusi panas ini dapat dilihat berdasarkan fungsi waktu maupun berdasarkan letaknya. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan untuk validasi dengan hasil pengujian. Apabila hasil yang diperoleh sudah benar atau mendekati hasil pengujian, maka dilanjutkan pada proses selanjutnya. Namun apabila hasilnya masih kurang mendekati hasil pengujian, maka harus dilakukan cek ulang pada proses sebelumnya. Proses yang mungkin terjadi kesalahan adalah proses meshing dalam analisis *thermal* pada model yang kurang sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Perintah yang digunakan untuk melihat hasil pembebanan adalah *General Postproc > Result Viewer > Pilih Nodal Solution > DOF Solution > Temperature*.



Gambar 3.58 *Result Viewer* kontur *Temperature*



Gambar 3.59 *Result Viewer*



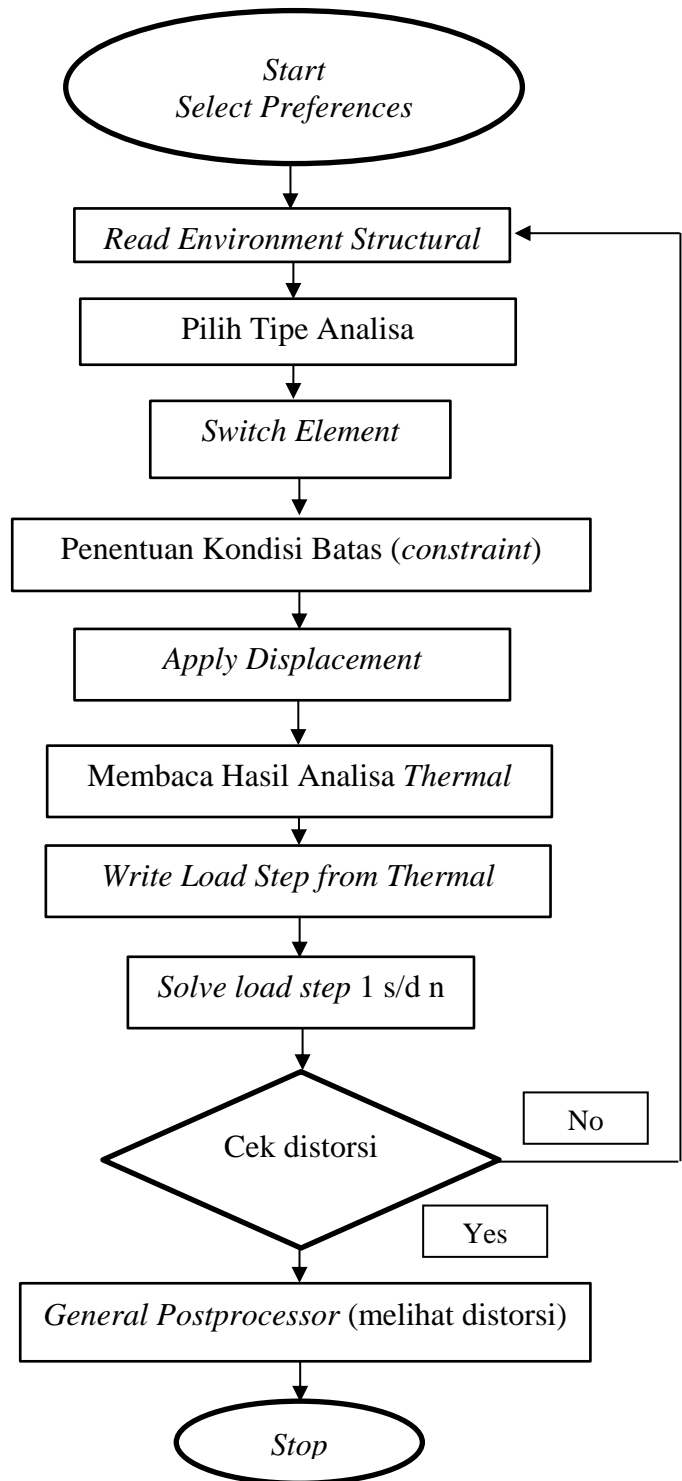
Gambar 3.60 *TimeHist Postpro*

## 6.4 Pemodelan Struktural

### 6.4.1 Bagan Alir Pemodelan Struktural

Selanjutnya semua pemodelan *thermal* selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan struktural. Pada prinsipnya pemodelan struktural sama dengan pemodelan *thermal* yang membedakan adalah proses solusi. Pembebanan struktural ini tidak serumit pembebanan *thermal*, tetapi solusi pembebanan struktural lebih lama daripada pembebanan *thermal*, karena analisis struktur solusi pembebanannya mengambil data dari hasil analisis pembebanan *thermal*. Untuk memulai pembebanan struktural tidak perlu membuat

model dari awal, tetapi dapat mengambil data dari analisis pembebanan *thermal* yang sudah dilakukan karena analisis yang dilakukan adalah *couple field analysis*.



Gambar 3.61 Diagram alir Pemodelan Analisis Struktural

#### 6.4.2 Keterangan Pemodelan Struktural

a. *Start*

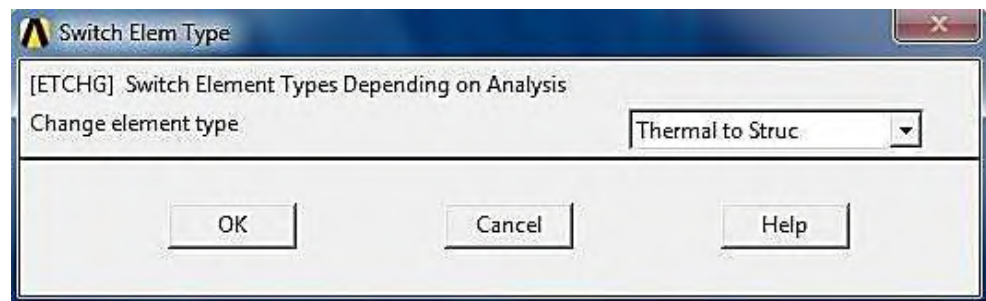
Membuka kembali pembebanan material *thermal* yang disimpan sebelumnya.

b. *Read Environment Structural*

Selanjutnya melakukan pembacaan *environment structural* yang disimpan sebelumnya. *Environment* yang digunakan dalam pemodelan ini adalah *environment* yang sudah disimpan sebelumnya. Perintah yang digunakan adalah *Solution > Physics > Environment > Read > Pilih Structural*.

c. *Switch Element*

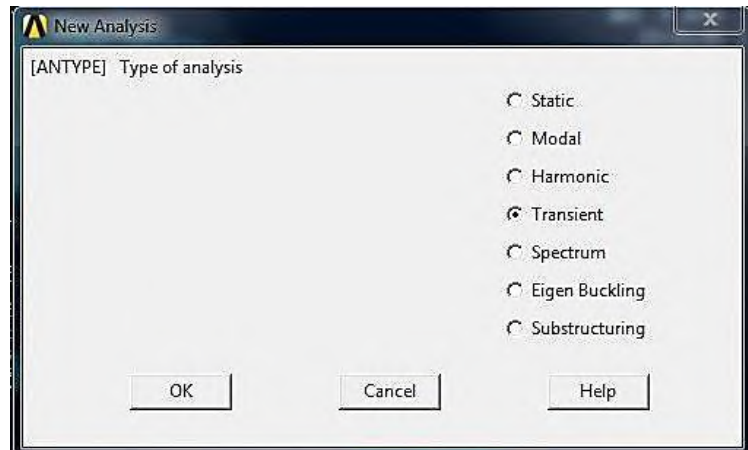
Karena akan dilakukan analisis terhadap dua bidang yaitu *thermal* dan struktural, maka harus melakukan *switch element* dari *thermal* ke struktural. Perintah yang digunakan adalah *Preprocessor > Element type > Switch Elem Type > Thermal to Struc > OK*.



Gambar 3.62 *Switch Element Type*

d. Pemilihan Tipe Analisis

Tipe analisis yang digunakan dalam pembebanan struktural tidak berbeda dengan analisis pembebanan *thermal*. Tipe pembebanan yang dipilih adalah *transient*. Perintah yang digunakan adalah *Solution > Analysis Type > New Analysis > Transient*.

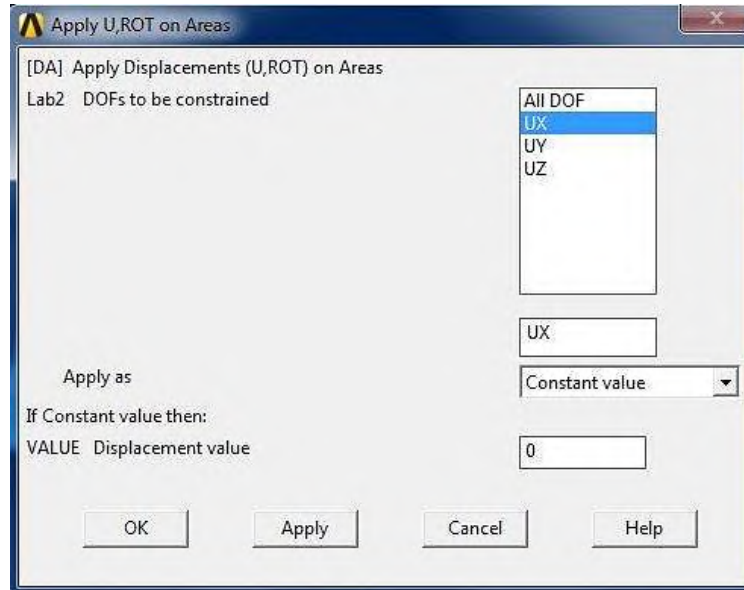


Gambar 3.63 *Analysis Type*

e. Pemberian Kondisi Batas Analisis Struktur (*Constraint*)

Pemberian batas tumpuan (*constraint*), yang berguna agar proses perhitungan dapat dilakukan dan tegangan yang dihasilkan dapat ditampilkan. Jika model tidak diberi tumpuan, maka gaya reaksi akan sangat besar sehingga tidak dapat ditampilkan oleh ANSYS, dan hal tersebut pun tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Kondisi saat eksperimen pengujian pengelasan adalah di antara pelat tegak dengan pelat mendatar bagian belakang pengelasan diberi pelat-punggung (*backing bar*) dan pada saat pengelasan diletakkan di lantai. Sehingga tumpuan diberikan pada area di bawah pelat tegak dimana tumpuan ini dianggap tidak ada perubahan sepanjang sumbu x dan titik-titik akhir pengelasan pada sisi pelat yang tidak mengalami pengelasan, dimana pelat tidak bergerak selama pengelasan. Perintah yang diberikan adalah *Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > UX, UY, UZ > Value = 0 > OK*.

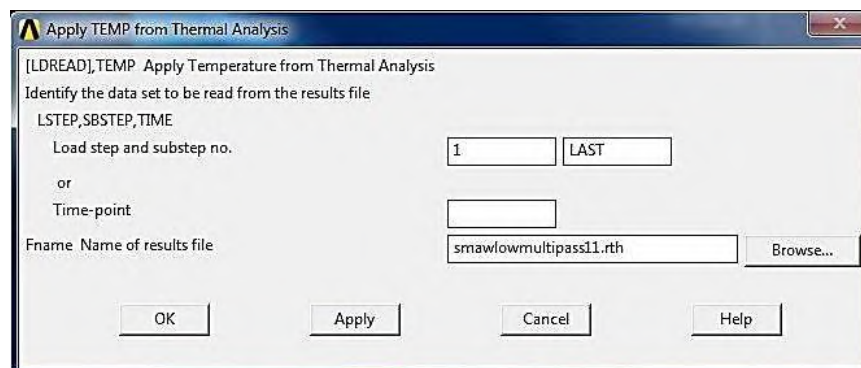




Gambar 3.64 Pemberian Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

f. Pembebanan Struktural dari Hasil Pembebanan *Thermal*

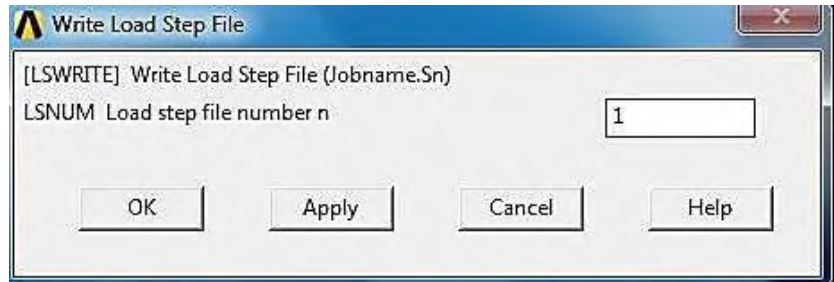
Pembebanan struktural ini dilakukan dengan mengambil hasil pada proses pembebanan *thermal*. Jadi beban yang digunakan sebenarnya adalah beban *thermal*, namun dikenakan pada kondisi struktural. Perintah yang digunakan adalah *Solution > Define Loads > Apply > Structural > Temperature > From Therm Analysis*. Perintah tersebut diulangi hingga *load step* ke-n.



Gambar 3.65 Pembacaan dari pembebanan *thermal*

g. *Write Load Step*

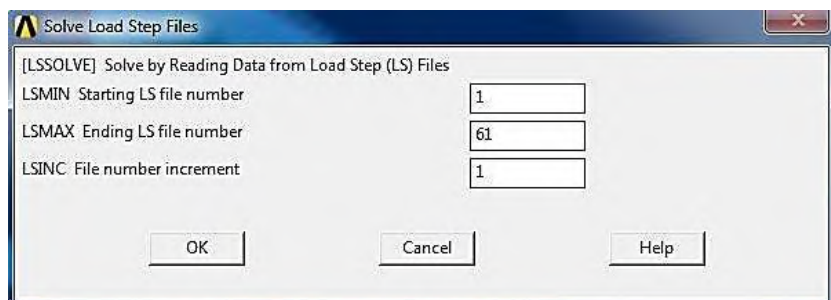
Pembebanan yang dilakukan diatas kemudian ditulis dalam *load step* yang telah disediakan dalam program ANSYS. Perintah yang dilakukan adalah *Preprocessor > Loads > Load Step Opts > Write LS*. Proses ini diulangi sampai *Load Step* ke-n.



Gambar 3.66 *Write Load Step*

h. *Penyelesaian Pembebanan (Solve Load)*

Pembebanan yang sudah selesai, selanjutnya di *solve* untuk mendapatkan reaksi model terhadap pembebanan. Reaksi yang akan dilihat dalam pembebanan struktural adalah besarnya distorsi yang terjadi pada model. Perintah yang digunakan adalah *Solution > Solve > From LS Files > Starting = 1 ;*

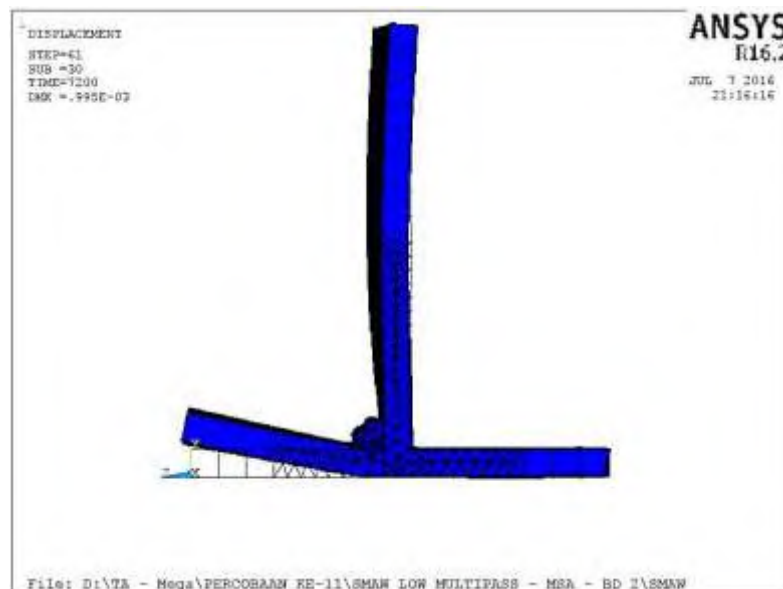


Gambar 3.67 *Solve Load Step*

i. *Melihat hasil Pembebanan Struktural*

Hasil yang diperoleh dari pembebanan struktural adalah distorsi yang terjadi pada material. Distorsi dapat dilihat berdasarkan fungsi waktu maupun

berdasarkan letaknya. Selanjutnya hasil yang diperoleh akan dibandingkan untuk dilakukan validasi dengan hasil pengujian. Bila hasil yang diperoleh sudah benar, maka dapat dilanjutkan pada proses selanjutnya. Namun apabila hasilnya masih kurang benar, maka harus dilakukan cek ulang pada proses sebelumnya. Proses yang mungkin terjadi kesalahan adalah pemberian kondisi batas berupa pemberian tumpuan yang tepat pada model yang sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Untuk melihat distorsi pada titik pengamatan dilakukan dengan mengambil nomor node yang letaknya tepat pada titik pengamatan. Untuk melihat hasil distorsi pada tiap waktu tersebut bisa dilakukan dengan perintah *General postproc > Result Viewer > Pilih Nodal Solution > DOF Solution > Displacement*.



Gambar 3.68 *Result Viewer*

#### 7. Validasi Data Eksperimen dan Pemodelan

Untuk menjamin bahwa pemodelan yang dilakukan sudah benar, maka validasi model perlu dilakukan. Validasi dilakukan dengan menggunakan hasil dari pengujian yang berupa data perubahan distorsi pada model terhadap data distorsi pelat pada eksperimen. Apabila hasil pemodelan kurang tepat atau tidak mendekati hasil pengujian, maka akan dilakukan pengecekan ulang.

#### 8. Analisis Hasil dan Kesimpulan

Analisis struktur permodelan dengan memasukkan kondisi-kondisi batas dari pemodelan. Menganalisis hasil pemodelan dan menarik kesimpulan analisis dan pembahasan. Kemudian dari hasil pemodelan, di analisis dengan eksperimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini.

#### 9. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan dapat ditarik sebuah kesimpulan yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir ini.

**BAB IV**

**ANALISIS DATA DAN**

**PEMBAHASAN**

**BAB IV**  
**ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

**IV.1. Data Hasil Pengelasan**

Percobaan yang dilakukan pada material dengan panjang 300 mm dengan parameter pengelasan sebagai berikut :

- Material : S355J2+N
- Dimensi : 300 mm x 150 mm x 10 mm
- Welder : Maidin / Welder PT. Profab Indonesia
- Kampuh : Fillet
- Elektrode : E7018-1- H4R, E71T8-Ni2-JH

Pencatatan pada saat proses pengelasan didapatkan data-data seperti pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Pengelasan

No.	Jenis Pengelasan	Dimension mm	Ampere	Voltage	Layer	Welding Time
			A	V		Sec
1	SMAW 60 -75 A	300 x 150 x10	87-89	19-23	1	174,8
			87-89	19-23	2	108,4
			87-89	19-23	3	126,8
2	SMAW 85 - 95 A	300 x 150 x10	96-98	21-26	1	222,2
			97-98	22-28	2	157,9
			97-98	22-28	3	178,2
3	FCAW - SS 150 A	300 x 150 x10	130-167	22,8-23,4	1	123,3
			131-158	22,4-26,9	2	139,5
			144-167	22,9-23,5	3	105,3
4	FCAW - SS 200 A	300 x 150 x10	165-187	29,4-30,4	1	216,9
			166-170	29,2-30,1	2	152,5
			163-170	28,9-29,4	3	155,2

**IV.2. Perhitungan Heat Input**

Dari data – data di atas dapat dihitung besarnya masing – masing *heat input* untuk tiap layer pengelasan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$: Q = \eta \frac{V \cdot I}{v} \quad (\text{kJ/mm})$$

Dengan :

$Q$  = Heat Input (kJ/mm) per layer

$\eta$  = Thermal Efficiency (60 %)

$V$  = Tegangan Busur Las / Voltage (V)

$I$  = Arus Listrik Las / Current (A)

$v$  = Kecepatan Pengelasan / Welding Speed (mm/min)

Contoh :

$V$  = 23 V

$I$  = 89 A

$v$  = 174,8 sec

= 2,9 min

= 300 mm/2,9 min

= 103 mm/min

$$Q = \eta \frac{V \cdot I}{v}$$

$$= 0,6 \times \frac{23 \times 89}{103}$$

$$= 1,2 \text{ kJ/mm}$$

$$= 1200 \text{ J/mm}$$

Tabel 4.2 Perhitungan Heat Input

No.	Jenis Pengelasan	Layer	Time	Travel Speed	Heat Input (kJ/mm)		Average HI	
			minutes	(mm/min)	min	max		
1	SMAW 60 - 75 A	1	2,9	103	1,0	1,2	1,10	0,85
		2	1,8	166	0,6	0,7	0,65	
		3	2,1	142	0,7	0,9	0,80	
2	SMAW 85 - 95 A	1	3,7	81	1,5	1,9	1,70	1,47
		2	2,6	114	1,1	1,4	1,25	
		3	3,0	101	1,3	1,6	1,45	
3	FCAW - SS 150 A	1	2,1	146	1,2	1,6	1,40	1,47
		2	2,3	129	1,4	2,0	1,70	
		3	1,8	171	1,2	1,4	1,30	
4	FCAW - SS 200 A	1	3,6	83	3,5	4,1	3,80	2,95
		2	2,5	118	2,5	2,6	2,55	
		3	2,6	116	2,4	2,6	2,50	

Dari Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai *heat input* yang dihasilkan akan semakin besar dengan bertambahnya arus listrik. Hal tersebut sesuai dengan rumus perhitungan *heat input* yang berbanding lurus dengan arus listrik.

### IV.3. Data Pengukuran Distorsi

Besarnya distorsi yang terjadi dapat diukur dengan alat *dial gauge*. Namun dalam eksperimen ini, penulis melakukan pengukuran secara manual menggunakan alat berupa kaca, busur, dan penggaris. Nilai penyimpangan pada material akan digunakan dalam mengukur besarnya distorsi yang terjadi. Dalam pengukuran distorsi, penelitian ini menggunakan pengukuran secara manual untuk menghitung perubahan distorsi sudut pada sambungan T. Pada penelitian ini, perhitungan distorsi yang diukur hanya searah sumbu Y (melintang lasan), sedangkan arah sumbu X diabaikan. Hal ini dikarenakan dari hasil eksperimen, distorsi yang terlihat jelas adalah yang searah sumbu Y, sedangkan yang searah sumbu X hasilnya sangat kecil dan eksperimen dilakukan pada sambungan T yang lebih menunjukkan perubahan distorsi sudut (*angular distortion*). Hasil dari penyimpangan searah sumbu Y dapat dilihat pada Tabel 4.3.

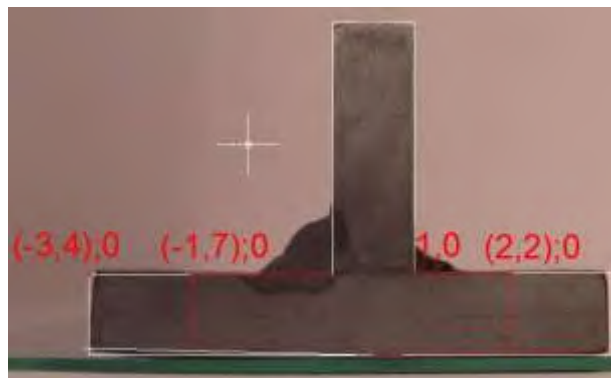
Tabel 4.3 Pengukuran Distorsi secara manual searah Sumbu Y

HI (kJ/mm)	Spesimen	Distorsi (mm)			
		Jarak dari lasan (x,y)			
		(-3,4);0	(-1,7);0	1,0	(2,2);0
0,85	SMAW 60-75 A	1,20	0,30	0,10	0,10
1,47	SMAW 85-95 A	1,50	1,10	0,10	0,10
1,47	FCAW-SS 150 A	1,70	1,20	0,10	0,15
2,95	FCAW 200 A	2,10	1,50	0,12	0,16



Tabel 4.4 Pengukuran Distorsi *Angular* secara manual searah Sumbu Y

HI (kJ/mm)	Spesimen	Distorsi ( $\alpha^\circ$ )			
		Jarak dari lasan (x,y)			
		(-3,4);0	(-1,7);0	1,0	(2,2);0
0,85	SMAW 60-75 A	1,5	0,5	0,5	0,6
1,47	SMAW 85-95 A	2,8	2	0,6	0,6
1,47	FCAW-SS 150 A	2,1	1,2	0,3	0,5
2,95	FCAW 200 A	2,9	1,1	0,1	0,2



Gambar 4.1 Penentuan titik peninjauan pengukuran distorsi pada pengelasan SMAW 60-75 A

Semakin besar *heat input* yang diberikan, maka distorsi yang terjadi semakin besar. Hal ini dikarenakan ketika material diberikan beban panas, suhu pada spesimen mengalami peningkatan. Pada suhu tinggi, atom – atom akan bergerak lebih cepat dan membentur atom – atom yang ada disampingnya. Akibat dari benturan ini, atom – atom membutuhkan ruang yang lebih luas sehingga mengakibatkan material berubah bentuk. Jadi semakin besar beban panas yang diberikan, semakin cepat pula atom – atom akan saling berbenturan dan semakin besar pula perubahan bentuk material (distorsi).

#### IV.4. Pemodelan

Pada bagian ini akan dibahas hasil pemodelan 3D yang telah dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS 16.2, yaitu analisis

*thermal* dan analisis *structural*. Sesuai dengan sifat pembebanan yang dinamik, yaitu perubahan beban berdasarkan fungsi posisi dan waktu maka analisis yang dilakukan adalah analisis *transient full solution method*.

#### IV.4.1 Perhitungan *Heat Flux*

Pada penelitian ini, sumber panas yang digunakan dalam *software* ANSYS adalah *heat flux*. Pada proses pengelasan, beban yang diterima oleh *base metal* adalah beban *heat flux*. *Heat flux* yang terjadi pada pengelasan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain besarnya arus listrik, tegangan, dan kecepatan pengelasan. Pada pemodelan sambungan T, *heat input* dikenakan pada setiap elemen dan berjalan dengan fungsi waktu. Untuk itu, selain faktor yang telah disebutkan di atas juga perlu diperhatikan geometri model agar besarnya *heat flux* dapat ditentukan.

Pada pemodelan penelitian ini kampuh las dibuatkan model dan geometri yang mendekati kondisi aslinya dan pada variasi model, hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan panjang elemen. Geometri kampuh las pada penelitian ini yang diberikan beban termal setiap layer dimana pada pengelasan terdapat tiga layer. Beban yang digunakan adalah *heat flux*. Untuk menghitung *heat flux* ada beberapa parameter yang harus ditentukan dengan cara seperti di bawah ini.

Perhitungan *heat flux* pada pengelasan SMAW 60-75 A untuk filler

Dimana dimensi pelat model, yaitu

p	=	300 mm
l	=	150 mm
t	=	10 mm

Spesifikasi kampuh las masing-masing layer,

*Leg length* = 11 mm

*Leg length* = 8,5 mm

Pembagian elemen = 20 elemen

lebar satu elemen

keseluruhan kampuh las =  $[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$

	=	13,9 mm
panjang satu elemen	=	15 mm
<i>Leg length</i>	=	5,5 mm
<i>Leg length</i>	=	4,25 mm
Pembagian elemen	=	20 elemen
lebar satu elemen per layer	=	$[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$
	=	7,0 mm
panjang satu elemen	=	15 mm

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan 2.1 dapat dihitung besarnya *heat flux* yang dibebankan pada elemen, yaitu :

Parameter pengelasan yang diperoleh dari data PQR eksperimen, yaitu

a. Pass Filler

Kecepatan pengelasan	=	103 mm/min
	=	1,7 mm/sec
	=	175 sec
Kuat arus	=	87 A
Voltage	=	19 V
Efisiensi SMAW	=	0,75
Diameter elektroda	=	2,5 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	4,0 sec

Perhitungan *heat input* bersih, dimana :

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,75 \times 19 \text{ V} \times 87 \text{ A}$$

$$Q = 1239,75 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ ) dari persamaan 2.8, yaitu :

$$= b \cdot v \cdot t$$

Af

$$\begin{aligned} Af &= 15 \text{ mm} \times 1,7 \text{ mm/sec} \times 4 \text{ sec} \\ &= 104 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas penampang elektrode,

$$\begin{aligned} Ae &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ Ae &= 5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas pada satu elemen,

$$\begin{aligned} A1 &= p \times l \\ A1 &= 5,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, *heat flux* yang dihasilkan elektroda dihitung dengan persamaan 2.7, yaitu :

$$\begin{aligned} q_s &= \frac{H_{net}}{A_e} \\ q_e &= \frac{Q_{net}}{A_e} \\ q_e &= \frac{1239,75 \text{ watt}}{5 \text{ mm}^2} \\ q_e &= 253 \text{ watt/mm}^2 \end{aligned}$$

*Heat flux* untuk satu elemen dengan menggunakan persamaan 2.6 :

$$\begin{aligned} q_1 &= q_s \frac{A_1}{A_f} \\ q1 &= 253 \text{ watt/mm}^2 \times \frac{5,2 \text{ mm}^2}{104,3 \text{ mm}^2} \\ q1 &= 12,6279898 \text{ watt/mm}^2 \\ q1 &= 12.627.990 \text{ watt/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan demikian telah diketahui beban *heat flux* yang dikenakan pada setiap elemen pada model berdasarkan perhitungan di atas adalah

sebesar 12.627.990 Watt/ m<sup>2</sup> pada layer filler. Beban ini dikenakan secara transien atau berjalan sesuai dengan fungsi waktu. Untuk perhitungan layer capping dilakukan sama dengan perhitungan di atas. Sedangkan untuk perhitungan *heat flux* untuk pengelasan lainnya dilakukan hal yang sama pula.

Luas permukaan satu elemen di hitung dengan bantuan *software* ANSYS dengan menghitung banyaknya elemen pada satu daerah lasan. Kemudian satu daerah lasan dibagi dengan banyaknya elemen dan akan memperoleh luasan satu elemen. Beban *heat flux* yang dikenakan secara *transient* atau berjalan sesuai dengan fungsi waktu.

Selain beban *heat flux*, ada kondisi batas yang harus dimasukkan ke dalam pembebanan pemodelan. Kondisi batas ini adalah kenyataan bahwa antara permukaan pelat dengan udara mengalami kontak langsung. Kondisi batas ini berupa beban konveksi, untuk itu harus dimasukkan koefisien yang digunakan untuk memasukkan faktor konveksi ke dalam pemodelan. Koefisien yang harus dimasukkan adalah sebagai berikut :

- *Film coefficient* = 10 W/m<sup>2</sup>K
- *Bulk Temperature* = 303.15 K

*Film coefficient* merupakan koefisien faktor konveksi yang terjadi antara logam yang dipanaskan dengan udara. Sedangkan *bulk temperature* adalah temperatur ruang yang terjadi pada saat pengelasan dilakukan. Temperatur ruang diasumsikan sebesar 303.15 K.

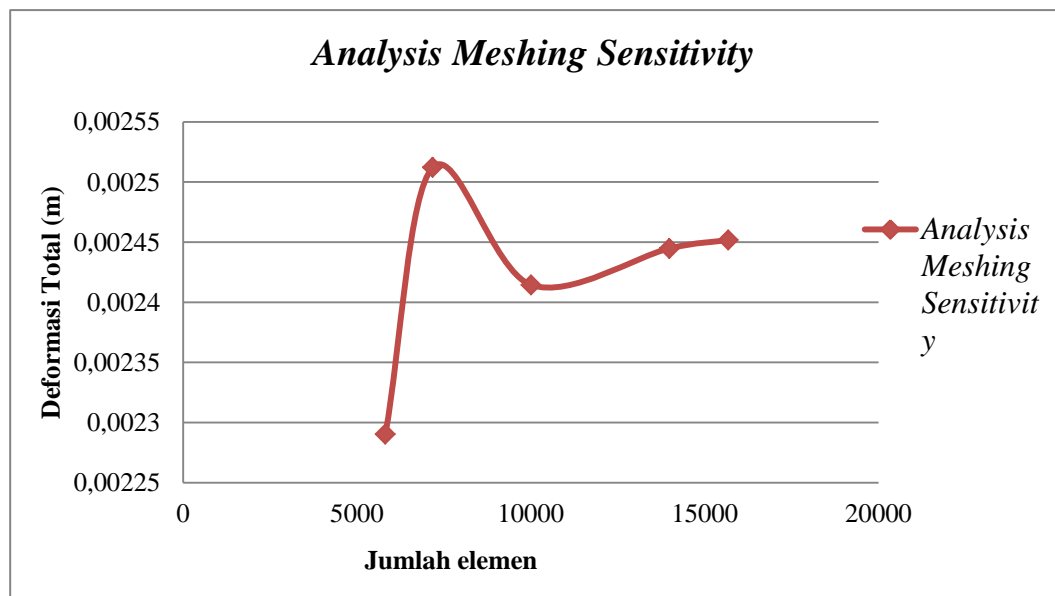
#### **IV.4.2 Konvergensi Meshing**

Untuk penentuan ukuran meshing dalam pemodelan ANSYS 16.2, terlebih dahulu dilakukan *mesh sensitivity analysis*. Ukuran meshing divariasikan hingga didapatkan nilai respon struktur cenderung konstan. Sedangkan nilai beban sebagai input adalah nilai yang tetap. Hal ini dilakukan dikarenakan pemodelan *finite element* berprinsipkan pembagian material menjadi ukuran-ukuran kecil agar mempermudah dalam melakukan analisis. Pada prinsipnya semakin banyak jumlah elemen pembagi, maka semakin kecil nilai kesalahan dari hasil analisis yang dilakukan. Akan tetapi

jika semakin banyak jumlah elemen yang dianalisis, maka semakin berat kerja komputer untuk melakukan *solving* atau pencarian solusi. Oleh karena itu, *mesh sensitivity analysis* dilakukan agar hasil analisis memiliki nilai kesalahan yang tidak terlalu besar serta dapat menentukan jumlah elemen yang sesuai dengan analisis. Hasil dari *mesh sensitivity analysis* dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.5 *Mesh Sensitivity Analysis*

Ukuran jenis Elemen		Jumlah Elemen	Deformasi Total
Hex	Tetra		m
0,01	0,01	5816	0,0022903
0,01	0,008	7180	0,0025122
0,01	0,007	10010	0,0024144
0,01	0,006	13984	0,0024448
0,01	0,005	15680	0,0024518

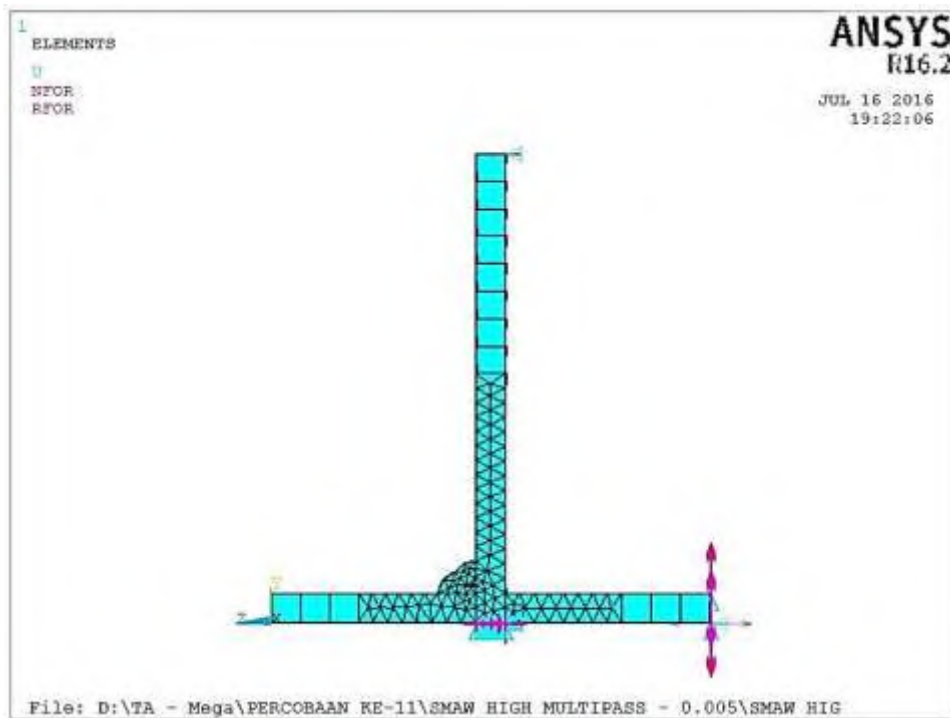


Gambar 4.2 Grafik *Mesh Sensitivity Analysis*

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat dilihat besarnya total deformasi pada jumlah elemen 15680 sudah tidak terjadi peningkatan nilai yang signifikan terhadap jumlah elemen yang di atasnya. Sehingga pada pemodelan ini diambil jumlah elemen 15680. Maka, jumlah elemen tersebut digunakan

sebagai acuan untuk pembuatan dan pembagian *meshing* model untuk semua variasi penelitian tugas akhir ini.

Untuk pemodelan geometri plat dengan sambungan T, dengan kondisi batas pada bagian sisi belakang sambungan pelat dipasang pelat pengganjal pelat-punggung (*backing bar*) yang dimodelkan pada Gambar 4.3. Untuk kondisi batas, diberikan pada area pelat tegak pada bagian bawah dengan kondisi batas  $u_y = u_z = 0$ , dan area sisi datar bagian pelat datar dengan nilai  $u_y = 0$ , serta titik pada bagian ujung pelat sebagai tumpuan dengan nilai  $u_x = u_y = u_z = 0$  dan titik pada area bagian atas pelat tegak  $u_z = 0$ . Kondisi batas (*boundary condition*) tersebut menggambarkan kondisi pada proses pengelasan sebenarnya.



Gambar 4.3 Pemodelan Sambungan T dengan *Boundary Condition* pelat pengganjal pelat-punggung (*backing bar*)

Pemodelan pengelasan yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah dengan pemberian beban *heat flux* secara *transient* dimana perubahan beban berdasarkan fungsi waktu dan posisi. Analisis termal yang dilakukan akan menghasilkan penyebaran panas, yang kemudian di masukkan dalam

analisis struktural sebagai beban dinamis. Maka hasil yang akan keluar akhirnya adalah berupa deformasi dan tegangan sisa.

#### **IV.4.3 Hasil Analisis Pembebanan**

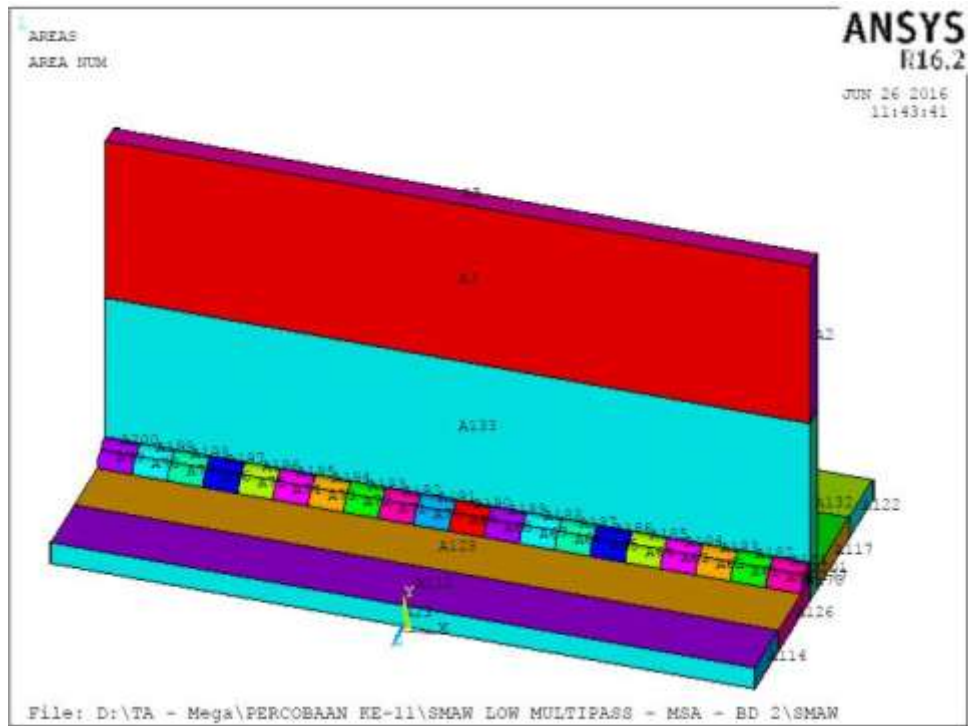
##### **IV.4.3.1 Hasil Analisis *Thermal* Model Pengelasan SMAW 60-75 A**

Hasil pemodelan dari analisis *thermal* dalam penelitian tugas akhir ini berupa perubahan temperatur tiap detik. Dibawah ini dapat dilihat perubahan tiap waktu hasil pemodelan dan analisis *thermal* dengan menggunakan ANSYS 16.2. Gambar 4.4 diperoleh dari model yang mempunyai dimensi, struktur, material properties, *heat input*, kondisi batas, dan titik acuan yang sama dengan material uji. Hal ini bertujuan untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan kenyataan. Pada Gambar 4.5, distribusi panas dapat dilihat bahwa ada perubahan suhu pada model, yaitu selama rentang waktu pengelasan dan kemudian menurun secara perlahan pada waktu pendinginan.

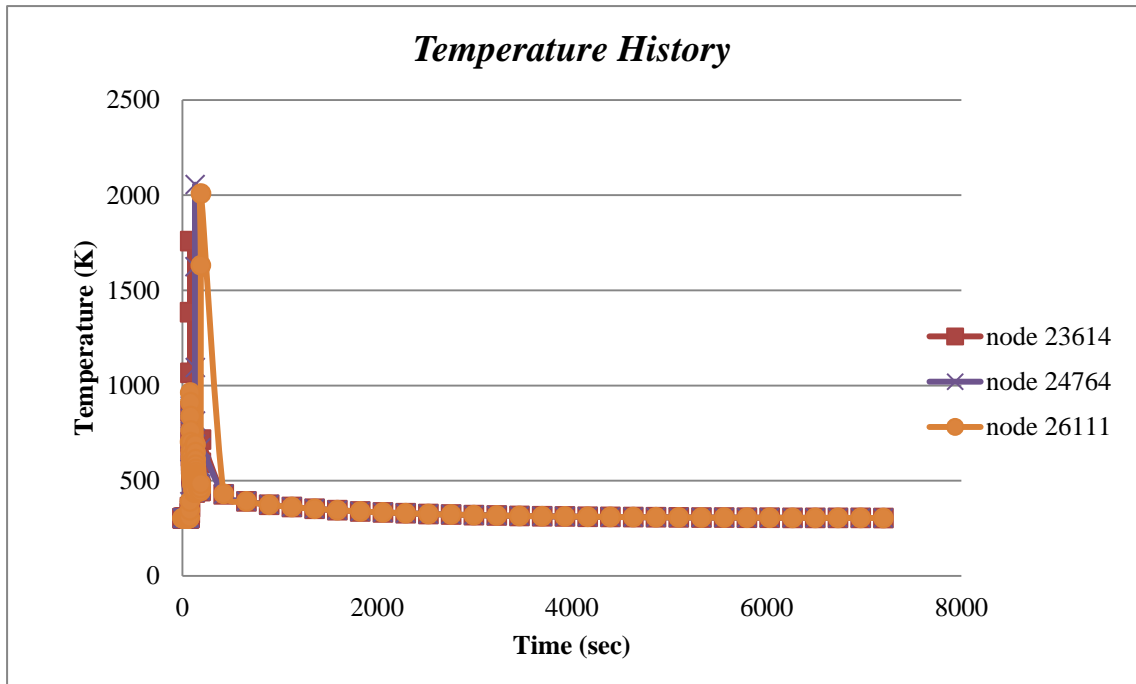


Tabel 4.6 *Loadstep* Pembebanan pada pengelasan SMAW 60-75 A

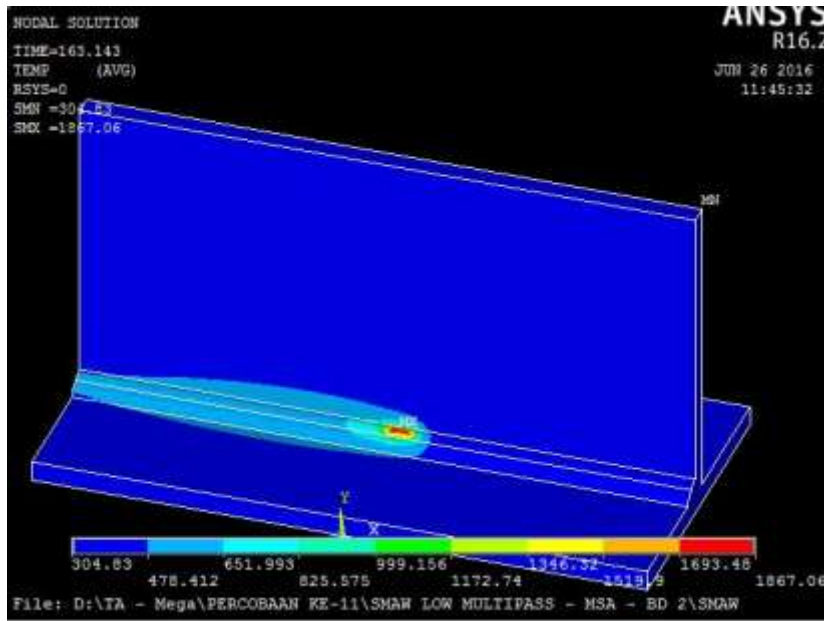
Load Step	Filler		Capping 1		Capping 2		
	No. Area	waktu	No. Area	waktu	No. Area	waktu	
1	155	175	4,0	79	83,5	200	134,2
2	154	174	8,1	78	86,0	199	137,1
3	153	173	12,1	77	88,5	198	140,0
4	152	172	16,2	76	91,0	197	143,0
5	151	171	20,2	75	93,5	196	145,9
6	150	170	24,3	74	96,1	195	148,8
7	149	169	28,3	73	98,6	194	151,8
8	148	168	32,4	72	101,1	193	154,7
9	147	167	36,4	71	103,6	192	157,7
10	146	166	40,5	70	106,1	191	160,6
11	145	165	44,5	69	108,6	190	163,5
12	144	164	48,6	68	111,1	189	166,5
13	143	163	52,6	67	113,6	188	169,4
14	142	162	56,7	66	116,2	187	172,3
15	141	161	60,7	65	118,7	186	175,3
16	140	160	64,8	64	121,2	185	178,2
17	139	159	68,8	63	123,7	184	181,2
18	138	158	72,9	62	126,2	183	184,1
19	137	157	76,9	61	128,7	182	187,0
20	123	143	81,0	82	131,2	181	190,0



Gambar 4.4 *Loadstep* pembebanan pada area pemodelan SMAW 60-75 A



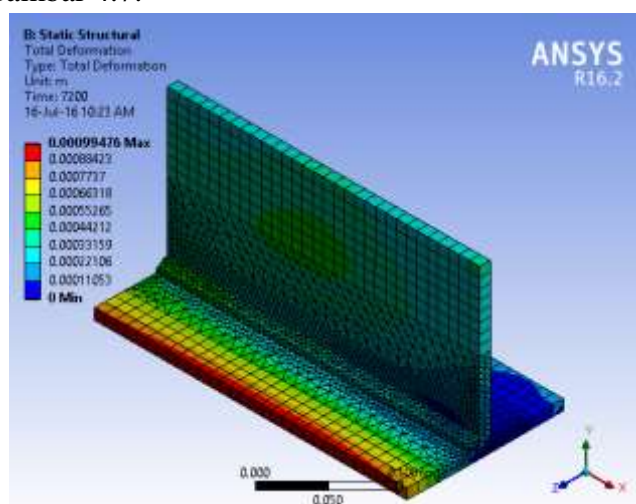
Gambar 4.5 Grafik perubahan temperatur tiap detik pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan SMAW 60-75 A



Gambar 4.6 Distribusi panas pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan SMAW 60-75 A

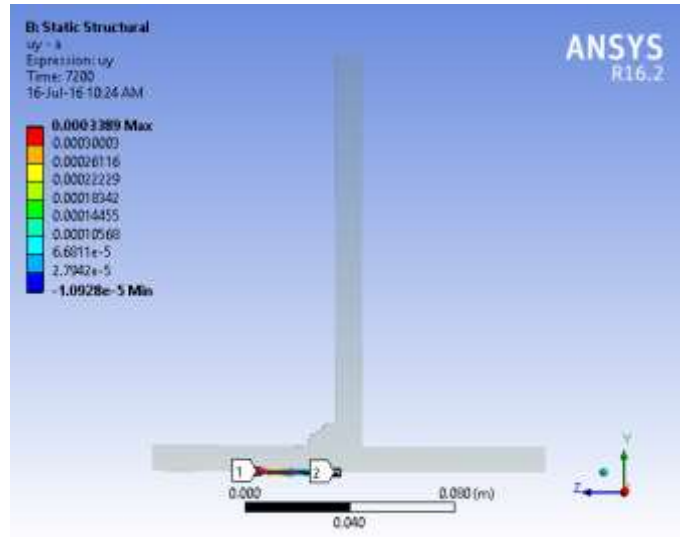
#### IV.4.3.2. Hasil Analisis Struktural Model Pengelasan SMAW 60-75 A

Pada penelitian tugas akhir ini hasil pemodelan struktur ANSYS 16.2 berupa nilai distorsi. Hasil analisis struktural ini divalidasi dengan hasil distorsi pengujian. Terdapat tanda plus dan minus pada nilai deformasi, namun tanda tersebut hanya menyatakan arah distorsi yang terjadi sesuai tempat yang ditinjau pada saat pengujian. Hasil analisis total distorsi dapat dilihat pada Gambar 4.7.



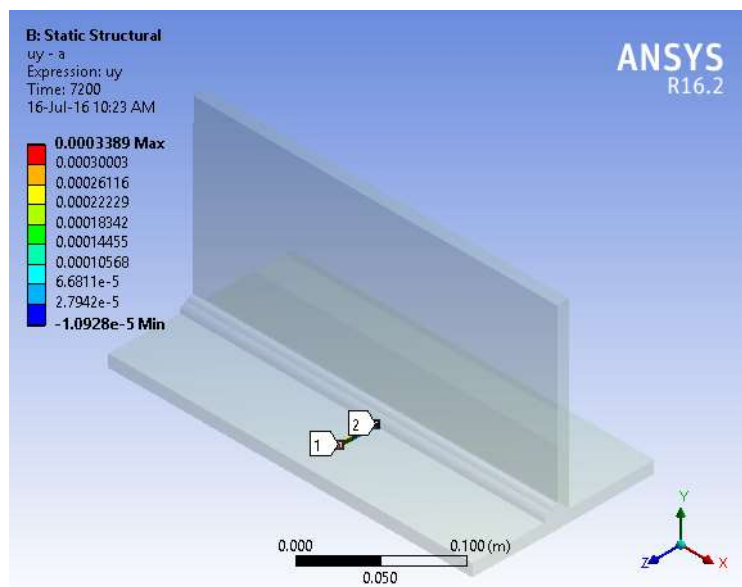
Gambar 4.7 Total Deformasi dari Analisis Struktural pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Pada eksperimen, pengukuran distorsi meninjau empat titik sesuai pada Gambar 4.1. Dimana pada pemodelan juga meninjau pengukuran distorsi sesuai titik yang ditinjau pada hasil eksperimen. Titik yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.15.



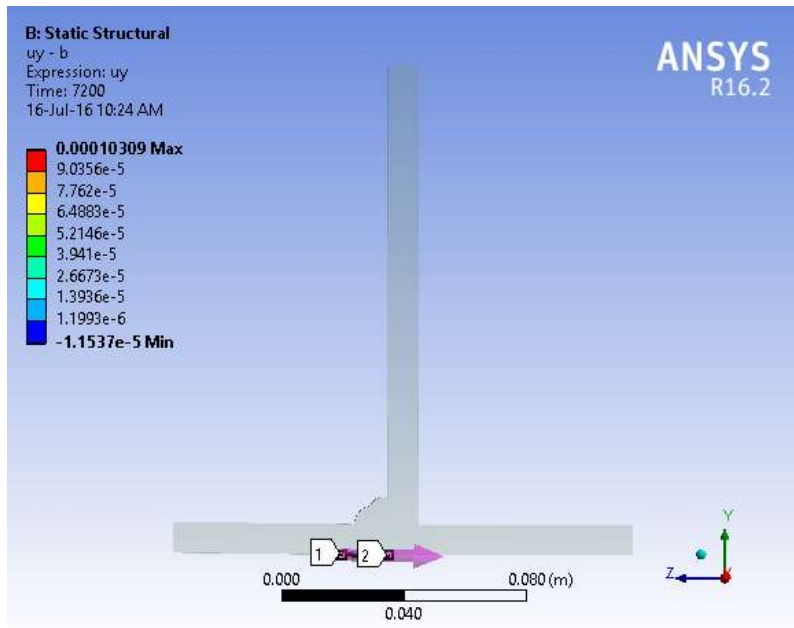
Gambar 4.8 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.9.



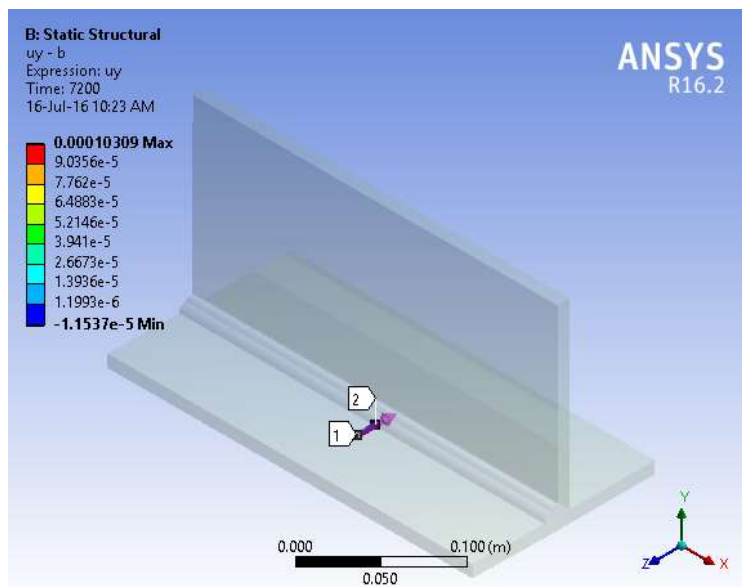
Gambar 4.9 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.10.



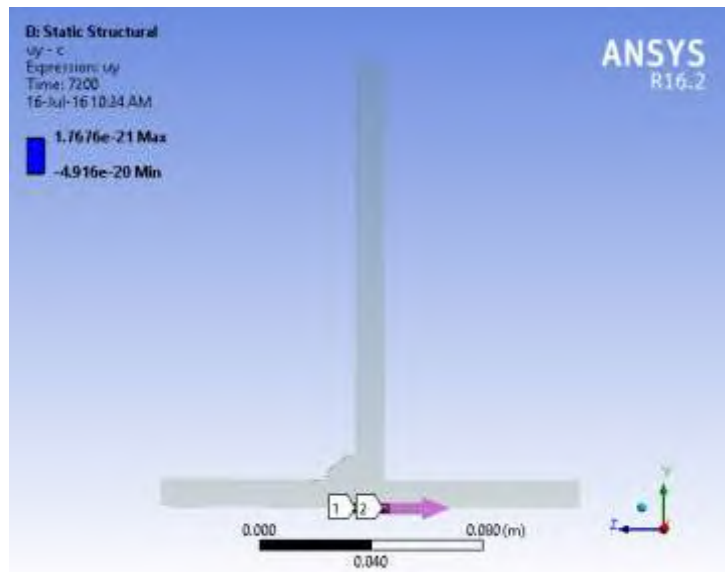
Gambar 4.10 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.11.



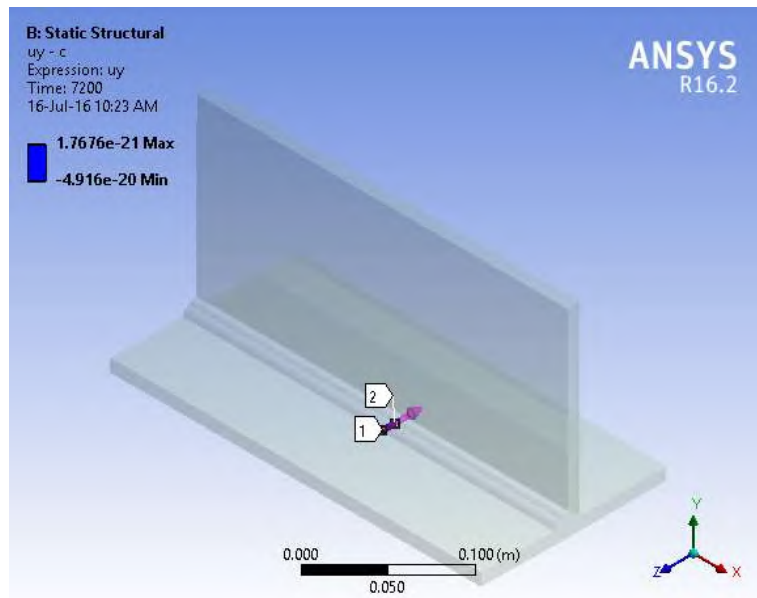
Gambar 4.11 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.12.



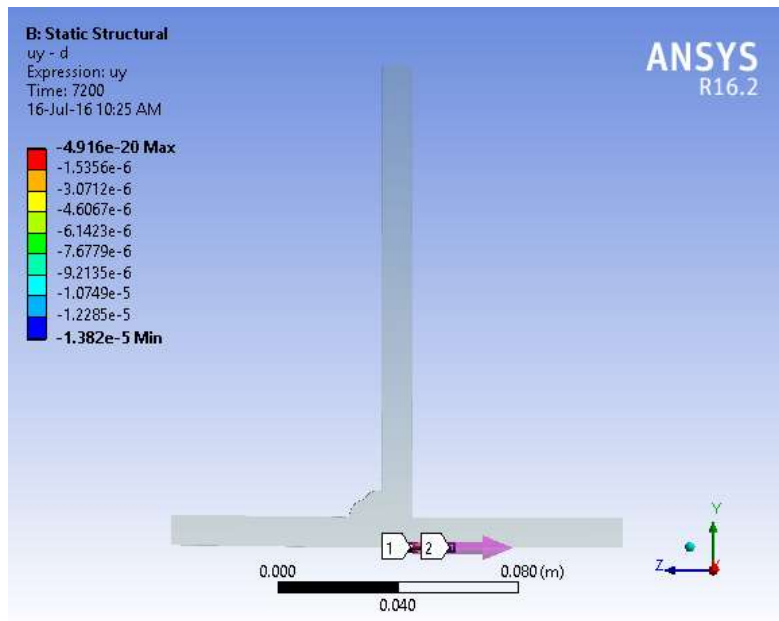
Gambar 4.12 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.13.



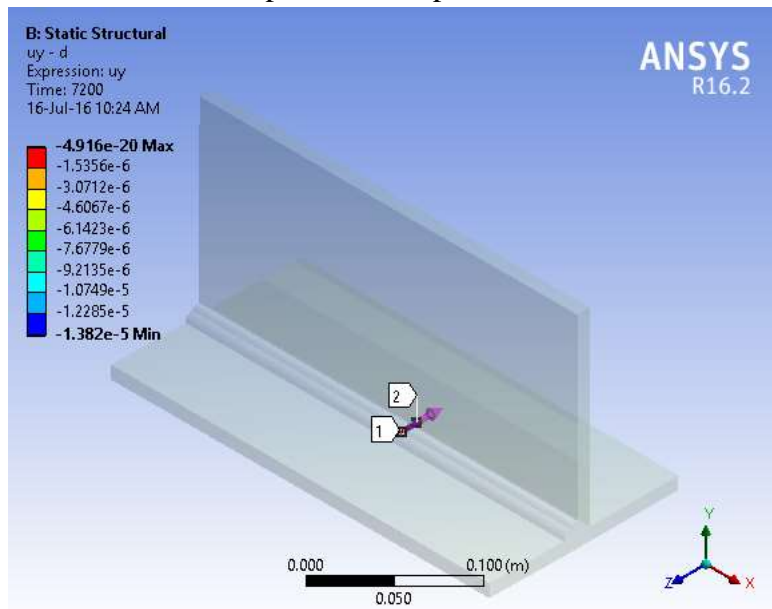
Gambar 4.13 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Tabel 4.7 Besar distorsi sesuai titik yang ditinjau pada pemodelan SMAW 60-75 A pada ANSYS 16.2

Spesimen	Distorsi (mm)			
	Jarak dari lasan (x,y)			
	(-3,4);0	(-1,7);0	(1,0)	(2,2);0
SMAW 60-75 A	0,34	0,10	0,00	-0,01

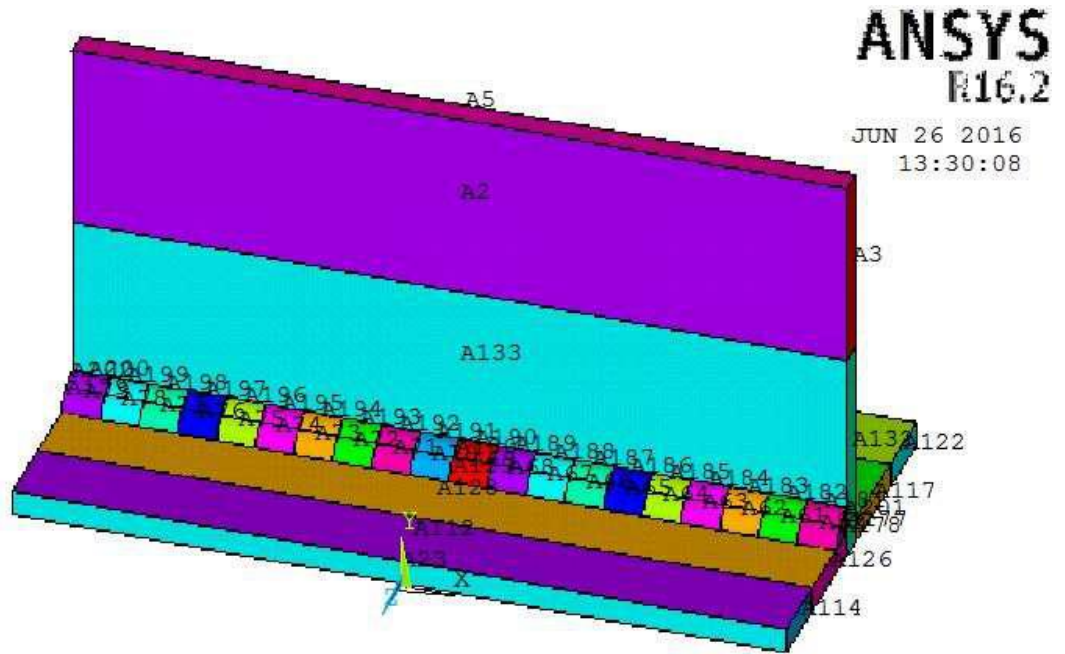
#### IV.4.3.3. Hasil Analisis *Thermal* Model Pengelasan SMAW 85-95 A

Hasil pemodelan dari analisis *thermal* dalam penelitian tugas akhir ini berupa perubahan temperatur tiap detik. Dibawah ini dapat dilihat perubahan tiap waktu hasil pemodelan dan analisis *thermal* dengan menggunakan ANSYS 16.2. Gambar 4.16 diperoleh dari model yang mempunyai dimensi, struktur, material properties, *heat input*, kondisi batas, dan titik acuan yang sama dengan material uji. Hal ini bertujuan untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan kenyataan. Pada Gambar 4.17, distribusi panas dapat dilihat bahwa ada perubahan suhu pada model, yaitu selama rentang waktu pengelasan dan kemudian menurun secara perlahan pada waktu pendinginan.

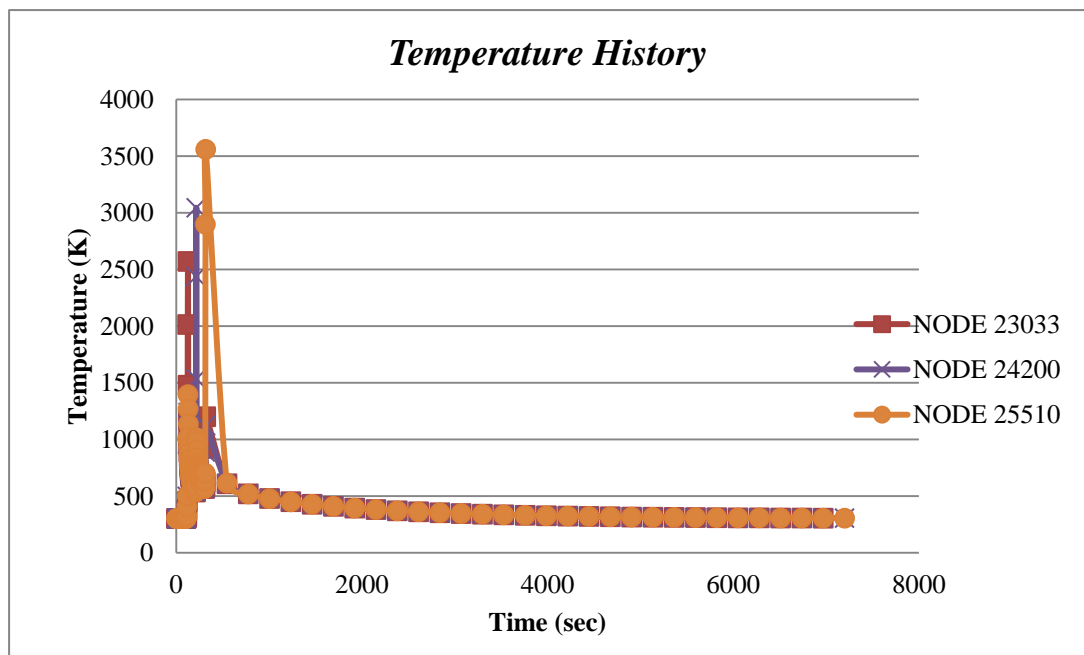


Tabel 4.8 *Loadstep* Pembebanan pada pengelasan SMAW 85-95 A

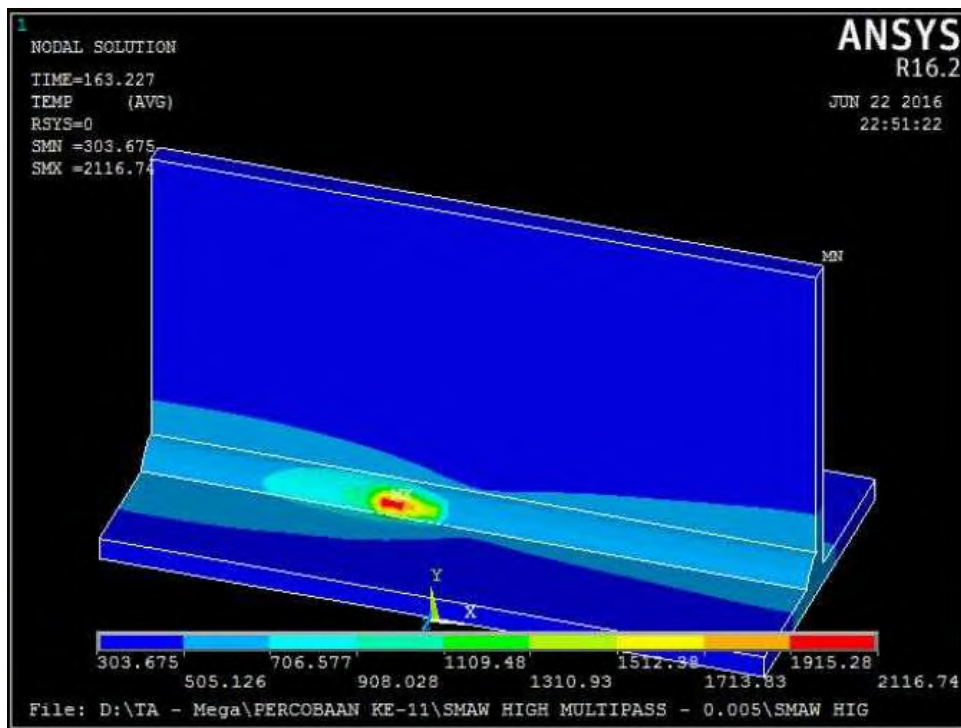
Load step	filler			capping 1		capping 2	
	No.Area		waktu	No.Area	waktu	No. Area	waktu
1	155	175	6,3	79	130,6	200	220,8
2	154	174	12,6	78	135,1	199	225,9
3	153	173	18,9	77	139,6	198	230,9
4	152	172	25,2	76	144,1	197	236,0
5	151	171	31,5	75	148,6	196	241,1
6	150	170	37,8	74	153,0	195	246,1
7	149	169	44,2	73	157,5	194	251,2
8	148	168	50,5	72	162,0	193	256,2
9	147	167	56,8	71	166,5	192	261,3
10	146	166	63,1	70	171,0	191	266,4
11	145	165	69,4	69	175,4	190	271,4
12	144	164	75,7	68	179,9	189	276,5
13	143	163	82,0	67	184,4	188	281,5
14	142	162	88,3	66	188,9	187	286,6
15	141	161	94,6	65	193,4	186	291,6
16	140	160	100,9	64	197,8	185	296,7
17	139	159	107,2	63	202,3	184	301,8
18	138	158	113,5	62	206,8	183	306,8
19	137	157	119,8	61	211,3	182	311,9
20	136	156	126,1	82	215,8	181	316,9



Gambar 4.16 *Loadstep* pembebanan pada area pemodelan SMAW 85-95 A



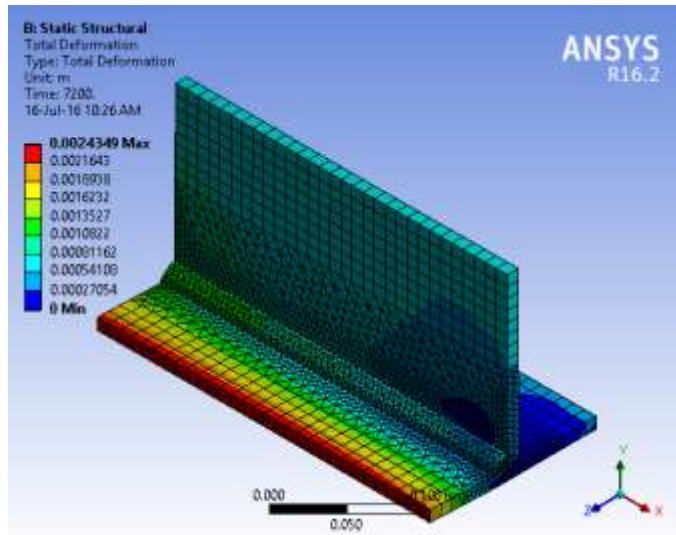
Gambar 4.17 Grafik perubahan temperatur tiap detik pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan SMAW 85-95 A



Gambar 4.18 Distribusi panas pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan SMAW 85-95 A

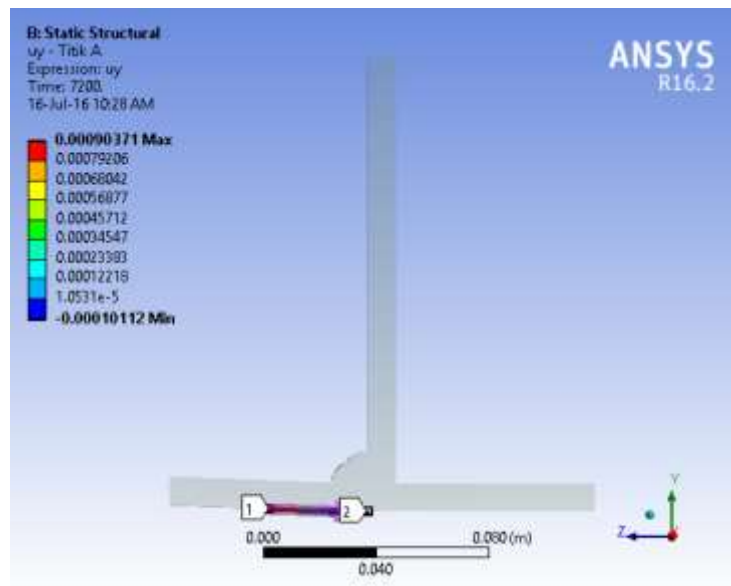
#### IV.4.3.4. Hasil Analisis Struktural Model Pengelasan SMAW 85-95 A

Pada penelitian tugas akhir ini hasil pemodelan struktur ANSYS 16.2 berupa nilai distorsi. Hasil analisis struktural ini divalidasi dengan hasil distorsi pengujian. Terdapat tanda plus dan minus pada nilai deformasi, namun tanda tersebut hanya menyatakan arah distorsi yang terjadi sesuai tempat yang ditinjau pada saat pengujian. Hasil analisis total distorsi dapat dilihat pada Gambar 4.19.



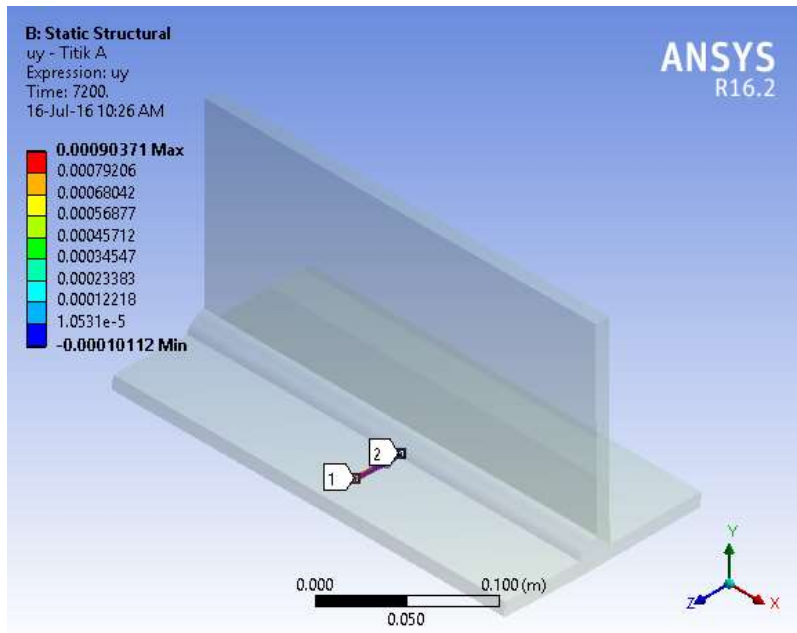
Gambar 4.19 Total Deformasi dari Analisis Struktural pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2

Pada eksperimen, pengukuran distorsi meninjau empat titik sesuai pada Gambar 4.1. Dimana pada pemodelan juga meninjau pengukuran distorsi sesuai titik yang ditinjau pada hasil eksperimen. Titik yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.20 hingga Gambar 4.27.



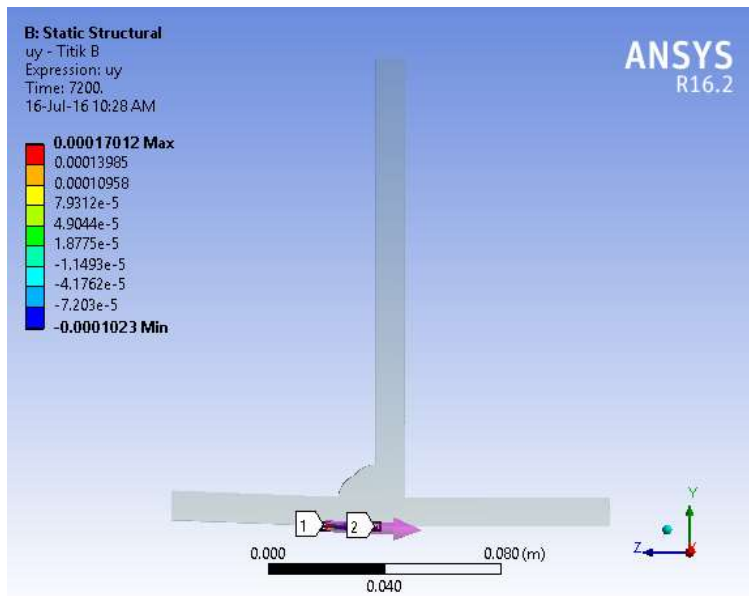
Gambar 4.20 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.

Peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.21.



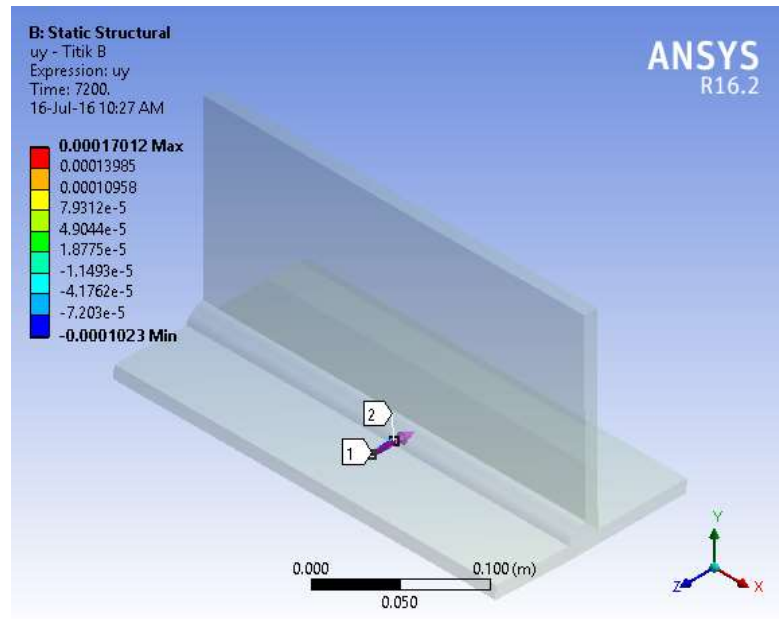
Gambar 4.21 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.22.



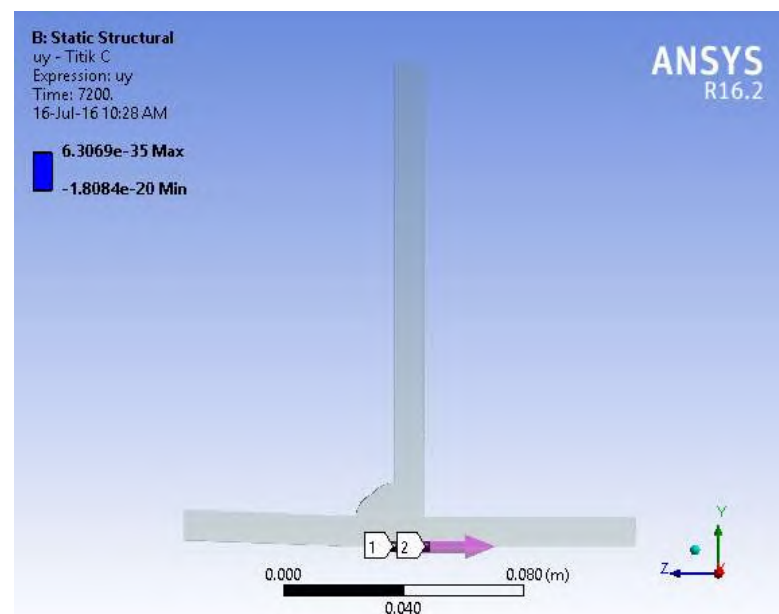
Gambar 4.22 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.23.



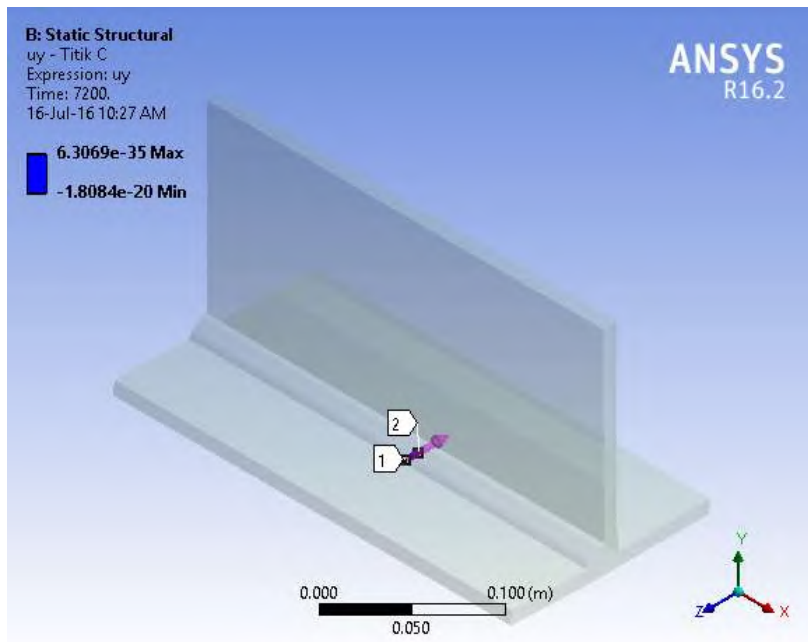
Gambar 4.23 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.24.



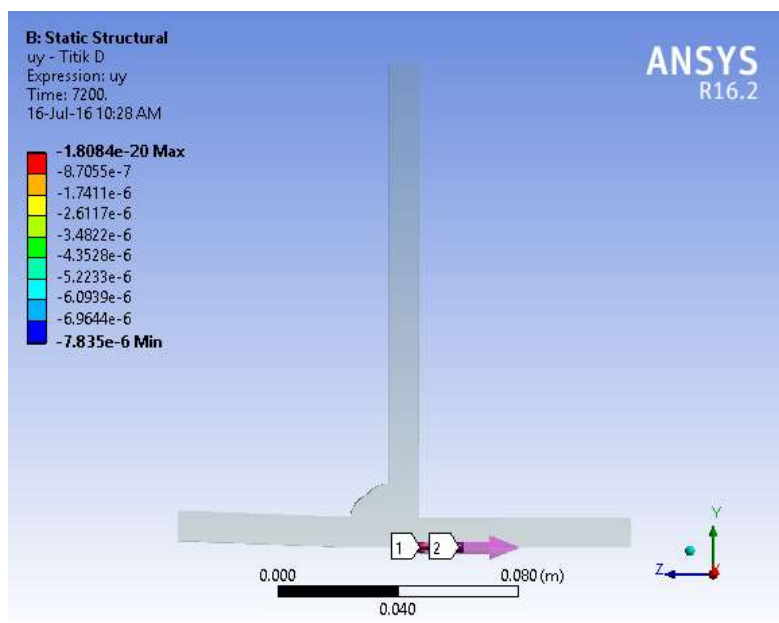
Gambar 4.24 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.25.



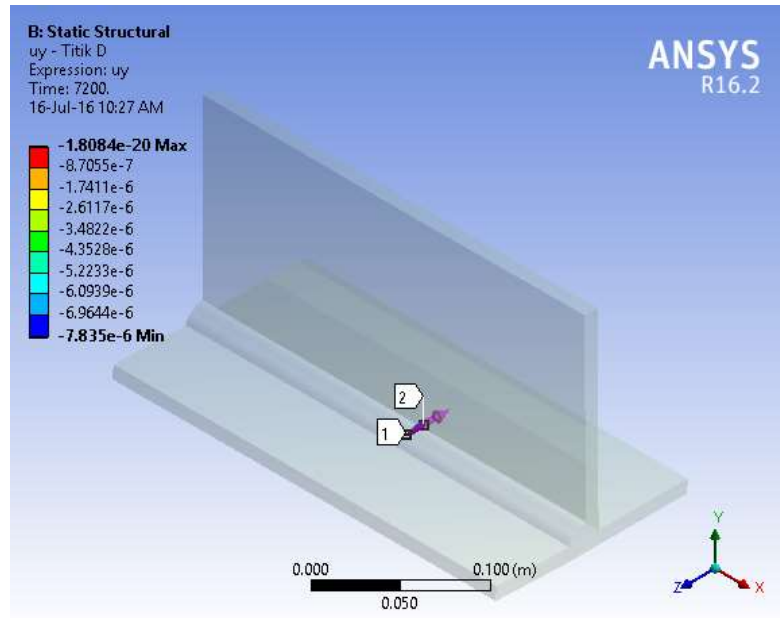
Gambar 4.25 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2

Tabel 4.9 Besar distorsi sesuai titik yang ditinjau pada pemodelan SMAW 85-95 A pada ANSYS 16.2

Spesimen	Distorsi (mm)			
	Jarak dari lasan (x,y)			
	(-3,4);0	(-1,7);0	(1,0)	(2,2);0
SMAW 85-95 A	0,90	0,17	0,00	-0,01

#### IV.4.3.5. Hasil Analisis *Thermal* Model Pengelasan FCAW-SS 150 A

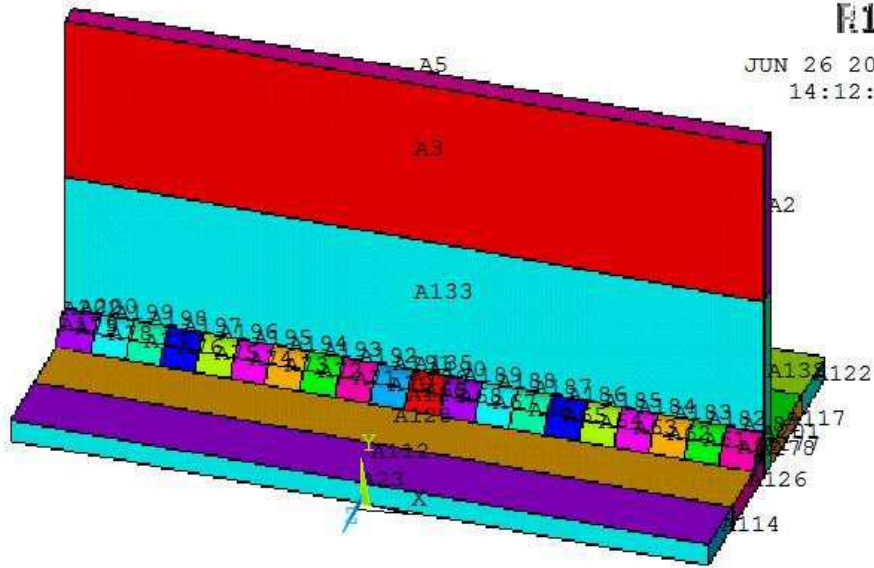
Hasil pemodelan dari analisis *thermal* dalam penelitian tugas akhir ini berupa perubahan temperatur tiap detik. Dibawah ini dapat dilihat perubahan tiap waktu hasil pemodelan dan analisis *thermal* dengan menggunakan ANSYS 16.2. Gambar 4.28 diperoleh dari model yang



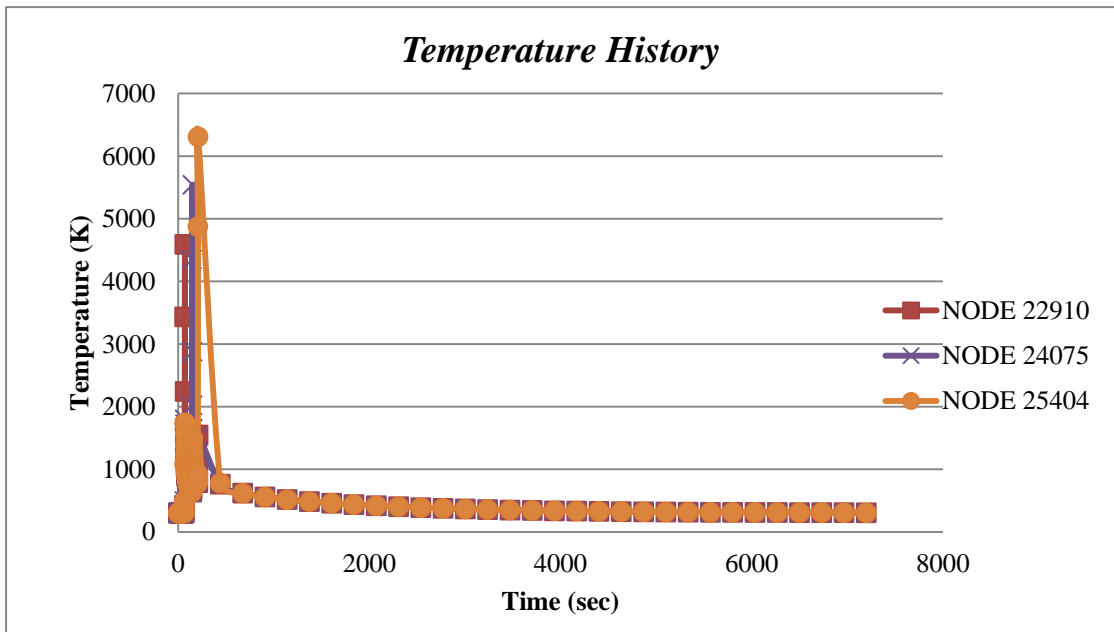
mempunyai dimensi, struktur, material properties, *heat input*, kondisi batas, dan titik acuan yang sama dengan material uji. Hal ini bertujuan untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan kenyataan. Pada Gambar 4.29, distribusi panas dapat dilihat bahwa ada perubahan suhu pada model, yaitu selama rentang waktu pengelasan dan kemudian menurun secara perlahan pada waktu pendinginan.

Tabel 4.10 *Loadstep* Pembebanan pada pengelasan FCAW-SS 150 A

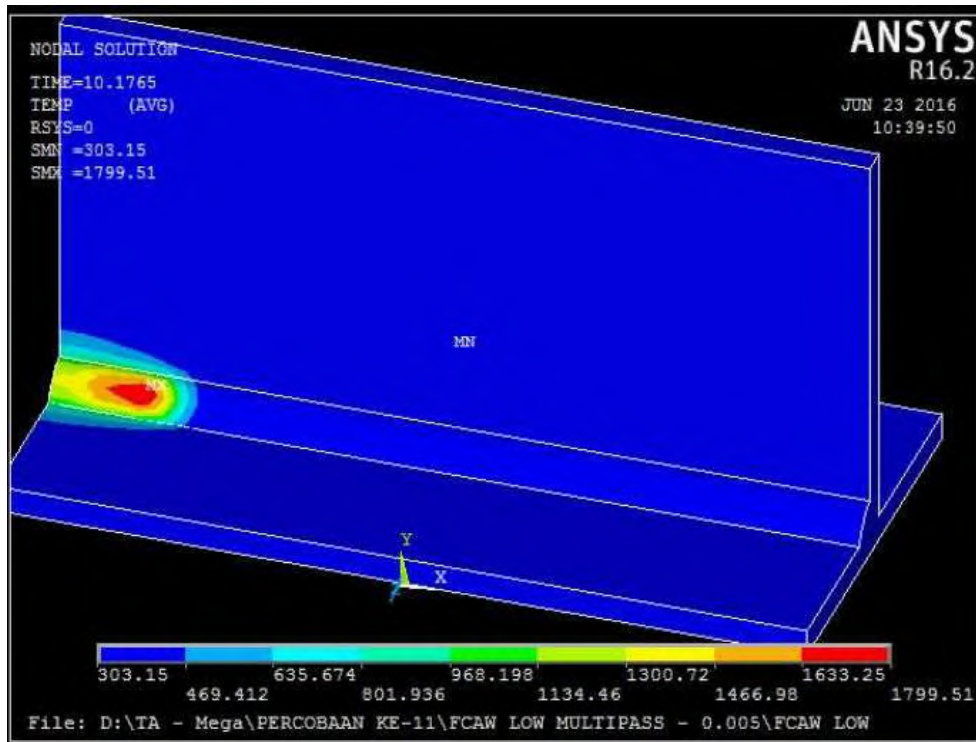
Load Step	filler			capping 1		capping 2	
	No. Area		waktu	No. Area	waktu	No. Area	waktu
1	155	175	3,5	79	73,7	200	151,7
2	154	174	7,0	78	77,6	199	154,6
3	153	173	10,5	77	81,6	198	157,6
4	152	172	13,9	76	85,5	197	160,6
5	151	171	17,4	75	89,5	196	163,6
6	150	170	20,9	74	93,4	195	166,5
7	149	169	24,4	73	97,4	194	169,5
8	148	168	27,9	72	101,3	193	172,5
9	147	167	31,4	71	105,3	192	175,5
10	146	166	34,9	70	109,2	191	178,4
11	145	165	38,4	69	113,2	190	181,4
12	144	164	41,8	68	117,1	189	184,4
13	143	163	45,3	67	121,0	188	187,4
14	142	162	48,8	66	125,0	187	190,4
15	141	161	52,3	65	128,9	186	193,3
16	140	160	55,8	64	132,9	185	196,3
17	139	159	59,3	63	136,8	184	199,3
18	138	158	62,8	62	140,8	183	202,3
19	137	157	66,3	61	144,7	182	205,2
20	136	156	69,7	82	148,7	181	208,2



Gambar 4.28 *Loadstep* pembebanan pada area pemodelan FCAW-SS 150 A



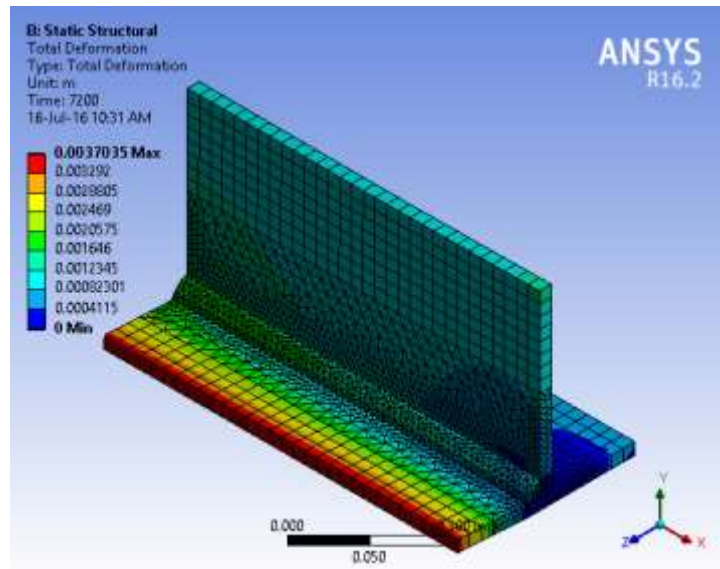
Gambar 4.29 Grafik perubahan temperatur tiap detik pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan FCAW-SS 150 A



Gambar 4.30 Distribusi panas pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan FCAW-SS 150 A

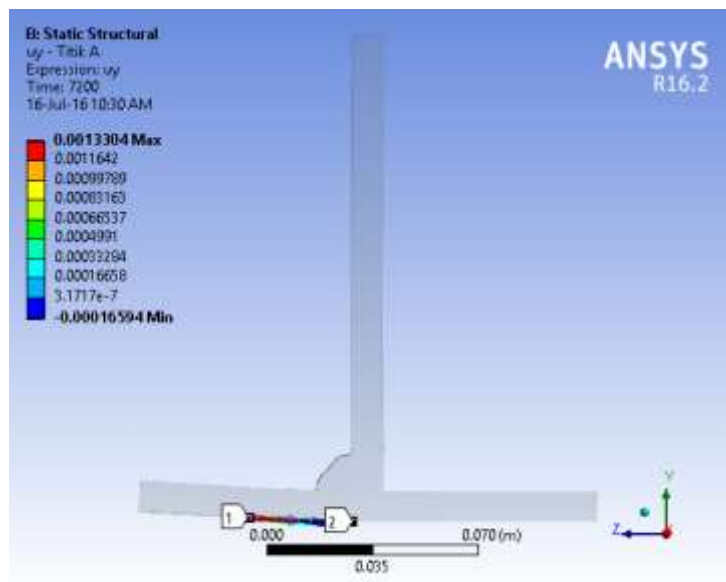
#### IV.4.3.6. Hasil Analisis Struktural Model Pengelasan FCAW-SS 150 A

Pada penelitian tugas akhir ini hasil pemodelan struktur ANSYS 16.2 berupa nilai distorsi. Hasil analisis struktural ini divalidasi dengan hasil distorsi pengujian. Terdapat tanda plus dan minus pada nilai deformasi, namun tanda tersebut hanya menyatakan arah distorsi yang terjadi sesuai tempat yang ditinjau pada saat pengujian. Hasil analisis total distorsi dapat dilihat pada Gambar 4.31.



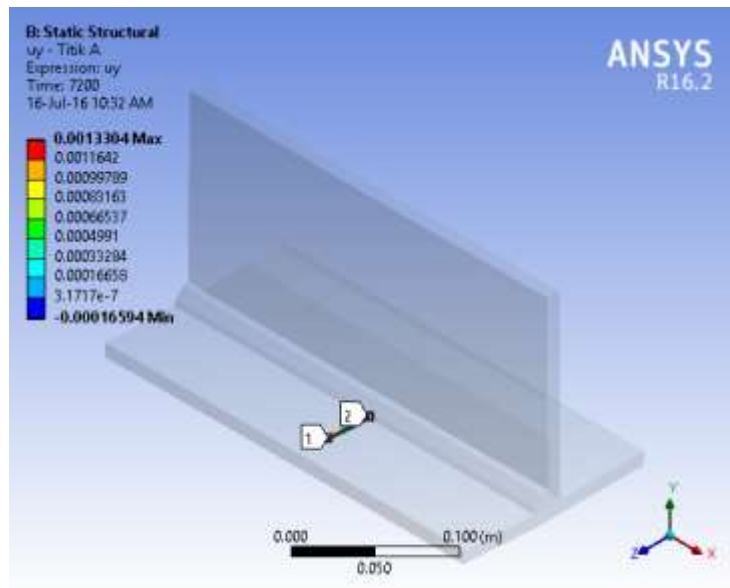
Gambar 4.31 Total Deformasi dari Analisis Struktural pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Pada eksperimen, pengukuran distorsi meninjau empat titik sesuai pada Gambar 4.1. Dimana pada pemodelan juga meninjau pengukuran distorsi sesuai titik yang ditinjau pada hasil eksperimen. Titik yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.32 hingga Gambar 4.39.



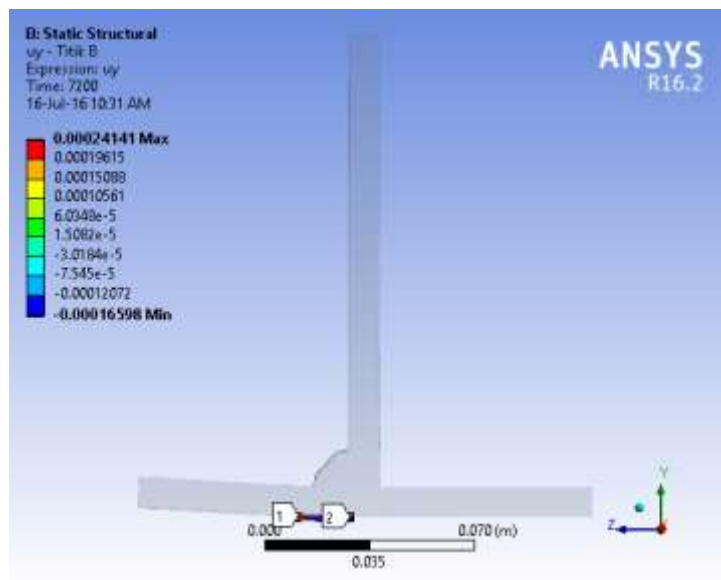
Gambar 4.32 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.33.



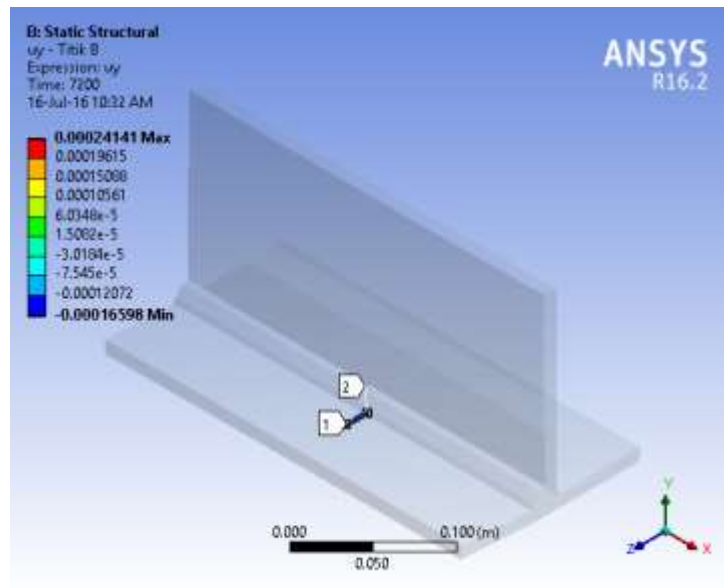
Gambar 4.33 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.34.



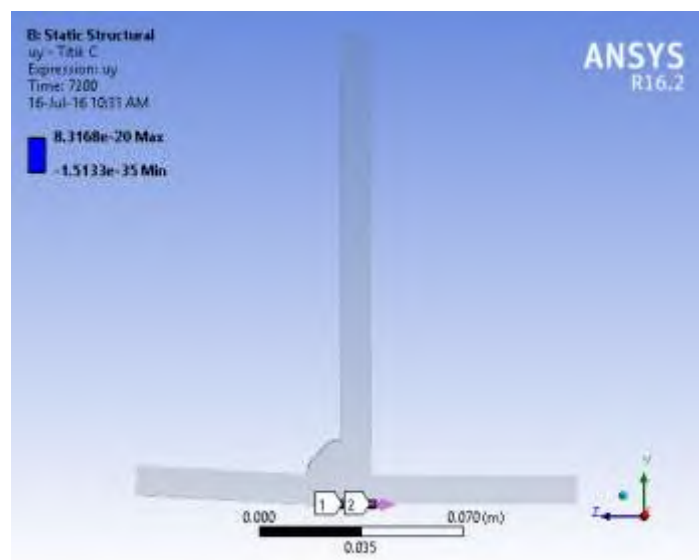
Gambar 4.34 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak  $(-1,7);0$  dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.35.



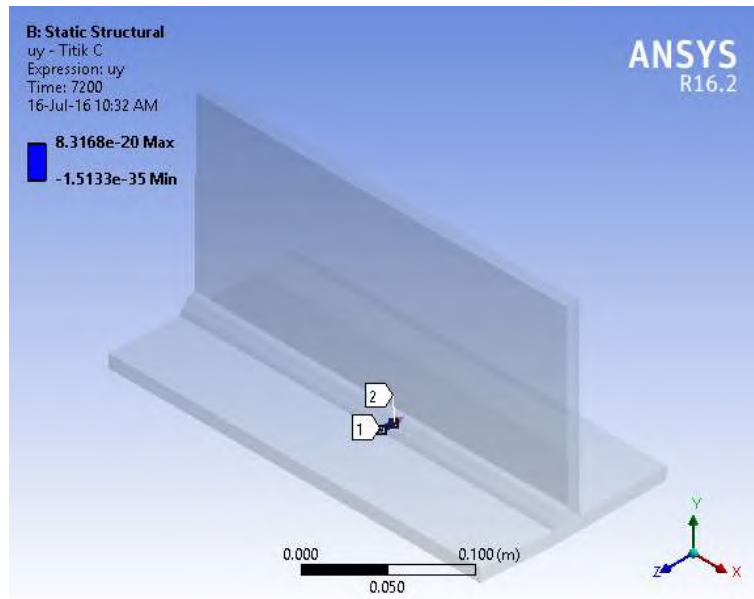
Gambar 4.35 Garis peninjauan distorsi dengan jarak  $(-1,7);0$  dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak  $(1,0)$  dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.36.



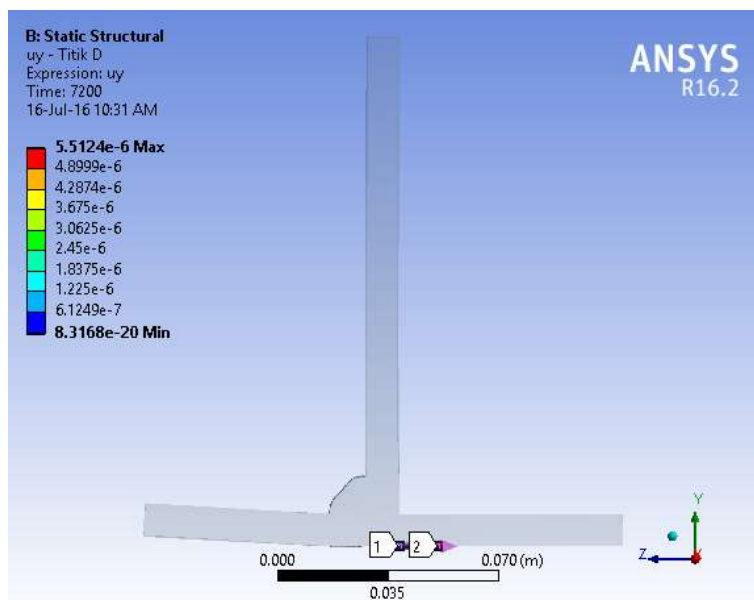
Gambar 4.36 Garis peninjauan distorsi dengan jarak  $(1,0)$  dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.37.



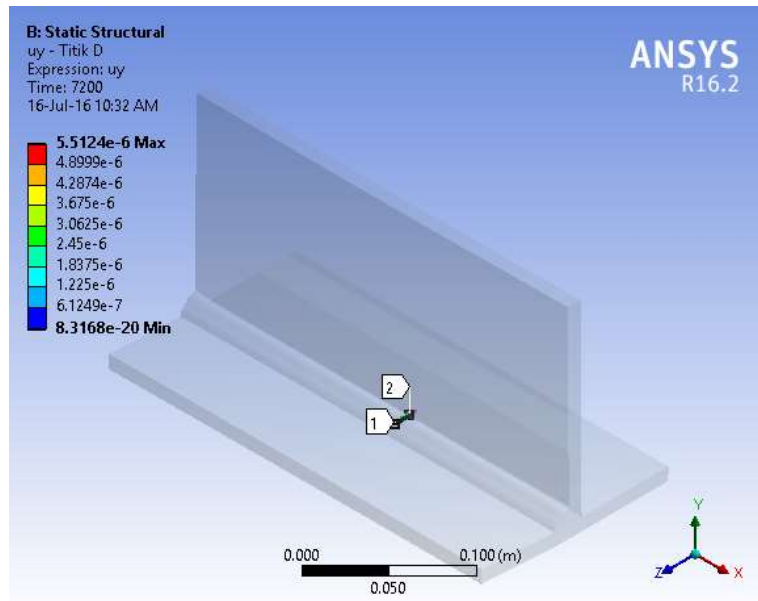
Gambar 4.37 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.39.



Gambar 4.39 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Tabel 4.11 Besar distorsi sesuai titik yang ditinjau pada pemodelan FCAW-SS 150 A pada ANSYS 16.2

Spesimen	Distorsi (mm)			
	Jarak dari lasan (x,y)			
	(-3,4);0	(-1,7);0	(1,0)	(2,2);0
FCAW-SS 150 A	1,33	0,24	0,00	0,01

#### IV.4.3.7. Hasil Analisis *Thermal* Model Pengelasan FCAW-SS 200 A

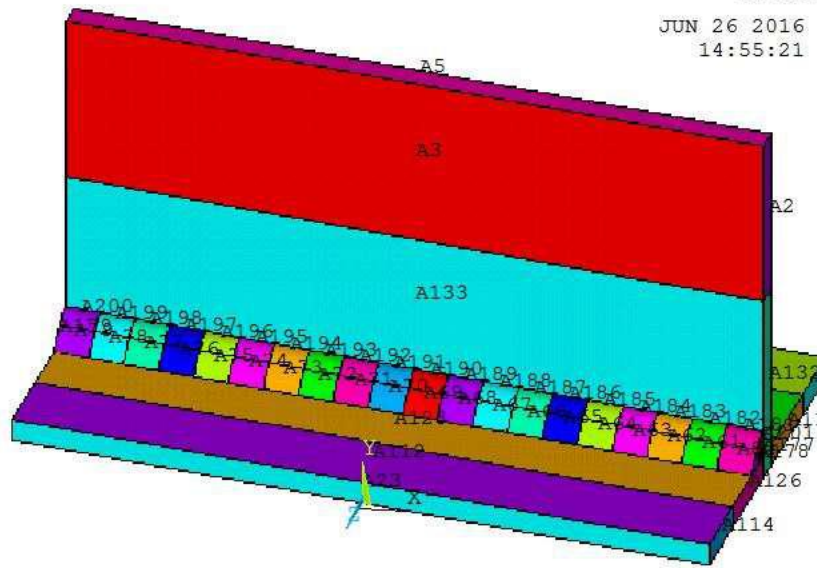
Hasil pemodelan dari analisis *thermal* dalam penelitian tugas akhir ini berupa perubahan temperatur tiap detik. Dibawah ini dapat dilihat perubahan tiap waktu hasil pemodelan dan analisis *thermal* dengan menggunakan ANSYS 16.2. Gambar 4.40 diperoleh dari model yang mempunyai dimensi, struktur, material properties, *heat input*, kondisi batas,



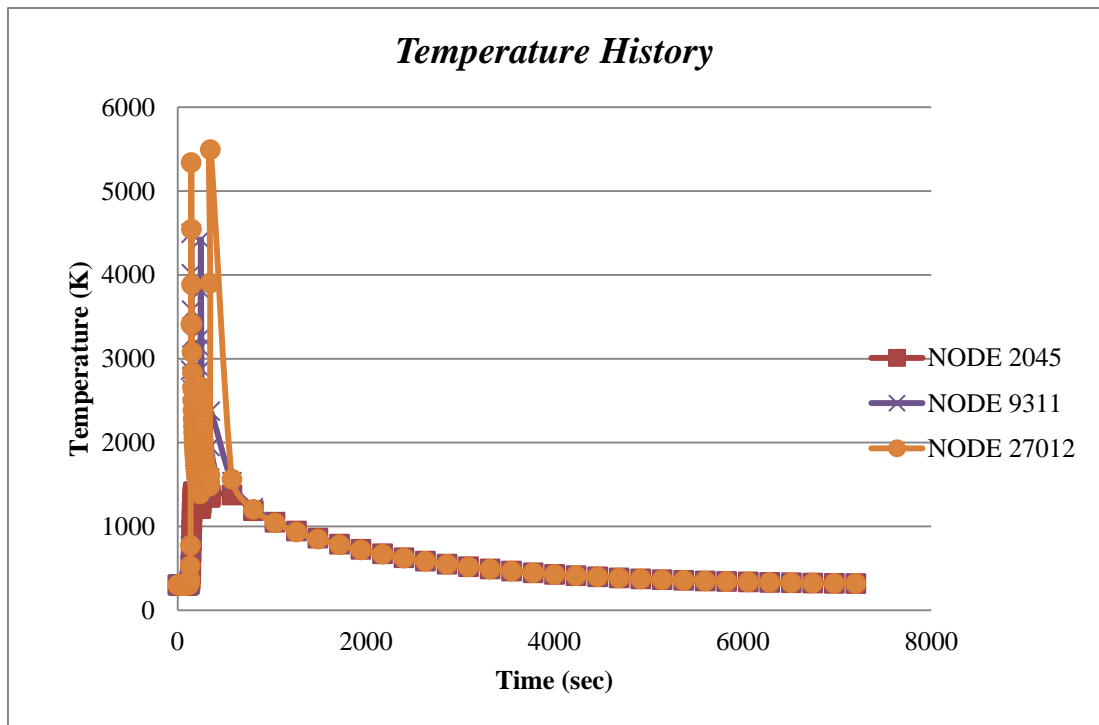
dan titik acuan yang sama dengan material uji. Hal ini bertujuan untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan kenyataan. Pada Gambar 4.41, distribusi panas dapat dilihat bahwa ada perubahan suhu pada model, yaitu selama rentang waktu pengelasan dan kemudian menurun secara perlahan pada waktu pendinginan.

Tabel 4.12 *Loadstep* Pembebanan pada pengelasan FCAW-SS 200 A

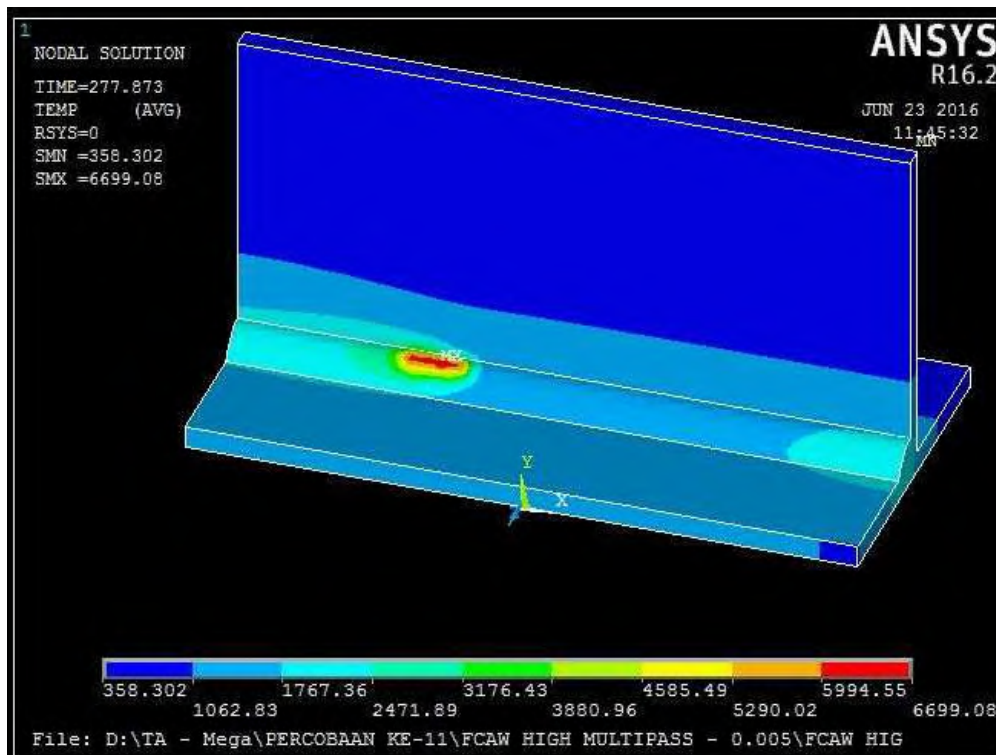
Load Step	filler		waktu	capping 1		capping 2	
	No.	Area		No.	Area	No.	Area
1	155	175	7,2	79	149,0	200	250,3
2	154	174	14,4	78	154,1	199	255,5
3	153	173	21,6	77	159,1	198	260,6
4	152	172	28,8	76	164,2	197	265,8
5	151	171	36,0	75	169,3	196	270,9
6	150	170	43,2	74	174,3	195	276,1
7	149	169	50,4	73	179,4	194	281,2
8	148	168	57,6	72	184,4	193	286,4
9	147	167	64,8	71	189,5	192	291,5
10	146	166	72,0	70	194,6	191	296,7
11	145	165	79,2	69	199,6	190	301,8
12	144	164	86,4	68	204,7	189	307,0
13	143	163	93,6	67	209,8	188	312,1
14	142	162	100,8	66	214,8	187	317,3
15	141	161	108,0	65	219,9	186	322,4
16	140	160	115,2	64	224,9	185	327,6
17	139	159	122,4	63	230,0	184	332,7
18	138	158	129,5	62	235,1	183	337,9
19	137	157	136,7	61	240,1	182	343,0
20	136	156	143,9	82	245,2	181	348,2



Gambar 4.40 *Loadstep* pembebanan pada area pemodelan FCAW-SS 200 A



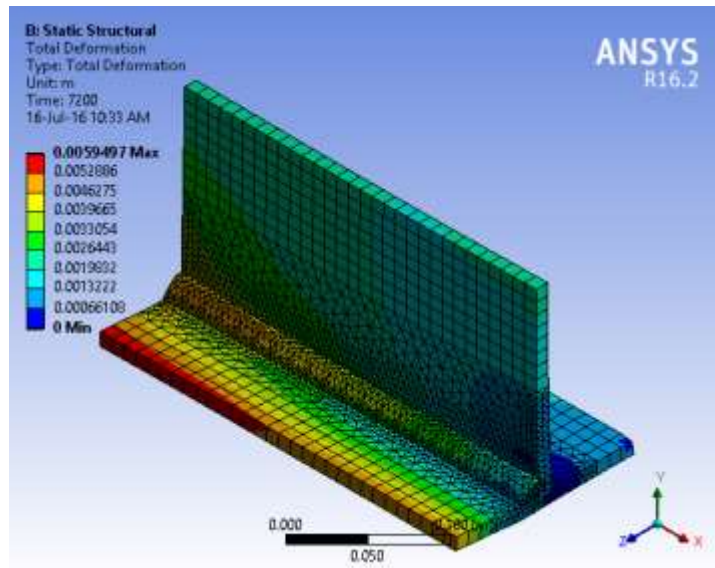
Gambar 4.41 Grafik perubahan temperatur tiap detik pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan FCAW-SS 200 A



Gambar 4.42 Distribusi panas pengelasan pelat sambungan T dengan jenis pengelasan FCAW-SS 200 A

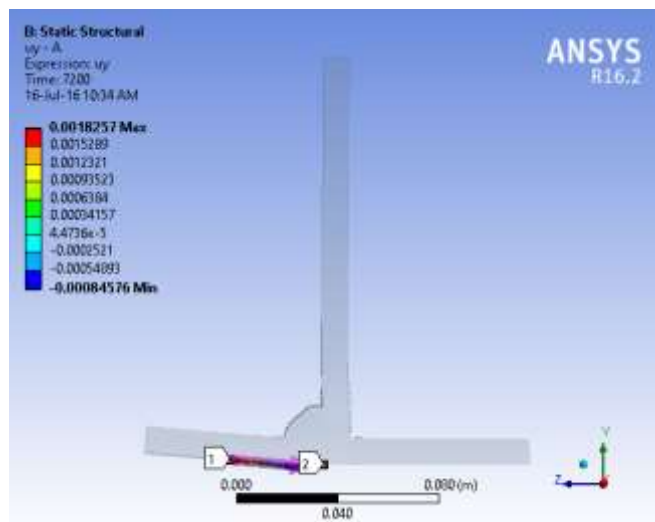
#### IV.4.3.8. Hasil Analisis Struktural Model Pengelasan FCAW-SS 200 A

Pada penelitian tugas akhir ini hasil pemodelan struktur ANSYS 16.2 berupa nilai distorsi. Hasil analisis struktural ini divalidasi dengan hasil distorsi pengujian. Terdapat tanda plus dan minus pada nilai deformasi, namun tanda tersebut hanya menyatakan arah distorsi yang terjadi sesuai tempat yang ditinjau pada saat pengujian. Hasil analisis total distorsi dapat dilihat pada Gambar 4.31.



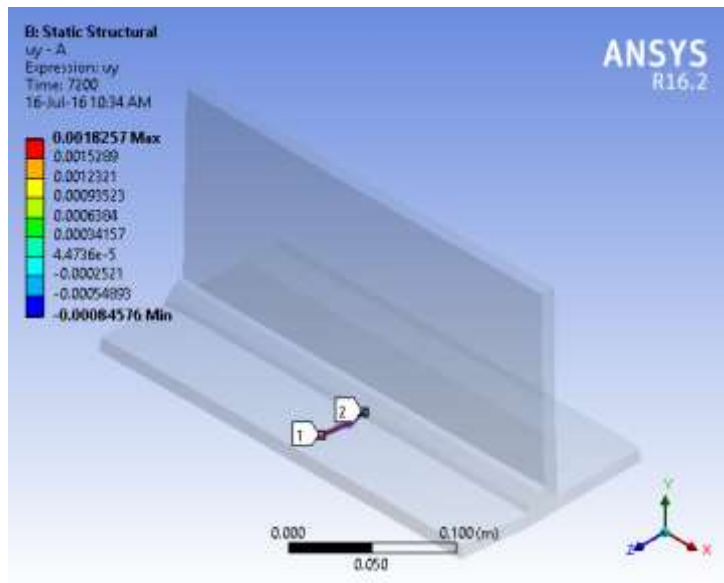
Gambar 4.43 Total Deformasi dari Analisis Struktural pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Pada eksperimen, pengukuran distorsi meninjau empat titik sesuai pada Gambar 4.1. Dimana pada pemodelan juga meninjau pengukuran distorsi sesuai titik yang ditinjau pada hasil eksperimen. Titik yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.44 hingga Gambar 4.51.



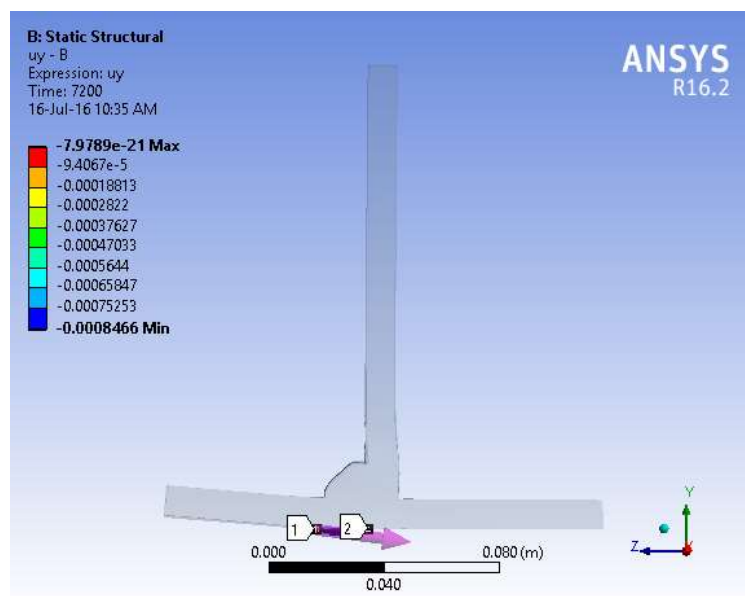
Gambar 4.44 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.45.



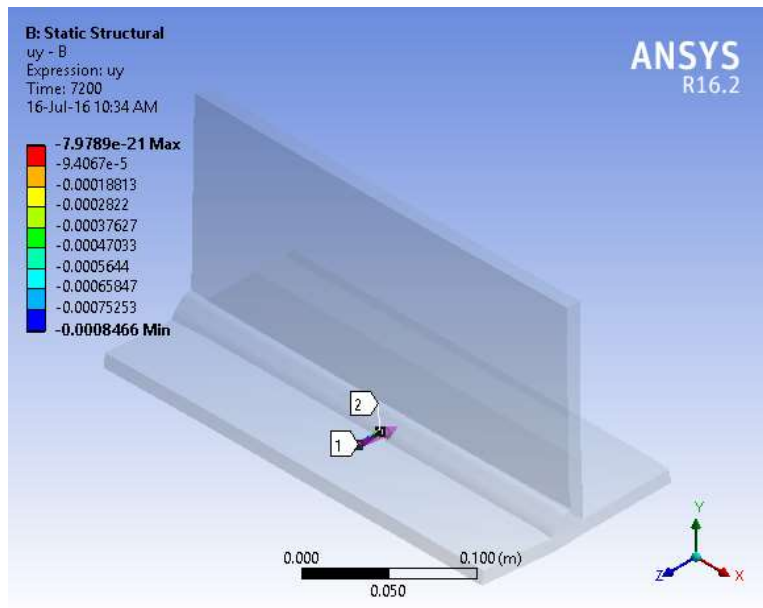
Gambar 4.45 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-3,4);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.46.



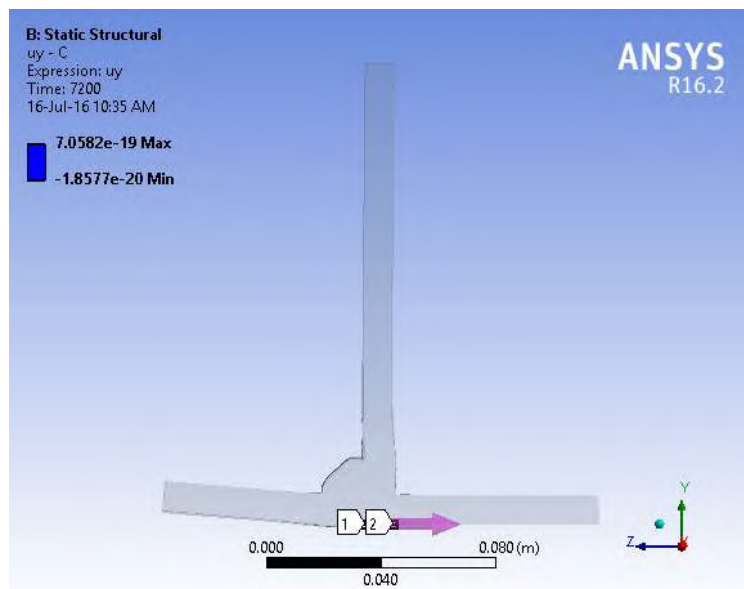
Gambar 4.46 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.47.



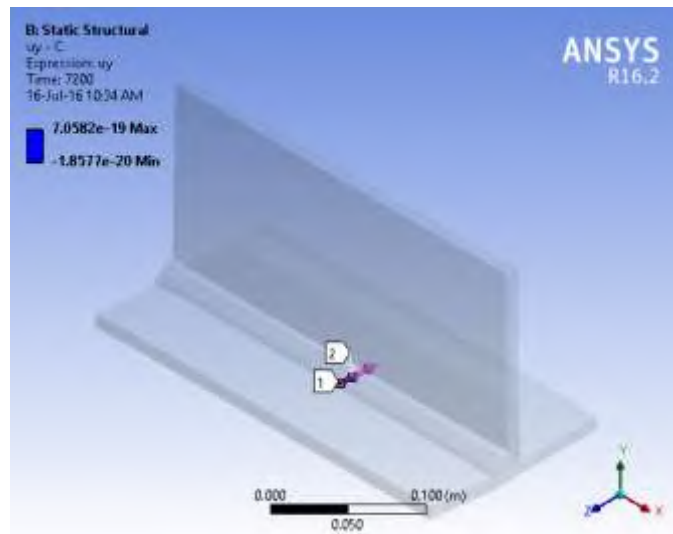
Gambar 4.47 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (-1,7);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.48.



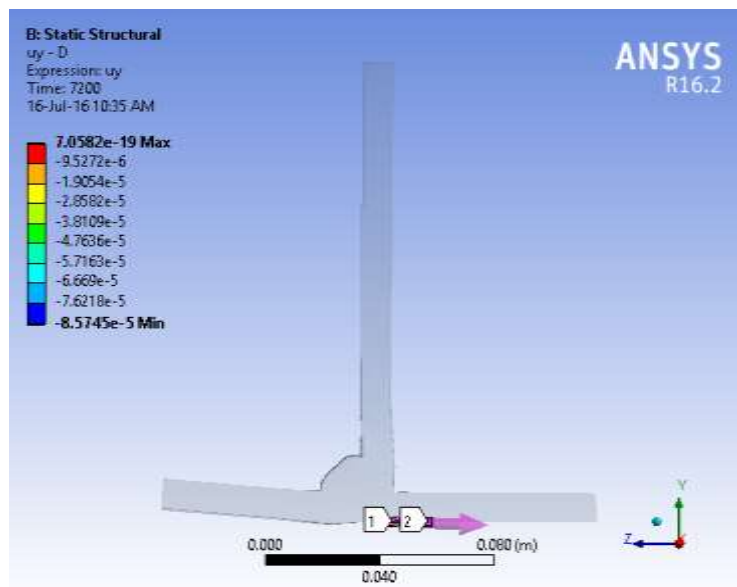
Gambar 4.48 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.49.



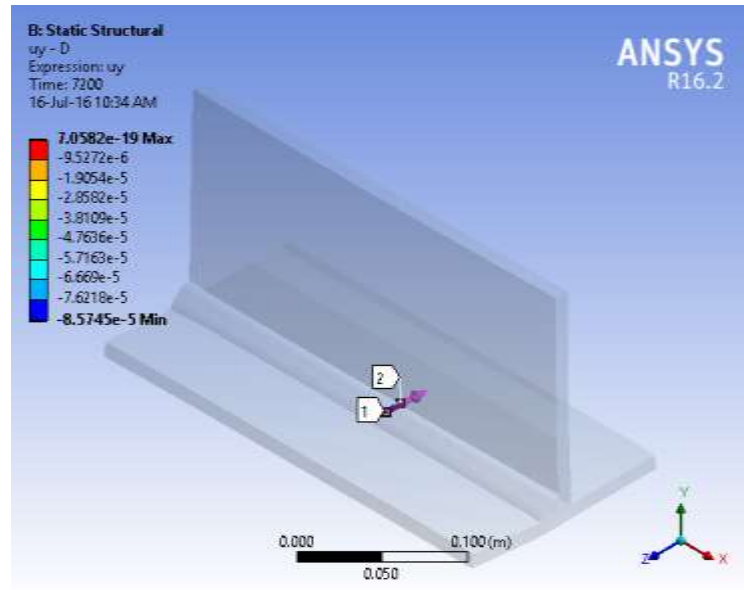
Gambar 4.49 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (1,0) dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 tampak samping pada Gambar 4.50.



Gambar 4.50 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2 tampak isometri pada Gambar 4.51.



Gambar 4.51 Garis peninjauan distorsi dengan jarak (2,2);0 dari lasan pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Tabel 4.13 Besar distorsi sesuai titik yang ditinjau pada pemodelan FCAW-SS 200 A pada ANSYS 16.2

Spesimen	Distorsi (mm)			
	Jarak dari lasan (x,y)			
	(-3,4);0	(-1,7);0	(1,0)	(2,2);0
FCAW-SS 200 A	1,83	-0,24	0,00	-0,02

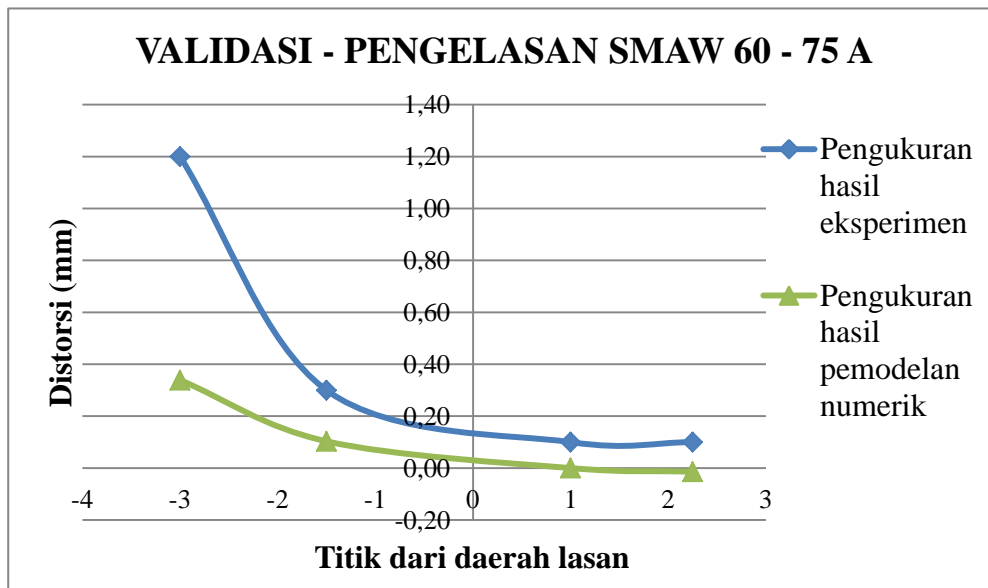
#### IV.5. Validasi Distorsi

Dalam tugas akhir ini untuk memastikan bahwa analisis dengan pemodelan ANSYS telah sesuai dengan pengujian, maka perlu dilakukan validasi. Validasi yang dipakai pada penelitian tugas akhir ini adalah validasi distorsi.

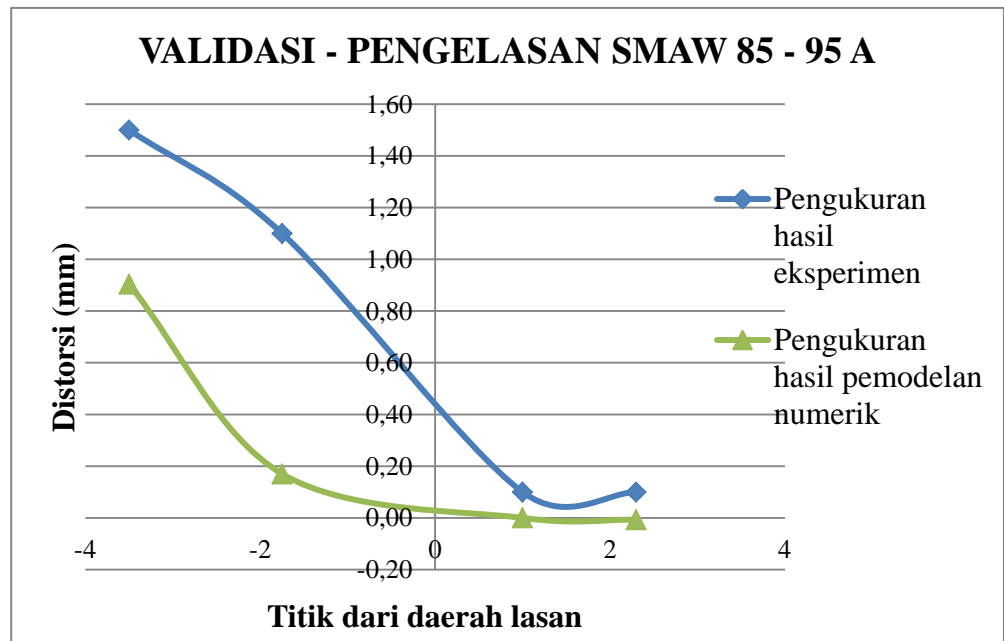


Analisis struktur yang sudah dilakukan pada pemodelan harus divalidasi. Validasi struktural digunakan untuk menentukan apakah pemberian beban dan pemberian derajat kebebasan (*constraint*) sudah sesuai dengan pengujian. Hal ini dapat dilihat dengan cara membandingkan hasil deformasi pemodelan ANSYS dengan deformasi hasil pengujian.

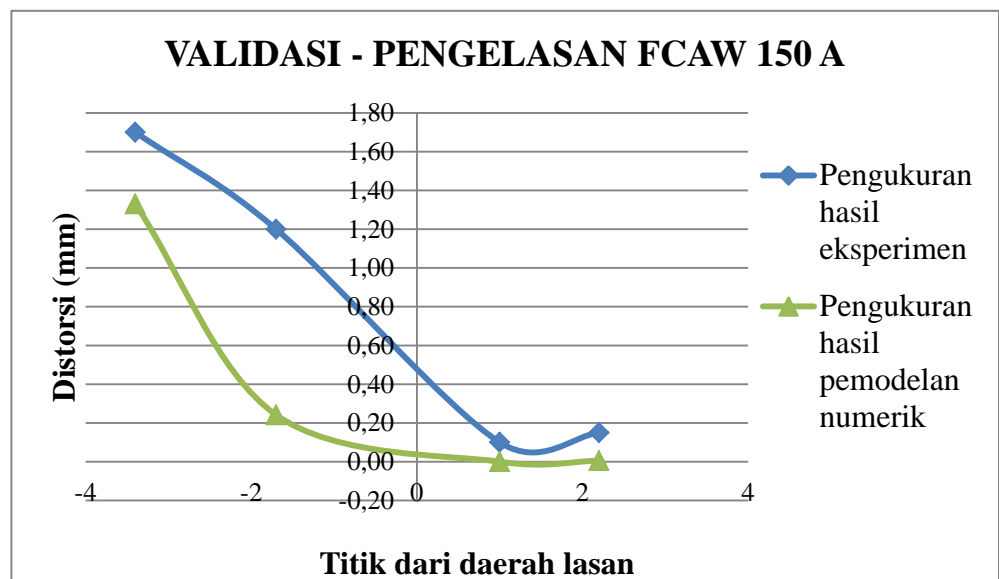
Panas setempat yang terjadi pada pengelasan menyebabkan adanya distorsi pada *base metal*. Dalam pemodelan ANSYS, pembebanan yang dikenakan pada analisis struktur ini adalah berupa panas yang dihasilkan dari analisis thermal. Pembebanan tersebut dilakukan berdasarkan catatan waktu *load step* maupun *substep* yang terjadi pada saat pembebanan thermal. Sehingga waktu yang tercatat pada analisis struktur ini akan sama dengan catatan waktu pada analisis thermal. Hasil perubahan distorsi dari pengujian pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.52, Gambar 4.53, Gambar 4.54, dan Gambar 4.55.



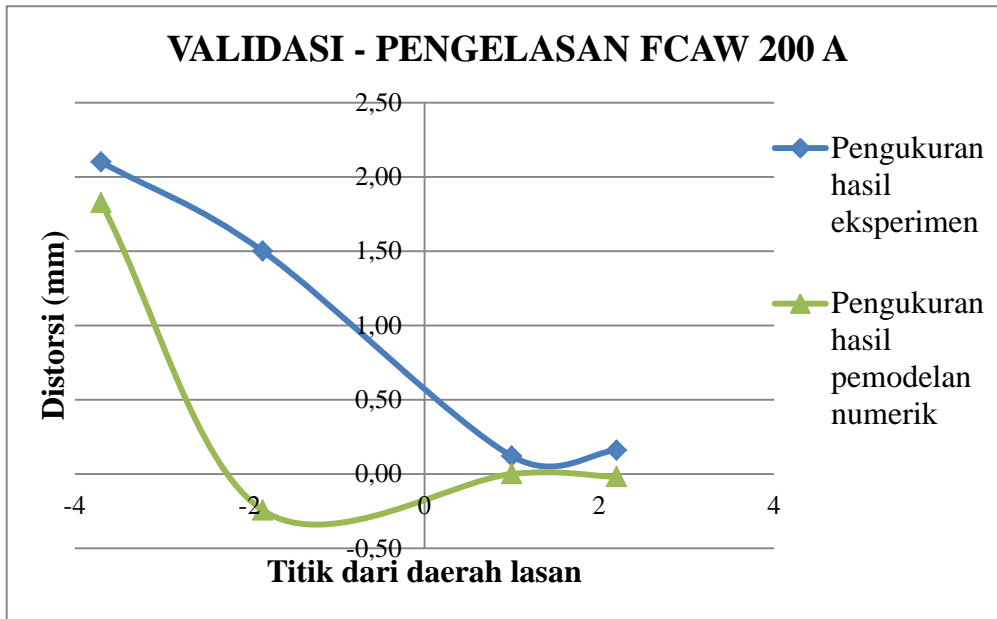
Gambar 4.52 Grafik Validasi deformasi pengelasan SMAW 60-75 A



Gambar 4.53 Grafik Validasi deformasi pengelasan SMAW 85-95 A



Gambar 4.54 Grafik Validasi deformasi pengelasan FCAW-SS-SS  
150 A



Gambar 4.55 Grafik Validasi deformasi pengelasan FCAW-SS-SS 200 A

Berdasarkan gambar grafik di atas, dapat dilihat bahwa kurva distorsi yang terjadi pada pemodelan dengan ANSYS memiliki kecenderungan bentuk grafik yang hampir sama dengan hasil pengujian. Meskipun pada pemodelan ANSYS ada penyimpangan, namun penyimpangan yang terjadi tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan pada saat pengukuran distorsi pada pengujian dilakukan setelah dilakukan pemotongan material untuk uji makroetsa. Sehingga terjadi *stress release* (tegangan sisa), yaitu proses yang memiliki tujuan untuk mengurangi atau melepaskan semua tegangan sisa ataupun tegangan internal yang terbentuk pada saat proses pengelasan. Pada hasil pengukuran distorsi secara eksperimen mempunyai nilai yang lebih besar daripada pengukuran distorsi secara numeris. Hal ini dikarenakan pengukuran distorsi secara eksperimen dilakukan manual yang dibutuhkan ketelitian. Sehingga hasil yang diperoleh tidak bisa tepat 100%. Sedangkan pada pemodelan numeris, ANSYS secara otomatis mengukur besarnya distorsi setelah dikenakan beban distribusi panas.

Oleh karena memiliki kurva dengan trend yang hampir sama dan penyimpangan tidak terlalu besar, maka dapat disimpulkan pemodelan

dinyatakan valid. Karena hasil pemodelan baik hasil dari pembebanan thermal maupun struktural memiliki kecenderungan kurva yang sama dengan hasil percobaan yang telah dilakukan.

#### IV.6. Pembahasan Hasil Analisis

Berdasarkan analisis pada masing-masing pengelasan pelat sambungan T dengan variasi *heat input* dapat diketahui besarnya distorsi yang terjadi. Berikut akan ditampilkan tabel distorsi yang diperoleh dari *running* struktural ANSYS beserta penentuan variasi *heat input* yang paling kecil yang dapat dilihat dari deformasi.

Hasil analisis struktur pemodelan ANSYS berupa nilai distorsi masing-masing variasi *heat input* dapat ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.14 Hasil pengukuran distorsi analisis struktural pada pengelasan sambungan T dengan variasi *heat input*

HI (kJ/mm)	Spesimen	Distorsi (mm)			
		Jarak dari lasan (x,y)			
		(-3,4);0	(-1,7);0	(1,0)	(2,2);0
0,85	SMAW 60-75 A	0,34	0,10	0,00	-0,01
1,47	SMAW 85-95 A	0,90	0,17	0,00	-0,01
1,47	FCAW-SS 150 A	1,33	0,24	0,00	0,01
2,95	FCAW-SS 200 A	1,83	-0,24	0,00	-0,02

Distorsi maksimum terjadi pada pengelasan sambungan T dengan jenis pengelasan FCAW-SS 200 A, sedangkan distorsi minimum terjadi pada pengelasan sambungan T jenis pengelasan SMAW 60-75 A. Pengelasan jenis SMAW 60-75 A memberikan masukan panas (*heat input*) yang rendah dibandingkan pengelasan jenis yang lain. Hal ini yang menyebabkan distorsi pada pengelasan sambungan T dengan jenis pengelasan SMAW 60-75 A lebih kecil dibandingkan dengan distorsi pada pengelasan sambungan T dengan pengelasan jenis SMAW 85-95 A, FCAW-SS 150 A, dan FCAW-SS 200 A.

Distorsi maksimum terjadi pada jarak yang (-3,4);0 dari lasan, dimana pada daerah ujung pelat dalam kondisi bebas atau tidak diberikan

tumpuan (*constraint*). Sehingga ujung pelat yang lebih tinggi daripada ujung yang diberi tumpuan (*constraint*) dan bentuk pelat melengkung ke atas.

**LAMPIRAN A**  
**(*WELDING PROCEDURE***  
***SPECIFICATION*)**

# **LAMPIRAN A**

*(WELDING PROCEDURE SPECIFICATION)*

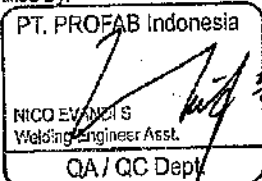
Certificate no.: Welder AWS-WP4115-M-1-6GR

**Welder / Welding Operator Performance Qualification (WPQ)**  
**AWS D1.1 Structural Welding Code – Steel**

Welder's Name:	<u>MAIDIN</u>	PROFAB Stamp No.:	<u>WP-4115</u>
Welding Process(es) used:	<u>SMAW</u>	Type:	<u>Manual</u>
WPS used:	<u>JN956-STR-016</u>	Rev	<u>1</u>
Base material welded:	<u>API 5L X52</u>	Test Date:	<u>19-Sep-2013</u>
	Specification	Description (Plate/Pipe), size (diameter and thickness)	
		Pipe 8" OD thk 12.70 to 22.23 mm	
AWS Group	<u>I</u> to AWS	Actual Values	Range Qualified
		Group I	Group I to IV
Thickness plate,	Table 4.11		
Groove, mm		-	5 mm – unlimited
Fillet, mm		-	All <sup>1</sup>
Thickness pipe,	Table 4.11		
Groove, mm		12.70 to 22.23 mm	5 mm – unlimited
Fillet, mm		-	All <sup>1</sup>
Pipe diameter,	Table 4.11	8" OD	≥ 4" diameter
Weld deposit thickness for each welding process			
Single/ multiple electrode	Table 4.12 Item 7	Single	Single
Current/ Polarity		DCEP	
Welding Position	Table 4.12 Item 8	6GR	T, K, Y & PJP All positions <sup>2</sup>
Progression (uphill/ downhill)	Table 4.12 Item 5	Uphill	Uphill
Backing (metal, weld metal, welded from sides, flux, etc.)	Table 4.12 Item 6	Without	With or Without
Filler Metal Specification	<u>5.1</u>	Classification	E-7018-1 & E-7018-1
Filler Metal F-No.			F4
GMAW transfer mode			N/A
Gas/ Flux Type			N/A
Notes:	1. Qualified also for welding partial joint penetration on any thickness		
	2. CJP butt joint for pipe and box tube shall use backing or back gouging		

Visual examination results	4.31.1	Acceptable	
Radiographic/Ultrasonic test results	4.31.3.2	Acceptable	Report No. <u>HIM/JN1095/WQT/765</u>
(for alternative qualification of groove welds by radiography)			Radiographic/UT test conducted by: <u>PT. Biro Klasifikasi Indonesia</u>
			Fillet Test Results (4.30.2.3 & 4.30.4.1)
Appearance	<u>N/A</u>	Fillet Size	<u>N/A</u>
Fracture Test Root Penetration	<u>N/A</u>	Macroetch	<u>N/A</u>
Welding test conducted by	<u>Welding Supervisor</u>	Witnessed By	<u>QC Inspector</u>
Mechanical test conducted by	<u>N/A</u>	Laboratory test no.	<u>N/A</u>

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded and tested, in accordance with the requirements of Section 4 of ANSV AWS D1.1 2010 Edition Structural Welding Code – Steel.

Certified By:  
  
 PT. PROFAB Indonesia  
 NICO EVANDIS  
 Welding Engineer Asst.  
 QA / QC Dept  
 QA / Welding Engineer

Witness/ Reviewed:

Witness/ Reviewed:



FJARI-5  
Bureau Veritas



PT PROFAB INDONESIA  
 JL. BAWAL KAY V. BATU AMPAR  
 TAIL: +62 778 413 250; Fax: +62 778 413 260  
 BATAM ISLAND, INDONESIA  
 Web Page : www.pjrhb.co.id

**PROFAB**

WELDERS QUALIFICATION TEST (AWS D1.1)  
 PT. PROFAB INDONESIA

PT. Profab

Job No : 1095  
 Dated : 19-Sep-2013

NO	WELDER NAME	Deposited Weld Metal	Coupon No.	WELDER STAMP	CODES	WELDING PROCESS	Position	BASE MATERIAL	WPS NO.	DATE TEST	VISUAL	RT	NDE/DE TEST REPORT NO.
1	LAMBOK BUTAR-BUTAR	Root, fil & cap	1095-049	WP	AWS D1.1	SMAW	4G	Plate EH36	WPS-AWS-M12-Q	19-Sep-13	FAIL	-	
2	EKO PRAYETNO	Root, fil & cap	1095-050	WP	AWS D1.1	SMAW	6GR	API 5L X52, Ø8" Sch 80 to Sch XXX	IN956-STR-016	19-Sep-13	ACC	ACC	BKJ/INT1095/RT/023
3	CHANRA	Root, fil & cap	1095-051	WP	AWS D1.1	SMAW	6GR	API 5L X52, Ø8" Sch 80 to Sch XXX	IN956-STR-016	19-Sep-13	ACC	ACC	BKJ/INT1095/RT/024
4	IDRIANTO	Root, fil & cap	1095-052	WP	AWS D1.1	SMAW	6GR	API 5L X52, Ø8" Sch 80 to Sch XXX	IN956-STR-016	19-Sep-13	ACC	ACC	BKJ/INT1095/RT/025
5	MALDIN	Root, fil & cap	1095-053	WP	AWS D1.1	SMAW	6GR	API 5L X52, Ø8" Sch 80 to Sch XXX	IN956-STR-016	19-Sep-13	ACC	ACC	HIM/JNI1095/W/QT/765
6	ARI YUDI	Root, fil & cap	1095-054	WP	AWS D1.1	SMAW	6GR	API 5L X52, Ø8" Sch 80 to Sch XXX	IN956-STR-016	19-Sep-13	ACC	ACC	BKJ/INT1095/RT/026
7	DIDI HENDRIADI	Root, fil & cap	1095-055	WP	AWS D1.1	SMAW	6GR	API 5L X52, Ø8" Sch 80 to Sch XXX	IN956-STR-016	19-Sep-13	FAIL	-	
8	RUPRIZAL	Fill & cap	1095-056	WP	AWS D1.1	FCAW-GS	6G	API 5L X52, Ø8" Sch XXXS	WPS-AWS-TFG338-A-LT40	19-Sep-13	FAIL	-	
9	MUKANSI	Root, fil & cap	1095-057	WP	AWS D1.1	FCAW-GS	6G	API 5L X52, Ø8" Sch XXXS	WPS-AWS-TFG338-A-LT40	19-Sep-13	FAIL	-	
10	MUHL SYUKRI	Fill & cap	1095-058	WP	AWS D1.1	FCAW-GS	6G	API 5L X52, Ø8" Sch XXXS	WPS-AWS-TFG338-A-LT40	19-Sep-13	ACC	ACC	BKJ/INT1095/RT/027
11	SANDESS SANIPAR	Fill & cap	1095-060	WP	AWS D1.1	FCAW-GS	6G	API 5L X52, Ø8" Sch XXXS	WPS-AWS-TFG338-A-LT40	19-Sep-13	FAIL	-	BKJ/INT1095/RT/028

Prepared by:

Witnessed by:

Witnessed by:

PT. PROFAB Indonesia  
 NICO EYANG, S  
 Medical Engineer Assl.  
 QA/QC Dept



FIARIS

QA/WELDING ENGINEER



**RADIOGRAPHIC REPORT**

Job/ Contract No. : JN 1095	Work Order : 64221	Report No : HIM/JN1095/WQT/765
Project : WQT		Date of Testing : 20-Sep-13
Location : PT. PROFAB INDONESIA		Drawing No. :
Customer : BAM CLOUGH	Rev :	
Type of Material : CS	Radiation : Ir. 192	Radiographic Technique
Thickness, Tm : 12,7 TO 22,23	Activity : 25 ci	<input type="checkbox"/> DWSI <input type="checkbox"/> DWDI <input checked="" type="checkbox"/> SWSI
Weld Thickness : 15,7 TO 25,23	kV / mA :	Screen Type : Pb. 0,125 mm
Dist. From SSOF : 15,7 TO 25,23	Source Size : 3 x 2 mm	Unsharp. Geo. : 0,09 mm
SOD : 381	IQI Selection (Weld Reinforcement As Per Code + Tm) : ASTM 1B	Procedure No : PFB-WI 036- JN1095
Exposure Time : 1 Minute		Applicable CODE : AWS D1.1

Identification	Joint No	Film Location	Welder ID	Welding Process	TYPE OF DISCONTINUITY							Sensitivity	Range Density	Result	Remark
					Crack	Incomplete Pen.	Incomplete Fusion	Porosity	Slag Inclusion	Undercut	Other				
MAIDIN	BGR	0 - 8	TBA	SMAW								0,8%	2,4 - 2,7	ACC	
		8 - 16						v					2,4 - 2,6	ACC	ROUNDED
		16 - 24											2,5 - 3,0	ACC	
		24 - 0											2,5 - 2,8	ACC	

Film Type = AGFA D7  
 Total Films : 4  
 4" x 10" = 4 Sheets  
 4" x 15" = Sheet  
 7" x 17" = Sheet  
 Number of film in each film holder = 1 sheet  
 SSOF : Distance from Source Side of Object to the film at the min.SOD  
 SOD : Source to Object Distance

Examined By :	Reviewed By:	Reviewed By:	Reviewed By:	Reviewed By:
RI level II 	PT. PROFAB Indonesia  NICO EVANS Welding Engineer Asst. QA / QC Dept.			
Name : SETIAWAN	Name :	Name : IMMA YEMOI	Name :	Name :
Date : 21/09/13	Date : 22-9-13	Date : 25/9/2013	Date :	Date :



**PT. PROFAB INDONESIA**

JL. BAWAL KAV. V BATU MERAH  
 BATAM ISLAND, INDONESIA  
 PHONE: 62 778 413 250 FAX: 62 778 413 260  
 email: profab@indosat.net.id

Certificate no.: Welder AWS-WP4115-M2-6G

**Welder / Welding Operator Performance Qualification (WPQ)**  
**AWS D1.1 Structural Welding Code – Steel**

Welder's Name:	<u>MAIDIN</u>	Profab Stamp No.:	<u>WP-4115</u>
Welding Process(es) used:	<u>SMAW</u>	Type:	<u>Manual</u>
WPS used:	<u>WPS-AWS-M8-Q</u>	Rev	<u>0</u>
Base material welded:	<u>SA 106 B</u>	Test Date:	<u>12-Oct-15</u>
	Specification	Description (Plate/ Pipe), size (diameter and thickness)	<u>219.3 mm OD (12.70 mm)</u>
AWS Group	<u>I</u> to AWS	Actual Values	Range Qualified
Thickness plate,	Table 4.11	<u>SA 106 B</u>	<u>All Carbon/Low Alloy Steel</u>
Groove, mm		<u>-</u>	<u>5 mm – unlimited</u>
Fillet, mm		<u>-</u>	<u>All<sup>1</sup></u>
Thickness pipe,	Table 4.11	<u>10.97 mm</u>	<u>5 mm – unlimited</u>
Groove, mm		<u>-</u>	<u>All<sup>1</sup></u>
Fillet, mm		<u>168.3 mm</u>	<u>≥ 100 mm diameter</u>
Pipe diameter,	Table 4.11		
Weld deposit thickness for each welding process			
Single/ multiple electrode	Table 4.12 item 7	<u>Single</u>	<u>Single</u>
Current/ Polarity		<u>DCEP</u>	
Welding Position	Table 4.12 item 3	<u>6G</u>	<u>All except T,K,Y</u>
Progression (uphill/ downhill)	Table 4.12 item 5	<u>Uphill</u>	<u>Uphill</u>
Backing (metal, weld metal, welded from sides, flux, etc.)	Table 4.12 item 6	<u>With</u>	<u>With</u>
Filler Metal Specification	<u>5.1</u>	Classification	<u>E7018-1</u>
Filler Metal F-No.		<u>F4</u>	<u>F1 to F4</u>
GMAW transfer mode		<u>N/A</u>	
Gas/ Flux Type		<u>N/A</u>	

- Notes: **1. Qualified also for welding partial joint penetration on any thickness**  
**2. CJP butt joint for pipe and box tube shall use backing or back gouging**

Visual examination results	<u>4.30.1</u>	<u>Acceptable</u>
Radiographic/Ultrasonic test results (for alternative qualification of groove welds by radiography)	<u>4.30.3.1</u>	<u>Acceptable</u>
	Radiographic/UT test conducted by:	<u>PT. Hitek Indo Mulla</u>
	Report No.	<u>HIM/JN1165/PQT/2894</u>
	Filet Test Results (4.30.2.3 & 4.30.4.1)	
Appearance	<u>N/A</u>	Fillet Size <u>N/A</u>
Fracture Test Root Penetration	<u>N/A</u>	Macroetch <u>N/A</u>
Welding test conducted by	<u>Welding Supervisor</u>	Witnessed By <u>QC Inspector</u>
Mechanical test conducted by	<u>N/A</u>	Laboratory test no. <u>N/A</u>

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded and tested, in accordance with the requirements of Section 4 of ANSI AWS D1.1 2010 Edition Structural Welding Code – Steel.

PT. PROFAB Indonesia  
  
 JEFFRI MALARU  
 Welding Engineer Asst  
 QA/QC Dept.

Witnessed  Reviewed  
 And found to comply with:  
 Date: 12 Oct 2015  
 Sign: BUYUNG NUL HAKIM

QA / Welding Engineer

DNV



PT. Hitek Indo Mulla  
NDT Inspection Services



**RADIOGRAPHIC REPORT**

Job/Contract No. : JN 1165	Work Order : 27426	Report No. : HIM/JN1165/PQT/2894
Project : PQT		Date of Testing : 12-Oct-16
Location : PT. PROFAB INDONESIA		Drawing No. :
Customer : NOV	Rev :	
Type of Material : API 6L GR B / X 42 TO API 5L X 52	Radiation : Ir, 102	Radiographic Technique
Thickness, Tm : 12.70 MM	Activity : 25 cl	<input checked="" type="checkbox"/> DWSI <input type="checkbox"/> DWDI <input type="checkbox"/> SWSI
Weld Thickness : 15.70 MM	kV / mA :	Screen Type : Pb, 0.125 mm
Dist. From SSOF : 16.70 MM	Source Size : 3 x 2 mm	Unsharp. Geo. : 0.09 mm
SOD : 193.7	(Q) Selection (Weld Reinforcement As Per Code + Trn) : ASTM 1B	Procedure No : PFS-WI 035-JN1165
Exposure Time : 1 Minute		Applicable CODE : AWS D1.1

Identification	Joint No	Film Location	Welder ID	Welding Process	TYPE OF DISCONTINUITY							Sensitivity	Range Density	Result	Remark
					Crack	Incomplete Pen.	Incomplete Fusion	Porosity	Slag Inclusion	Undercut	Other				
WPS-AWS-M857-A-LT40	6G	0 - 8	4115	SMAW					✓			2%	2.8 - 3.1	ACC	EL 5 MM
(TP-2)		9 - 18											2.8 - 3.0	ACC	
		18 - 0											2.4 - 2.8	ACC	

Film Type = AGFA D7  
 Total Films = \_\_\_\_\_  
 Number of film in each film holder = 1 sheet  
 4" x 10" = \_\_\_\_\_ Sheets Notes : SSOF : Distance from Source Side of Object to the film at the min.SOD  
 4" x 15" = 2 Sheet SOD : Source to Object Distance  
 7" x 17" = \_\_\_\_\_

Examined By :	Reviewed By :	Reviewed By :	Reviewed By :	Reviewed By :
Name :	Name : QA/QC Dept.	Name :	Name :	Name :
Date : 13/10/16	Date :	Date :	Date :	Date :

And found to comply with  
 Date: 10.28  
 Sign: HARI PRUDDIN

Certificate no.: Welder AWS-WP3556-F1-6GR

**Welder / Welding Operator Performance Qualification (WPQ)**  
**AWS D1.1 Structural Welding Code – Steel**

Welder's Name:	<u>MAIDIN</u>	PROFAB Stamp No.:	<u>WP-3556</u>
Welding Process(es) used:	<u>FCAW SS</u>	Type:	<u>Semi-Auto</u>
WPS used:	<u>AWS13-045</u>	Rev	<u>0</u>
Base material welded:	<u>API 5L X52</u>	Test Date:	<u>30-April-2011</u>
	Specification	Description (Plate/Pipe), size (diameter and thickness)	
AWS Group	<u>II</u> to AWS	Actual Values	Range Qualified
		Group II	Group I to IV
Thickness plate,	Table 4.11		
Groove, mm		-	5 mm – unlimited
Fillet, mm		-	All <sup>1</sup>
Thickness pipe,	Table 4.11		
Groove, mm		15 to 22 mm	5 mm – unlimited
Fillet, mm		-	All <sup>1</sup>
Pipe diameter,	Table 4.11	8" NPS	≥ 100 mm diameter
Weld deposit thickness for each welding process			
Single/ multiple electrode	Table 4.12 item 7	Single	Single
Current/ Polarity		DCEN	
Welding Position	Table 4.12 item 3	6GR	T,K,Y & PJP All positions
Progression (uphill/ downhill)	Table 4.12 item 5	Uphill	Uphill
Backing (metal, weld metal, welded from sides, flux, etc.)	Table 4.12 item 6	No	With or without
Filler Metal Specification	<u>5.29</u>	Classification	E71T8-K6
Filler Metal F-No.		F6	F6
GMAW transfer mode		N/A	
Gas/ Flux Type		N/A	
Notes:	1. Qualified also for welding partial joint penetration on any thickness		
	2. CJP butt joint for pipe and box tube shall use backing or back gouging		

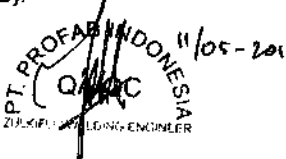
Visual examination results	4.30.1	Acceptable	
Radiographic/Ultrasonic test results	4.30.3.1	Acceptable	Report No. <u>HI/RT/WQT/511</u>
(for alternative qualification of groove welds by radiography)			Radiographic/UT test conducted by: <u>PT. HITEK INDO MULIA</u>
		Fillet Test Results (4.30.2.3 & 4.30.4.1)	
Appearance	<u>N/A</u>	Fillet Size	<u>N/A</u>
Fracture Test Root Penetration	<u>N/A</u>	Macroetch	<u>N/A</u>
Welding test conducted by	<u>Welding Supervisor</u>	Witnessed By	<u>QC Inspector</u>
Mechanical test conducted by	<u>N/A</u>	Laboratory test no.	<u>N/A</u>

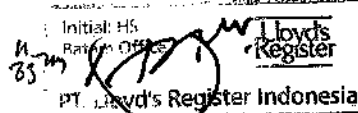
We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded and tested, in accordance with the requirements of Section 4 of ANSI/ AWS D1.1 2010 Edition Structural Welding Code – Steel.

Certified By:

Witness/ Reviewed:

Witness/ Reviewed:

  
PT. PROFAB INDONESIA  
11/05-2011  
QA/Welding Engineer

  
Initial: HS  
Ratna OHS  
PT. Lloyd's Register Indonesia

QA / Welding Engineer

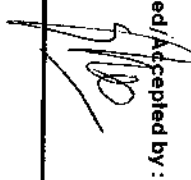
Lloyd Register

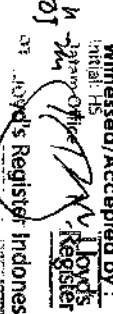
**WELDERS QUALIFICATION TEST AWS D1.1  
PT. PROFAB INDONESIA**

Job No : 982  
Dated : 30-Apr-2011

NO	WELDER NAME	Deposited Weld Metal	CLASS	WELDER STAMP	CODES	WELDING PROCESS		POSITION	BASE MATERIAL	WPS NO.	VISUAL	NDE	NDE/BEND TEST REPORT NO.
<b>6GR Carbon Steel (AWS D1.1) WELDER DIP ENGINEERING</b>													
1	MADIN	Root, Fill & Cap	LR	WP	ASME VIII DIV 1	FCAW SS	6GR	6GR	CS 8" 15 to 22 mm	AWS13-045	PASS	PASS	HI/RT/WQT/511
2	AFRIZAL	Root, Fill & Cap	LR	WP	ASME VIII DIV 1	FCAW SS	6GR	6GR	CS 8" 15 to 22 mm	AWS13-045	FAIL		
3	RIKO JASDARMAN	Root, Fill & Cap	LR	WP	ASME VIII DIV 1	FCAW SS	6GR	6GR	CS 8" 15 to 22 mm	AWS13-045	FAIL		
4	SUGITO BIN SUNARJO	Root, Fill & Cap	LR	WP	ASME VIII DIV 1	FCAW SS	6GR	6GR	CS 8" 15 to 22 mm	AWS13-045	FAIL		
5	HARTOYO	Root, Fill & Cap	LR	WP	ASME VIII DIV 1	FCAW SS	6GR	6GR	CS 8" 15 to 22 mm	AWS13-045	FAIL		
6	ABA HASAN	Root, Fill & Cap	LR	WP	ASME VIII DIV 1	FCAW SS	6GR	6GR	CS 8" 15 to 22 mm	AWS13-045	FAIL		

  
 RUDI RUSDI  
 WELDER ENGINEER  
**QA WELDING ENGINEER**

Witnessed/Accepted by :  
 HMC  


Witnessed/Accepted by :  
 HMC  
  
 HMC  
 HMC's Register/ Indonesia



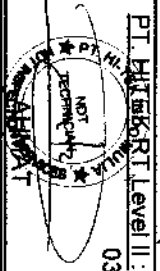
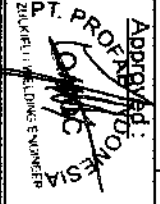
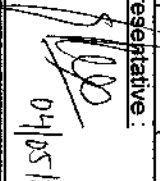
**PT. HITEK INDO MULIA**  
 NDT Inspection Services



Client : PT. PROFAB INDONESIA  
 Location : WQT  
 Project : WQT

**RADIOGRAPHIC INSPECTION REPORT**

Report No : HIRT/WQT/511  
 Job No : 982  
 Date Tested : 03-May-11

Technical Data	Identification (Drawing No.)	Joint No.	Location	Welder Ref (Stamp)	Material Thickness	Pipe Dia	Density	Sensitivity	Discontinuity	Result	Comment
NDT Request no : 32866	WQT										
Material : CS	MAIDIN		0 - 8		15 mm	8"	3.5	2.0%	POR	ACC	
Welding Process : FCAW/SS			8 - 16		22 mm		3.4		POR	ACC	
Position : 6 GR			16 - 24				3.4		Root U/C/EP	ACC	
Radiographic Technique : DWSI			24 - 0				2.7		POR	ACC	
Source Type : Ir. 192	RUDI AHDIAT		0 - 8		15 mm	8"	3.4	2.0%	POR	ACC	
Source size : 3 x 2 mm			8 - 16		22 mm		3.5		POR	ACC	
Curies : 25 ci			16 - 24				3.3			ACC	PASS
Density : 2 - 4			24 - 0				3.1			ACC	
Sensitivity : 2%											
Exposure Time : 1 menit											
Film Type : Agfa D7											
Screen Type : Pb 0,125mm											
SFD : OD											
IQI : ASTM 1B											
Specification Code : ASME VIII DIV 1											
Total Film : 8 Sheet (4 x 10")											
											
PT. HITEK INDO MULIA Level II : 03-May-11	Approved:  RUDI AHDIAT RUDI AHDIAT										
Legend: SI : Slag Inclusion    CV : Concavity    LOF : Lack Of Fusion    BT : Burn Through    TI : Tungsten Inclusion WH : Whorm Holes    UC : Undercut    POR : Porosity    CP : Crater Pipe    EP : Excessive Penetration CR : Crack    GP : Gas Pore    IC : Cupper Inclusion    EL : Elongated    IP : Incomplete penetration											
Other: Form. No : FT-NDT-06 DEPT : NDT REV : 02 DATE : 02-01-08				Client Representative: HMC 				Third Party: Initial: HS PT. Lloyd's Register Indonesia			

**Procedure Qualification Record Run Sheet**  
**PQR No : S1-A**

Welding Process(es)	SMAW
Welding Progression	2F
Welder Name/ ID	Maidin
Welder 1	N/A
Welder 2	N/A
<b>Material Specification</b>	
Base Material 1	Carbon Steel EN 10025-2 S355J2+N:2004
Heat No.	A48445401-MK684092
Base Material 2	Carbon Steel EN 10025-2 S355J2+N:2004
Heat No.	A48445401-MK684092
Plate Thk (mm)	10 mm to 10 mm
Pipe Diameter (mm)	- (Plate)
Dimension Material 1	150 mm W x 300 mm L
Dimension Material 2	150 mm W x 300 mm L

Purge gas & flow	-
Shielding gas & flow	
Bevel Angle	90 °
Root Face	3 mm
Gap	0-1,55 mm
Position	2F
Preheat Temp	28
NDT	Visual Testing
Date Start	22-Aug-15
Time Start	-
Time Finish	-
Date Finish	22-Aug-15
Welding Machine	Lincoln electric
Clamp meter	KYORITSU CM-10
Background Current	-
Peak Current	-

**Welding Material**

Filler Metal 1	SMAW
Brand name	Lincoln Jetweld LH75MR
AWS Class No	E7018-1- H4R
Heat / Lot Number	Ø2.5 mm : 06E25
Filler Metal 2	
Brand name	
AWS Class No	
Heat / Lot Number	
Filler Metal 3	
Brand name	
AWS Class No	
Heat / Lot Number	
Flux class	
Flux trade name	
Heat / Lot Number	

Side	Pass Id	AWS No (Class)	Dia (mm)	Polarity	Pass No	Layer No	Amperage (A)		Voltage ( V )		WFS (In / min)	Travel Speed (mm/min)	Weld Bead		Heat Input( kJ/ mm)		Temp (°C)
							Min	Max	Min	Max			Width	Depth	Min	Max	
1	FILLER	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	1	1	87	89	19	23	-	103	5	3	1,0	1,2	28
1	CAPPING	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	2	2	87	89	19	23	-	166	5	3	0,6	0,7	45
1	CAPPING	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	3	3	87	89	19	23	-	142	5	3	0,7	0,9	70

Note :

1. Harus ada preheat dan interpass karena berpengaruh ke sifat material/mekanik
2. Gambar welding sequencenya

Prepared by:  <b>WELDING ENGINEER PROFAB</b>	Reviewed by:	Witnessed/ Accepted by:	Witnessed/ Accepted by:
--	--------------	-------------------------	-------------------------



**PT PROFAB INDONESIA**

JL.BAWAL KAV.V BATU AMPAR  
 Tel: +62 778 413 250; Fax: +62 778 413 260  
 BATAM ISLAND, INDONESIA  
 Web Page : www.profab.co.id

# Profab

## **PROCEDURE QUALIFICATION RECORD**

Applicable Code: ASME IX - BOILER and Pessure Vessel

<b>PQR Number</b>	: <u>S1-A</u>	Date	: <u>22-Aug-15</u>
		Revision No	: <u>0</u>
Welding Process(es)	: <u>SMAW</u>	Type of process	: <u>Manual</u>

### JOINTS DETAIL (QW-402)

Joint Design	: <u>Fillet Welded T Joint</u>	Backing	: <u>YES (SMAW)</u>
Backing Material Type	: <u>None</u>	Retainer	: <u>None</u>

### BASE METALS (QW-403)

Mat'l Spec. Range	: <u>EN 10025-2 S355J2+2:2004</u>		
Thk Base Metal (mm)	: <u>10 mm</u>	Diameter base metal	: <u>- (Plate)</u>
Heat Number	: <u>A48445401-MK684092</u>	to	<u>A48445401-MK684092</u>

### FILLER METALS (QW-404)

	Filler Metal 1	Filler Metal 2	Filler Metal 3
Welding Process	: <u>SMAW</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Specification (SFA) No	: <u>A5.1</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
AWS Class No	: <u>E7018-1- H4R</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Brand name	: <u>Lincoln Jetweld LH75MR</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
F No. / A-No	: <u>4/1</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Filler Metal Size (Ø mm)	: <u>2,5</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Weld Metal Thk	: <u>2 mm</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>

*Remark : C: 0.10 , Si: 0.73 , Mn: 1.38 , P: 0.008 , S: 0.016 , Cu: 0.14 , Ni: 0.01 , Cr: 0.03 , Mo: <0.01 , V: 0.001*

### POSITION (QW-405)

Welding Position	: <u>2F</u>
Welding Progression	: _____
	: _____

### PREHEAT (QW-406)

Preheat Temp.	: <u>28</u>
Interpass Temp.	: <u>70</u>
Preheat Maintenance	: <u>Continous welding</u>

### POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Holding Temp (°C)	: <u>N/A</u>
Holding Time	: <u>N/A</u>
Heating rate	: <u>N/A</u>
Cooling rate	: <u>N/A</u>

### GAS (QW-408)

	Gas(es) mixture	Flow Rate
Shielding (GTAW)	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Trailing	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Backing	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW-409)</b>		<b>TECHNIQUES (QW-410)</b>	
Current Polarity	: DCEP (SMAW)	Travel Speed	: See attached runsheet
Amperes	: See attached runsheet	String or Weave	: String & Weave
Voltage	: See attached runsheet	Oscillation	: None
Tungsten size	: 2,5mm	Multi or Single pass	: Multipass

**TENSILE TEST (Report no: PT.PTS/15465-1/12)**

Type	Spec. No	Width (mm)	Thk (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	UTL (kN)	UTS (N/mm <sup>2</sup> )	Location of failure	Remarks

**GUIDED BEND TEST (Report no: PT.PTS/15465-1/12)**

Type	Spec. No	Width (mm)	Thickness (mm)	Result	Remarks

**IMPACT TEST (Report no: PT.PTS/15465-2/12 & PT.PTS/15465-3/12)**

Test Temperature (°C) : °C

Specimen size: 300x150x10mm

WCL		FL *A		FL+2mm *A		FL+5mm *A				Remarks	
Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)				
Avg	0	Avg	0	Avg	0	Avg	0				Acc

		FL *B		FL+2mm *B		FL+5mm *B				Remarks	
		Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)				
		Avg	0	Avg	0	Avg	0				Acc

**FILLET WELD TEST**

Result	N/A	Penetration into weld	N/A	Micro etch	N/A
--------	-----	-----------------------	-----	------------	-----

**OTHER TEST**

	Type	Result	
I.	Macro	Acc	

Welder name (stamp) : MAIDIN

Mechanical test by : PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)

	PREPARED	APPROVED/ACCEPTED	REVIEWED & WITNESSED
Name	Rudi Putera		
Designation	Welding Engineer		
Company	PT PROFAB Indonesia		
Signature & Stamp			
Date			

**PT PROFAB INDONESIA**

JL.BAWAL KAV.V BATU AMPAR

Tel: +62 778 413 250; Fax: +62 778 413 260

BATAM ISLAND, INDONESIA

Web Page : www.profab.co.id

**Profab****WELDING PROCEDURE SPECIFICATON**

Applicable Code: ASME IX - BOILER and Pessure Vessel

WPS No	: <u>ASME-TM339-A-LT46</u>	Date	: <u>22-Aug-15</u>
Supporting PQR No	: <u>TM339-A-LT46</u>	Revision No	: <u>0</u>
Welding Process(es)	: <u>SMAW</u>	Type of process	: <u>Manual</u>

**JOINTS (QW-402)**

Joint Design	: <u>Refer to weld map</u>	Backing	: <u>YES(SMAW)</u>
--------------	----------------------------	---------	--------------------

Backing Material Type	: <u>Weld Metal</u>	Retainer	: <u>N/A</u>
-----------------------	---------------------	----------	--------------

**Note: Details of weld joint are shown in weld map****BASE METALS (QW-403)**P Number 1 Group No 1 to P Number 1 Group No 2Mat'l Spec. Range (With Impact test) N/AMat'l Spec. Range (Non Impact test) P No.1 Group AnyThk Range Base Metal With Impact, Groove (mm) : N/A Fillet (mm) : AllThk Range Base Metal Non Impact, Groove (mm) : N/A Fillet (mm) : AllDiameter Range Base metal : Not Restricted Fillet (mm) : All**FILLER METALS (QW-404)**

	Filler Metal 1	Filler Metal 3	Filler Metal 3
Welding Process	: <u>SMAW</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Specification (SFA) No	: <u>A5.1</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
AWS Class No	: <u>E7018-1 H4R</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Brand name	: <u>Lincoln Jetweld</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
F No. / A-No	: <u>4/1</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Filler Metal Size (Ø mm)	: <u>2,5</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Weld Metal Thk Range			
Groove (mm)	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Fillet (mm)	: <u>All</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Filler Metal Product Form	: <u>Bare Rod</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Electrode Flux class	: <u>N/A</u>	Alloy Elements	: <u>N/A</u>
Flux Trade name	: <u>N/A</u>	Alloy Flux	: <u>N/A</u>
Consumable Insert	: <u>N/A</u>	Flux Type	: <u>N/A</u>
Supplier Filler Material	: <u>N/A</u>	Recrushed Slag	: <u>N/A</u>
Other Information	: <u>N/A</u>		

<b>POSITION (QW-405)</b>			<b>PWHT (QW-407)</b>	
Position(s) of groove Weld Progression Position(s) of Fillet	SMAW	SMAW	N/A	Temperatur Range (°C) : <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">N/A</span>
	All	All	N/A	
	Uphill	Uphill	N/A	Holding time per thickness of material: N/A
	All	All	N/A	

<b>PREHEAT (QW-406)</b>		<b>GAS (QW-408)</b>			
Preheat Temp. Min (°C) :	28	Shielding (GTAW)  Trailing Backing	Gas(es)	Mixture %	Flow Rate
Interpass Temp max (°C) :	70		N/A	N/A	N/A
Preheat Maintenance :	Continous welding		N/A	N/A	N/A
			N/A	N/A	N/A

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW-409)</b>			
Current Polarity :	DCEP (SMAW)	Pulsing Current GTAW :	N/A
Tungsten Electrode Type :	Single	WFS Range (inch/min) :	N/A
Tungsten Electrode Size :	2.5 mm	GMAW Metal Transfer :	N/A

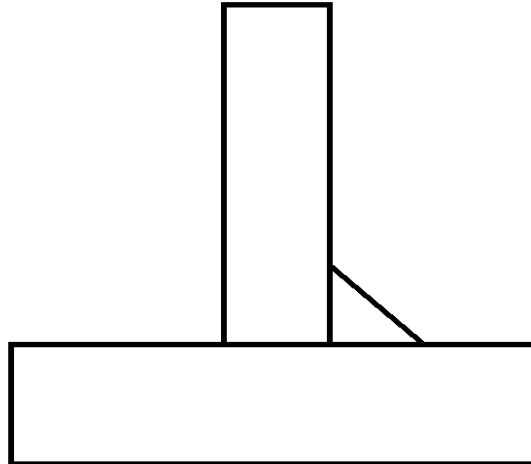
<b>TECHNIQUES (QW-410)</b>			
String or Weave Bead :	String and Weaving	Stick Out/CTWD :	N/A
Method of Cleaning :	Grinding and Brushing	Orifice cup/Nozzle Size :	12 mm
Method of Backgouging :	Grinding/Carbon Arc Gouging	Number of Elctrodes :	Single
Oscillation :	N/A	Wire Speed Range :	N/A
Multi or Single Pass :	Multipass	Other information(s) :	N/A
Closed to out Chamber :	N/A		
Electrode Spacing :	N/A		
Peening :	N/A		

<b>WELDING PARAMETER</b>									
Weld layer	Process	Filler Metal		Curent		Volt Range (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (Kj/mm)	
		Size (mm)	Class	Type of polarity	Amperage Range (A)			min	max
Filler	SMAW	2,5	E 7018-1	DCEP	115 - 120	10 - 12	71,1 - 101,5	0,68	1,22
Capping	SMAW	2,5	E 7018-1	DCEP	149 - 165	11 - 13	155,2 - 165,2	0,60	0,83
Capping	SMAW	2,5	E 7018-1	DCEP	75 - 90	20 - 25	45,0 - 73,8	1,22	3,00

	<b>PREPARED</b>	<b>APPROVED/ACCEPTED</b>	<b>APPROVED/ACCEPTED</b>
<b>Name</b>			
<b>Designation</b>			
<b>Company</b>			
<b>Signature</b>			
<b>Date</b>			

**QUALIFIED JOINTS DETAIL**

Fillet – Any thickness and position



**Procedure Qualification Record Run Sheet**  
**PQR No : S1-A**

Welding Process(es)	SMAW
Welding Progression	2F

**Welder Name/ ID**

Welder 1	Maidin
Welder 2	N/A

**Material Specification**

Base Material 1	Carbon Steel EN 10025-2 S355J2+N:2004
Heat No.	A48445401-MK684092
Base Material 2	Carbon Steel EN 10025-2 S355J2+N:2004
Heat No.	A48445401-MK684092
Plate Thk (mm)	10 mm to 10 mm
Pipe Diameter (mm)	- (Plate)
Dimension Material 1	150 mm W x 300 mm L
Dimension Material 2	150 mm W x 300 mm L

Purge gas & flow	-
Shielding gas & flow	
Bevel Angle	-
Root Face	-
Gap	0-1.5 mm
Position	2F
Preheat Temp	28
NDT	Visual Testing
Date Start	22-Aug-15
Time Start	-
Time Finish	-
Date Finish	22-Aug-15
Welding Machine	Lincoln electric
Clamp meter	KYORITSU CM-10
Background Current	-
Peak Current	-

**Welding Material**

Filler Metal 1	SMAW
Brand name	Lincoln Jetweld LH75MR
AWS Class No	E7018-1- H4R
Heat / Lot Number	Ø2.5 mm : 06E25

Side	Pass Id	AWS No (Class)	Dia (mm)	Polarity	Pass No	Layer No	Amperage (A)		Voltage ( V )		WFS (In / min)	Travel Speed (mm/min)	Weld Bead		Heat Input( kJ/ mm)		Temp (°C)
							Min	Max	Min	Max			Width	Depth	Min	Max	
1	FILLER	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	1	1	96	98	21	26	-	81	3	3	1,5	1,9	28
1	CAPPING	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	2	2	97	98	22	28	-	114	1	1	1,1	1,4	45
1	CAPPING	E7018-1- H4R	2,5	DCEP	3	3	97	98	22	28	-	101	1	1	1,3	1,6	70

Note :

1. Harus ada preheat dan interpass karena berpengaruh ke sifat material/mekanik
2. Gambar welding sequencenya

Prepared by:  <b>WELDING ENGINEER PROFAB</b>	Reviewed by:	Witnessed/ Accepted by:	Witnessed/ Accepted by:
--	--------------	-------------------------	-------------------------

**PT PROFAB INDONESIA**

JL.BAWAL KAV.V BATU AMPAR  
 Tel: +62 778 413 250; Fax: +62 778 413 260  
 BATAM ISLAND, INDONESIA  
 Web Page : www.profab.co.id

**Profab****PROCEDURE QUALIFICATION RECORD**

Applicable Code: ASME IX - BOILER and Pessure Vessel

**PQR Number** : S1-A Date : 22-Aug-15  
 \_\_\_\_\_ Revision No : 0  
 \_\_\_\_\_  
 Welding Process(es) : SMAW Type of process : Manual

**JOINTS DETAIL (QW-402)**

Joint Design : Fillet Welded T Joint Backing : YES (SMAW)  
 \_\_\_\_\_  
 Backing Material Type : None Retainer : None

**BASE METALS (QW-403)**

Mat'l Spec. Range : EN 10025-2 S355J2+2:2004  
 Thk Base Metal (mm) : 10 mm Diameter base metal : - (Plate)  
 Heat Number : A48445401-MK684092 to A48445401-MK684092

**FILLER METALS (QW-404)**

	Filler Metal 1	Filler Metal 2	Filler Metal 3
Welding Process	<u>SMAW</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Specification (SFA) No	<u>A5.1</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
AWS Class No	<u>E7018-1- H4R</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Brand name	<u>Lincoln Jetweld LH75MR</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
F No. / A-No	<u>4/1</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Filler Metal Size (Ø mm)	<u>2,5</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Weld Metal Thk	<u>2 mm</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>

**POSITION (QW-405)**

Welding Position : 2F  
 Welding Progression : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**PREHEAT (QW-406)**

Preheat Temp. : Continous welding  
 Interpass Temp. : 70  
 Preheat Maintenance : Continous welding

**POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407)**

Holding Temp (°C) : N/A  
 Holding Time : N/A  
 Heating rate : N/A  
 Cooling rate : N/A

**GAS (QW-408)**

	Gas(es) mixture	Flow Rate
Shielding (GTAW)	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Trailing	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Backing	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW-409)</b>		<b>TECHNIQUES (QW-410)</b>	
Current Polarity	: DCEP (SMAW)	Travel Speed	: See attached runsheet
Amperes	: See attached runsheet	String or Weave	: String & Weave
Voltage	: See attached runsheet	Oscillation	: None
Tungsten size	: 2.5 mm	Multi or Single pass	: Multipass

**TENSILE TEST (Report no: PT.PTS/15465-1/12)**

Type	Spec. No	Width (mm)	Thk (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	UTL (kN)	UTS (N/mm <sup>2</sup> )	Location of failure	Remarks

**GUIDED BEND TEST (Report no: PT.PTS/15465-1/12)**

Type	Spec. No	Width (mm)	Thickness (mm)	Result	Remarks

**IMPACT TEST (Report no: PT.PTS/15465-2/12 & PT.PTS/15465-3/12)**

Test Temperature (°C) : - °C

Specimen size: -

WCL		FL *A		FL+2mm *A		FL+5mm *A					
Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)				
Avg	0	Avg	0	Avg	0	Avg	0				

**FILLET WELD TEST**

Result	N/A	Penetration into weld	N/A	Micro etch	N/A
--------	-----	-----------------------	-----	------------	-----

**OTHER TEST**

	Type	Result	
I.	Macro	Acc	

Welder name (stamp) : MAIDIN

Mechanical test by : PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)

	PREPARED	APPROVED/ACCEPTED	REVIEWED & WITNESSED
<b>Name</b>			
<b>Designation</b>			
<b>Company</b>			
<b>Signature &amp; Stamp</b>			
<b>Date</b>			



**PT PROFAB INDONESIA**

JL.BAWAL KAV.V BATU AMPAR

Tel: +62 778 413 250; Fax: +62 778 413 260

BATAM ISLAND, INDONESIA

Web Page : www.profab.co.id

**Profab****WELDING PROCEDURE SPECIFICATON**

Applicable Code: ASME IX - BOILER and Pessure Vessel

WPS No	: <u>ASME-TM339-A-LT46</u>	Date	: <u>22-Aug-15</u>
Supporting PQR No	: <u>TM339-A-LT46</u>	Revision No	: <u>0</u>
Welding Process(es)	: <u>SMAW</u>	Type of process	: <u>Manual</u>

**JOINTS (QW-402)**

Joint Design	: <u>Refer to weld map</u>	Backing	: <u>YES(SMAW)</u>
Backing Material Type	: <u>Weld Metal</u>	Retainer	: <u>N/A</u>

**Note: Details of weld joint are shown in weld map****BASE METALS (QW-403)**

P Number	<u>1</u>	Group No	<u>1</u>	to P Number	<u>1</u>	Group No	<u>2</u>
Mat'l Spec. Range (With Impact test)	<u>N/A</u>						
Mat'l Spec. Range (Non Impact test)	<u>P No.1 Group Any</u>						
Thk Range Base Metal With Impact, Groove (mm)	: <u>N/A</u>	Fillet (mm)	: <u>All</u>				
Thk Range Base Metal Non Impact, Groove (mm)	: <u>N/A</u>	Fillet (mm)	: <u>All</u>				
Diameter Range Base metal	: <u>Not Restricted</u>	Fillet (mm)	: <u>All</u>				

**FILLER METALS (QW-404)**

	Filler Metal 1	Filler Metal 2	Filler Metal 3
Welding Process	: <u>SMAW</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Specification (SFA) No	: <u>A5.1</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
AWS Class No	: <u>E7018-1 H4R</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Brand name	: <u>Lincoln Jetweld</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
F No. / A-No	: <u>4/1</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Filler Metal Size (Ø mm)	: <u>2,5</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Weld Metal Thk Range			
Groove (mm)	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Fillet (mm)	: <u>All</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Filler Metal Product Form	: <u>Bare Rod</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Electrode Flux class	: <u>N/A</u>	Alloy Elements	: <u>N/A</u>
Flux Trade name	: <u>N/A</u>	Alloy Flux	: <u>N/A</u>
Consumable Insert	: <u>N/A</u>	Flux Type	: <u>N/A</u>
Supplier Filler Material	: <u>N/A</u>	Recrushed Slag	: <u>N/A</u>
Other Information	: <u>N/A</u>		

<b>POSITION (QW-405)</b>			<b>PWHT (QW-407)</b>	
Position(s) of groove	SMAW	SMAW	N/A	Temperatur Range (°C) : <u>  N/A  </u>
Weld Progression	All	All	N/A	Holding time per thickness of material:
Position(s) of Fillet	Uphill	Uphill	N/A	<u>  N/A  </u>
	All	All	N/A	

<b>PREHEAT (QW-406)</b>		<b>GAS (QW-408)</b>			
Preheat Temp. Min (°C)	: <u>  28  </u>	Shielding (GTAW)	Gas(es)	Mixture %	Flow Rate
Interpass Temp max (°C)	: <u>  70  </u>		N/A	N/A	N/A
Preheat Maintenance	: <u>  Continous welding  </u>		Trailing	N/A	N/A
		Backing	N/A	N/A	N/A

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW-409)</b>			
Current Polarity	: <u>  DCEP (SMAW)  </u>	Pulsing Current GTAW	: <u>  N/A  </u>
Tungsten Electrode Type	: <u>  Single  </u>	WFS Range (inch/min)	: <u>  N/A  </u>
Tungsten Electrode Size	: <u>  2.5 mm  </u>	GMAW Metal Transfer	: <u>  N/A  </u>

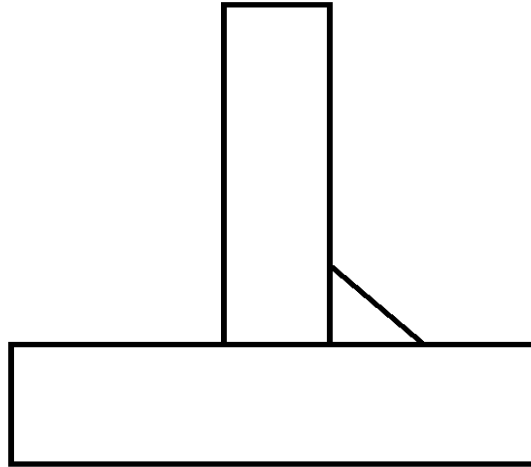
<b>TECHNIQUES (QW-410)</b>			
String or Weave Bead	: <u>  String and Weaving  </u>	Stick Out/CTWD	: <u>  N/A  </u>
Method of Cleaning	: <u>  Grinding and Brushing  </u>	Orifice cup/Nozzle Size	: <u>  12 mm  </u>
Method of Backgouging	: <u>  Grinding/Carbon Arc Gouging  </u>	Number of Elctrodes	: <u>  Single  </u>
Oscillation	: <u>  N/A  </u>	Wire Speed Range	: <u>  N/A  </u>
Multi or Single Pass	: <u>  Multipass  </u>	Other information(s)	: <u>  N/A  </u>
Closed to out Chamber	: <u>  N/A  </u>		
Electrode Spacing	: <u>  N/A  </u>		
Peening	: <u>  N/A  </u>		

<b>WELDING PARAMETER</b>									
Weld layer	Process	Filler Metal		Curent		Volt Range (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (Kj/mm)	
		Size (mm)	Class	Type of polarity	Amperage Range (A)			min	max
Filler	SMAW	2,5	E 7018-1	DCEP	115 - 120	10 - 12	71,1 - 101,5	0,68	1,22
Capping	SMAW	2,5	E 7018-1	DCEP	149 - 165	11 - 13	155,2 - 165,2	0,60	0,83
Capping	SMAW	2,5	E 7018-1	DCEP	75 - 90	20 - 25	45,0 - 73,8	1,22	3,00

	<b>PREPARED</b>	<b>APPROVED/ACCEPTED</b>	<b>APPROVED/ACCEPTED</b>
<b>Name</b>	<b>DECKY ANTONI</b>		
<b>Designation</b>	<b>QA Manager</b>		
<b>Company</b>	<b>PT. PROFAB Indonesia</b>		
<b>Signature</b>			
<b>Date</b>	<b>22-Agustus-15</b>		

**QUALIFIED JOINTS DETAIL**

Fillet – Any thickness and position



**Procedure Qualification Record Run Sheet**  
**PQR No : F1-A**

Welding Process(es)	FCAW SS
Welding Progression	2F
Welder Name/ ID	Maidin
Welder 1	N/A
Welder 2	N/A
Material Specification	Carbon Steel EN 10025-2 S355J2+N:2004
Base Material 1	Carbon Steel
Heat No.	A48445401-MK684092
Base Material 2	Carbon Steel EN 10025-2 S355J2+N:2004
Heat No.	A48445401-MK684092
Plate Thk (mm)	10 mm to 10 mm
Pipe Diameter (mm)	- (Plate)
Dimension Material 1	150 mm W x 300 mm L
Dimension Material 2	150 mm W x 300 mm L

Purge gas & flow	-
Shielding gas & flow	-
Bevel Angle	-
Root Face	-
Gap	0-1.5 mm
Position	2F
Preheat Temp	28
NDT	Visual Testing
Date Start	22-Aug-15
Time Start	-
Time Finish	-
Date Finish	22-Aug-15
Welding Machine	Lincoln Electric
Clamp meter	KYORITSU CM-10
Background Current	-
Peak Current	-

**Welding Material**

Filler Metal 1	FCAW SS
Brand name	Lincoln NR-440 Ni2
AWS Class No	E71T8-Ni2-JH8
Heat / Lot Number	Ø 2.0 mm : 14082049
Filler Metal 2	
Brand name	
AWS Class No	
Heat / Lot Number	
Filler Metal 3	
Brand name	
AWS Class No	
Heat / Lot Number	
Flux class	
Flux trade name	
Heat / Lot Number	

Side	Pass Id	AWS No (Class)	Dia (mm)	Polarity	Pass No	Layer No	Amperage (A)		Voltage (V)		WFS (In / min)	Travel Speed (mm/min)	Weld Bead		Heat Input( kJ/ mm)		Temp (°C)
							Min	Max	Min	Max			Width	Depth	Min	Max	
1	FILLER	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	1	1	130	167	23	23	62	146	3	3	1,2	1,6	28
1	CAPPING	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	2	2	131	158	22	27	65	129	5	4	1,4	2,0	45
1	CAPPING	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	3	3	144	167	23	24	64	171	5	4	1,2	1,4	70

Note :

1. Harus ada preheat dan interpass karena berpengaruh ke sifat material/mekanik
2. Gambar welding sequencenya

Prepared by:  <b>WELDING ENGINEER PROFAB</b>	Reviewed by:	Witnessed/ Accepted by:	Witnessed/ Accepted by:
--	--------------	-------------------------	-------------------------

**PT PROFAB INDONESIA**

JL.BAWAL KAV.V BATU AMPAR  
 Tel: +62 778 413 250; Fax: +62 778 413 260  
 BATAM ISLAND, INDONESIA  
 Web Page : www.profab.co.id

# Profab

## **PROCEDURE QUALIFICATION RECORD**

Applicable Code: ASME IX - BOILER and Pessure Vessel

<b>PQR Number</b>	: <u>F1-A</u>	Date	: <u>22-Aug-15</u>
		Revision No	: <u>0</u>
Welding Process(es)	: <u>FCAW SS</u>	Type of process	: <u>Semiautomatic</u>

### JOINTS DETAIL (QW-402)

Joint Design	: <u>Fillet Welded T Joint</u>	Backing	: <u>YES (FCAW SS)</u>
Backing Material Type	: <u>None</u>	Retainer	: <u>None</u>

### BASE METALS (QW-403)

Mat'l Spec. Range	: <u>EN 10025-2 S355J2+2:2004</u>		
Thk Base Metal (mm)	: <u>10 mm</u>	Diameter base metal	: <u>- (Plate)</u>
Heat Number	: <u>A48445401-MK684092</u>	to	<u>A48445401-MK684092</u>

### FILLER METALS (QW-404)

	Filler Metal 1	Filler Metal 3	Filler Metal 3
Welding Process	: <u>FCAW SS</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Specification (SFA) No	: <u>A 5.29</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
AWS Class No	: <u>E71T8-Ni2-JH8</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Brand name	: <u>LINCOLN NR-440-Ni2</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
F No. / A-No	: <u>6/1</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Filler Metal Size (Ø mm)	: <u>2</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Weld Metal Thk	: <u>2 mm</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>

*Remark : C: 0.10 , Si: 0.73 , Mn: 1.38 , P: 0.008 , S: 0.016 , Cu: 0.14 , Ni: 0.01 , Cr: 0.03 , Mo: <0.01 , V: 0.001*

### POSITION (QW-405)

Welding Position	: <u>2F</u>
Welding Progression	: _____
	: _____

### PREHEAT (QW-406)

Preheat Temp.	: <u>28</u>
Interpass Temp.	: <u>70</u>
Preheat Maintenance	: <u>continous welding</u>

### POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Holding Temp (°C)	: <u>N/A</u>
Holding Time	: <u>N/A</u>
Heating rate	: <u>N/A</u>
Cooling rate	: <u>N/A</u>

### GAS (QW-408)

	Gas(es) mixture	Flow Rate
Shielding (GTAW)	N/A	N/A
Trailing	N/A	N/A
Backing	N/A	N/A

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW-409)</b>		<b>TECHNIQUES (QW-410)</b>	
Current Polarity	: DCEN (FCAW)	Travel Speed	: See attached runsheet
Amperes	: See attached runsheet	String or Weave	: String & Weave
Voltage	: See attached runsheet	Oscillation	: None
Tungsten size	: 2.4 mm	Multi or Single pass	: Multipass

**TENSILE TEST (Report no: PT.PTS/15465-1/12)**

Type	Spec. No	Width (mm)	Thk (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	UTL (kN)	UTS (N/mm <sup>2</sup> )	Location of failure	Remarks

**GUIDED BEND TEST (Report no: PT.PTS/15465-1/12)**

Type	Spec. No	Width (mm)	Thickness (mm)	Result	Remarks

**IMPACT TEST (Report no: PT.PTS/15465-2/12 & PT.PTS/15465-3/12)**

Test Temperature (°C) : °C

Specimen size: 300x150x10mm

WCL		FL *A		FL+2mm *A		FL+5mm *A				Remarks	
Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)				
Avg	0	Avg	0	Avg	0	Avg	0				Acc

		FL *B		FL+2mm *B		FL+5mm *B				Remarks	
		Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)				
		Avg	0	Avg	0	Avg	0				Acc

**FILLET WELD TEST**

Result	N/A	Penetration into weld	N/A	Micro etch	N/A
--------	-----	-----------------------	-----	------------	-----

**OTHER TEST**

	Type	Result	
I.	Macro	Acc	

Welder name (stamp) : MAIDIN

Mechanical test by : PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)

	PREPARED	APPROVED/ACCEPTED	REVIEWED & WITNESSED
Name	Rudi Putera		
Designation	Welding Engineer		
Company	PT PROFAB Indonesia		
Signature & Stamp			
Date			

**PT PROFAB INDONESIA**

JL.BAWAL KAV.V BATU AMPAR

Tel: +62 778 413 250; Fax: +62 778 413 260

BATAM ISLAND, INDONESIA

Web Page : www.profab.co.id

**Profab****WELDING PROCEDURE SPECIFICATON**

Applicable Code: ASME IX - BOILER and Pessure Vessel

WPS No	: <u>ASME-TM339-A-LT46</u>	Date	: <u>22-Aug-15</u>
Supporting PQR No	: <u>TM339-A-LT46</u>	Revision No	: <u>0</u>
Welding Process(es)	: <u>FCAW SS</u>	Type of process	: <u>Manual</u>

**JOINTS (QW-402)**

Joint Design	: <u>Refer to weld map</u>	Backing	: <u>YES(FCAW SS)</u>
--------------	----------------------------	---------	-----------------------

Backing Material Type	: <u>Weld Metal</u>	Retainer	: <u>N/A</u>
-----------------------	---------------------	----------	--------------

**Note: Details of weld joint are shown in weld map****BASE METALS (QW-403)**P Number 1 Group No 1 to P Number 1 Group No 2Mat'l Spec. Range (With Impact test) N/AMat'l Spec. Range (Non Impact test) P No.1 Group AnyThk Range Base Metal With Impact, Groove (mm) : N/A Fillet (mm) : AllThk Range Base Metal Non Impact, Groove (mm) :  Fillet (mm) : AllDiameter Range Base metal : Not Restricted Fillet (mm) : All**FILLER METALS (QW-404)**

	Filler Metal 1	Filler Metal 2	Filler Metal 3
Welding Process	: <u>FCAW SS</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Specification (SFA) No	: <u>A5.29</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
AWS Class No	: <u>E71T8-Ni2-JH8</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Brand name	: <u>Lincoln NR-440 Ni2</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
F No. / A-No	: <u>6/1</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Filler Metal Size (Ø mm)	: <u>2</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Weld Metal Thk Range			
Groove (mm)	: <u></u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Fillet (mm)	: <u>All</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Filler Metal Product Form	: <u>Bare Rod</u>	: <u>N/A</u>	: <u>N/A</u>
Electrode Flux class	: <u>N/A</u>	Alloy Elements	: <u>N/A</u>
Flux Trade name	: <u>N/A</u>	Alloy Flux	: <u>N/A</u>
Consumable Insert	: <u>N/A</u>	Flux Type	: <u>N/A</u>
Supplier Filler Material	: <u>N/A</u>	Recrushed Slag	: <u>N/A</u>
Other Information	: <u>N/A</u>		

<b>POSITION (QW-405)</b>	<b>PWHT (QW-407)</b>
Position(s) of groove	Temperatur Range (°C) : <u>          N/A          </u>
Weld Progression	Holding time per thickness of material:
Position(s) of Fillet	N/A

FCAW		
N/a		
N/a		
All		

<b>PREHEAT (QW-406)</b>	<b>GAS (QW-408)</b>				
Preheat Temp. Min (°C) : <u>          28          </u>	Shielding (GTAW)	Gas(es)	Mixture %	Flow Rate	
Interpass Temp max (°C) : <u>          70          </u>		N/A	N/A	N/A	
Preheat Maintenance : <u>          continous welding          </u>		Trailing	N/A	N/A	N/A
		Backing	N/A	N/A	N/A

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW-409)</b>			
Current Polarity	: <u>          DCEN (FCAW SS)          </u>	Pulsing Current GTAW	: <u>          N/A          </u>
Tungsten Electrode Type	: <u>          single          </u>	WFS Range (inch/min)	: <u>          N/A          </u>
Tungsten Electrode Size	: <u>          2 mm          </u>	GMAW Metal Transfer	: <u>          N/A          </u>

<b>TECHNIQUES (QW-410)</b>			
String or Weave Bead	: <u>          String and Weaving          </u>	Stick Out/CTWD	: <u>          N/A          </u>
Method of Cleaning	: <u>          Grinding and Brushing          </u>	Orifice cup/Nozzle Size	: <u>          12 mm          </u>
Method of Backgouging	: <u>          Grinding/Carbon Arc Gouging          </u>	Number of Elctrodes	: <u>          Single          </u>
Oscillation	: <u>          N/A          </u>	Wire Speed Range	: <u>          N/A          </u>
Multi or Single Pass	: <u>          Multipass          </u>	Other information(s)	: <u>          N/A          </u>
Closed to out Chamber	: <u>          N/A          </u>		
Electrode Spacing	: <u>          N/A          </u>		
Peening	: <u>          N/A          </u>		

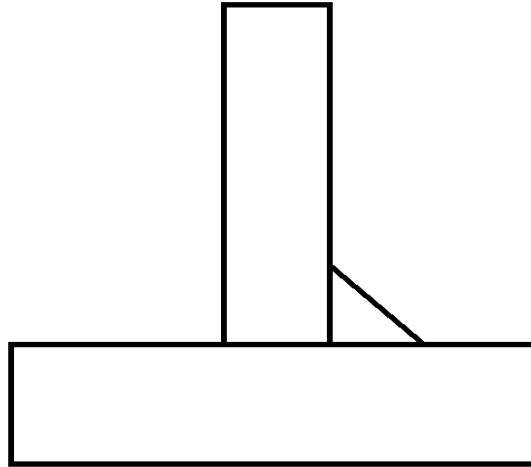
WELDING PARAMETER									
Weld layer	Process	Filler Metal		Curent		Volt Range (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (Kj/mm)	
		Size (mm)	Class	Type of polarity	Amperage Range (A)			min	max
Filler	FCAW SS	2	E71T8-Ni2-	DCEN	115 - 120	10 - 12	71,1 - 101,5	0,68	1,22
Capping	FCAW SS	2	E71T8-Ni2-	DCEN	149 - 165	11 - 13	155,2 - 165,2	0,60	0,83
Capping	FCAW SS	2	E71T8-Ni2-	DCEN	75 - 90	20 - 25	45,0 - 73,8	1,22	3,00

	<b>PREPARED</b>	<b>APPROVED/ACCEPTED</b>	<b>APPROVED/ACCEPTED</b>
<b>Name</b>	DECKY ANTONI		
<b>Designation</b>	QA Manager		
<b>Company</b>	PT. PROFAB Indonesia		
<b>Signature</b>			
<b>Date</b>	22-Agustus-15		



**QUALIFIED JOINTS DETAIL**

Fillet – Any thickness and position



**Procedure Qualification Record Run Sheet**  
**PQR No : F1-A**

Welding Process(es)	FCAW SS
Welding Progression	2F
Welder Name/ ID	Maidin
Welder 1	N/A
Welder 2	N/A
Material Specification	Carbon Steel EN 10025-2 S355J2+N:2004
Base Material 1	Carbon Steel
Heat No.	A48445401-MK684092
Base Material 2	Carbon Steel EN 10025-2 S355J2+N:2004
Heat No.	A48445401-MK684092
Plate Thk (mm)	10 mm to 10 mm
Pipe Diameter (mm)	- (Plate)
Dimension Material 1	150 mm W x 300 mm L
Dimension Material 2	150 mm W x 300 mm L

Purge gas & flow	-
Shielding gas & flow	-
Bevel Angle	-
Root Face	-
Gap	0-1.5 mm
Position	2F
Preheat Temp	28
NDT	Visual Testing
Date Start	22-Aug-15
Time Start	-
Time Finish	-
Date Finish	22-Aug-15
Welding Machine	Lincoln Electric
Clamp meter	KYORITSU CM-10
Background Current	-
Peak Current	-

**Welding Material**

Filler Metal 1	FCAW SS
Brand name	Lincoln NR-440 Ni2
AWS Class No	E71T8-Ni2-JH8
Heat / Lot Number	Ø 2.0 mm : 14082049

Side	Pass Id	AWS No (Class)	Dia (mm)	Polarity	Pass No	Layer No	Amperage (A)		Voltage (V)		WFS (In / min)	Travel Speed (mm/min)	Weld Bead		Heat Input( kJ/ mm)		Temp (°C)
							Min	Max	Min	Max			Width	Depth	Min	Max	
1	FILLER	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	1	1	165	187	29	30	55	83	3	3	3,5	4,1	28
1	CAPPING	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	2	2	166	170	29	30	52	118	4	4	2,5	2,6	45
1	CAPPING	E71T8-Ni2-JH8	2	DCEN	3	3	163	170	29	29	60	116	4	4	2,4	2,6	70

Prepared by:  <b>WELDING ENGINEER PROFAB</b>	Reviewed by:	Witnessed/ Accepted by:	Witnessed/ Accepted by:
--	--------------	-------------------------	-------------------------

**PT PROFAB INDONESIA**

JL.BAWAL KAV.V BATU AMPAR  
 Tel: +62 778 413 250; Fax: +62 778 413 260  
 BATAM ISLAND, INDONESIA  
 Web Page : www.profab.co.id

**Profab****PROCEDURE QUALIFICATION RECORD**

Applicable Code: ASME IX - BOILER and Pessure Vessel

<b>PQR Number</b> : <u>F1-A</u>	Date	: <u>22-Aug-15</u>
	Revision No	: <u>0</u>
Welding Process(es) : <u>FCAW SS</u>	Type of process	: <u>Semiautomatic</u>

**JOINTS DETAIL (QW-402)**

Joint Design	: <u>Fillet Welded T Joint</u>	Backing	: <u>YES (FCAW SS)</u>
Backing Material Type	: <u>None</u>	Retainer	: <u>None</u>

**BASE METALS (QW-403)**

Mat'l Spec. Range	: <u>EN 10025-2 S355J2+2:2004</u>		
Thk Base Metal (mm)	: <u>10 mm</u>	Diameter base metal	: <u>- (Plate)</u>
Heat Number	: <u>A48445401-MK684092</u>	to	<u>A48445401-MK684092</u>

**FILLER METALS (QW-404)**

	Filler Metal 1	Filler Metal 2	Filler Metal 3
Welding Process	: <u>FCAW SS</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Specification (SFA) No	: <u>A 5.29</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
AWS Class No	: <u>E71T8-Ni2-JH8</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Brand name	: <u>LINCOLN NR-440-Ni2</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
F No. / A-No	: <u>6/1</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Filler Metal Size (Ø mm)	: <u>2</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>

**POSITION (QW-405)**

Welding Position	: <u>2F</u>
Welding Progression	: <u>N/A</u>

**PREHEAT (QW-406)**

Preheat Temp.	: <u>28</u>
Interpass Temp.	: <u>70</u>
Preheat Maintenance	: <u>continous welding</u>

**POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407)**

Holding Temp (°C)	: <u>N/A</u>
Holding Time	: <u>N/A</u>
Heating rate	: <u>N/A</u>
Cooling rate	: <u>N/A</u>

**GAS (QW-408)**

	Gas(es) mixture	Flow Rate
Shielding (GTAW)	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Trailing	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Backing	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW-409)</b>				<b>TECHNIQUES (QW-410)</b>			
Current Polarity	:	DCEN (FCAW)		Travel Speed	:	See attached runsheet	
Amperes	:	See attached runsheet		String or Weave	:	String & Weave	
Voltage	:	See attached runsheet		Oscillation	:	None	
Tungsten size	:	2.4 mm		Multi or Single pass	:	Multipass	

<b>TENSILE TEST (Report no: PT.PTS/15465-1/12)</b>								
Type	Spec. No	Width (mm)	Thk (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	UTL (kN)	UTS (N/mm <sup>2</sup> )	Location of failure	Remarks

<b>GUIDED BEND TEST (Report no: PT.PTS/15465-1/12)</b>					
Type	Spec. No	Width (mm)	Thickness (mm)	Result	Remarks

<b>IMPACT TEST (Report no: PT.PTS/15465-2/12 &amp; PT.PTS/15465-3/12)</b>									
Test Temperature (°C) : °C					Specimen size: -				
WCL		FL *A		FL+2mm *A		FL+5mm *A			
Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)	Spec. No	Value (J)		
Avg	0	Avg	0	Avg	0	Avg	0		

<b>FILLET WELD TEST</b>					
Result	N/A	Penetration into weld	N/A	Micro etch	N/A

<b>OTHER TEST</b>			
	Type	Result	Report Number
I.	Macro	Acc	Cantumkan no report macronya

Welder name (stamp) : MAIDIN  
Mechanical test by : PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero)

	PREPARED	APPROVED/ACCEPTED	REVIEWED & WITNESSED
<b>Name</b>	Rudi Putera		
<b>Designation</b>	Welding Engineer		
<b>Company</b>	PT PROFAB Indonesia		
<b>Signature &amp; Stamp</b>			
<b>Date</b>			

**PT PROFAB INDONESIA**

JL.BAWAL KAV.V BATU AMPAR

Tel: +62 778 413 250; Fax: +62 778 413 260

BATAM ISLAND, INDONESIA

Web Page : www.profab.co.id

**Profab****WELDING PROCEDURE SPECIFICATON**

Applicable Code: ASME IX - BOILER and Pessure Vessel

WPS No	: <u>ASME-TM339-A-LT46</u>	Date	: <u>22-Aug-15</u>
Supporting PQR No	: <u>TM339-A-LT46</u>	Revision No	: <u>0</u>
Welding Process(es)	: <u>FCAW SS</u>	Type of process	: <u>Manual</u>

**JOINTS (QW-402)**

Joint Design	: <u>Refer to weld map</u>	Backing	: <u>YES(FCAW SS)</u>
Backing Material Type	: <u>Weld Metal</u>	Retainer	: <u>N/A</u>

**Note: Details of weld joint are shown in weld map****BASE METALS (QW-403)**

P Number	<u>1</u>	Group No	<u>1</u>	to P Number	<u>1</u>	Group No	<u>2</u>
Mat'l Spec. Range (With Impact test)	<u>N/A</u>						
Mat'l Spec. Range (Non Impact test)	<u>P No.1 Group Any</u>						
Thk Range Base Metal With Impact, Groove (mm)	: <u>N/A</u>	Fillet (mm)	: <u>All</u>				
Thk Range Base Metal Non Impact, Groove (mm)	: <u>5.0 - 28.54</u>	Fillet (mm)	: <u>All</u>				
Diameter Range Base metal	: <u>Not Restricted</u>	Fillet (mm)	: <u>All</u>				

**FILLER METALS (QW-404)**

	Filler Metal 1	Filler Metal 2	Filler Metal 3
Welding Process	: <u>FCAW SS</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Specification (SFA) No	: <u>A5.29</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
AWS Class No	: <u>E71T8-Ni2-JH8</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Brand name	: <u>Lincoln NR-440 Ni2</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
F No. / A-No	: <u>6/1</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Filler Metal Size (Ø mm)	: <u>2</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
Electrode Flux class	: <u>N/A</u>	Alloy Elements	: <u>N/A</u>
Flux Trade name	: <u>N/A</u>	Alloy Flux	: <u>N/A</u>
Consumable Insert	: <u>N/A</u>	Flux Type	: <u>N/A</u>
Supplier Filler Material	: <u>N/A</u>	Recrushed Slag	: <u>N/A</u>
Other Information	: <u>N/A</u>		

<b>POSITION (QW-405)</b>	<b>PWHT (QW-407)</b>
Position(s) of groove	Temperatur Range (°C) : <u>          N/A          </u>
Weld Progression	Holding time per thickness of material:
Position(s) of Fillet	N/A

FCAW			
N/a			
N/a			
All			

<b>PREHEAT (QW-406)</b>	<b>GAS (QW-408)</b>												
Preheat Temp. Min (°C) : <u>          28          </u>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%;">Gas(es)</td> <td style="width:33%;">Mixture %</td> <td style="width:33%;">Flow Rate</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> </table>	Gas(es)	Mixture %	Flow Rate	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Gas(es)		Mixture %	Flow Rate										
N/A		N/A	N/A										
N/A		N/A	N/A										
N/A	N/A	N/A											
Interpass Temp max (°C) : <u>          70          </u>	Shielding (GTAW)												
Preheat Maintenance : <u>          continous welding          </u>	Trailing												
	Backing												

<b>ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW-409)</b>			
Current Polarity	: <u>          DCEN (FCAW SS)          </u>	Pulsing Current GTAW	: <u>          N/A          </u>
Tungsten Electrode Type	: <u>          single          </u>	WFS Range (inch/min)	: <u>          N/A          </u>
Tungsten Electrode Size	: <u>          2 mm          </u>	GMAW Metal Transfer	: <u>          N/A          </u>

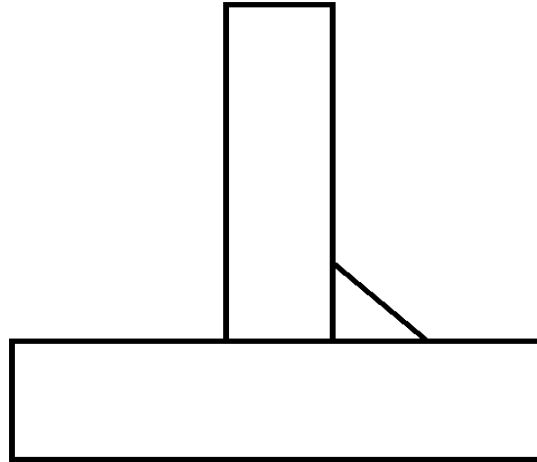
<b>TECHNIQUES (QW-410)</b>			
String or Weave Bead	: <u>          String and Weaving          </u>	Stick Out/CTWD	: <u>          N/A          </u>
Method of Cleaning	: <u>          Grinding and Brushing          </u>	Orifice cup/Nozzle Size	: <u>          12 mm          </u>
Method of Backgouging	: <u>          Grinding/Carbon Arc Gouging          </u>	Number of Elctrodes	: <u>          Single          </u>
Oscillation	: <u>          N/A          </u>	Wire Speed Range	: <u>          N/A          </u>
Multi or Single Pass	: <u>          Multipass          </u>	Other information(s)	: <u>          N/A          </u>
Closed to out Chamber	: <u>          N/A          </u>		
Electrode Spacing	: <u>          N/A          </u>		
Peening	: <u>          N/A          </u>		

WELDING PARAMETER									
Weld layer	Process	Filler Metal		Curent		Volt Range (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (Kj/mm)	
		Size (mm)	Class	Type of polarity	Amperage Range (A)			min	max
Filler	FCAW SS	2	E71T8-Ni2-	DCEN	115 - 120	10 - 12	71,1 - 101,5	0,68	1,22
Capping	FCAW SS	2	E71T8-Ni2-	DCEN	149 - 165	11 - 13	155,2 - 165,2	0,60	0,83
Capping	FCAW SS	2	E71T8-Ni2-	DCEN	75 - 90	20 - 25	45,0 - 73,8	1,22	3,00

	<b>PREPARED</b>	<b>APPROVED/ACCEPTED</b>	<b>APPROVED/ACCEPTED</b>
<b>Name</b>			
<b>Designation</b>			
<b>Company</b>	PT. PROFAB Indonesia		
<b>Signature</b>			
<b>Date</b>	22-Agustus-15		

**QUALIFIED JOINTS DETAIL**

Fillet – Any thickness and position



ORIGINAL

MILL TEST CERTIFICATE

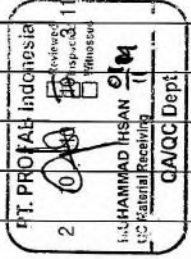


Order No. : J148200041  
PO No. : PO NO.00005197/1  
Commodity : STEEL PLATE  
Specification : EN 10025-2 S355J2+N:2004

Supplier : STEEL N PEOPLE LTD.  
Customer : PROFAB ENGINEERING

Certificate No. : DP3-2-140924-042-00  
Date of issue : Sep. 24, 2014

Dimension Unit inch: ", mm: Space	Product No	Quantity	Weight kg	Heat No	Tensile Test				Impact Test				Chemical Composition(%)						Remarks					
					YP	TS	EL	YR	YS	TS	V	Notch	C	Si	Mn	P	S	Cr		Ni	Cu	Mo		
10.00A*2438*9144 *Specimen No: DP07504408-a, DP07504408-b	A488028-01		1,750	MK597632	6	455	571	37	80	1	1	1:102	14	34	146	16	3	10	10	10	10	4	110	
	Sub Total (10)	1	1,750	MK684069	6	480	566	27	82	1	1	-20 °C	14	35	148	16	2	10	10	10	10	4	110	
10.00A*2438*9144 *Specimen No: DP07484603-a, DP07484603-b	A484458-01,02		3,500	MK684089	6	470	578	28	81	1	1	-20 °C	15	32	149	14	3	10	10	10	10	4	110	
	Sub Total (10)	2	3,500	MK684092	6	466	574	26	81	1	1	-20 °C	15	34	147	16	2	10	10	10	10	4	110	
10.00A*2438*9144 *Specimen No: DP07481421-a, DP07481421-b	A484447-01,02		1,750	MK684092	6	455	571	37	80	1	1	1:102	14	34	146	16	3	10	10	10	10	4	110	
	Sub Total (10)	9	15,750																					



We hereby certify that the material has been made by Basic oxygen process (Fully killed steel, Fine grain practice) and satisfactorily tested in accordance with above specification requirements called for by the above order. The materials are manufactured in accordance with DKS's quality system. \* Inspection documents : According to EN 10204 Type 3.1.

Specimen No. : a-Tension, c-Impact  
Position : 1-Top, M-Middle, B-Bottom  
Division : L-Ladle Analysis, P-Product Analysis  
Sub(Sub Size, Real Value, mm) : Blank-Full Size, 1-7.5\*10, 2-5.0\*10  
GL(Gauge Length, mm) : 1-200, 2-100, 3-80, 4-70, 5-50, 6-5.65\*VA, 7-5d, 8-4d, 9-8d  
T(S) AI : Total(Soluble) AI \*Tr : Trace  
NRL Result : G-No Break, B-Break  
TTP(Through Thickness Position) : 1-Surface, 2-1/4T, 3-1/2T

원본인증 방법 : 동국제강 홈페이지 접속 (www.dongkuk.co.kr) → e비즈니스 클릭(홈페이지 하단) → 검사증명서 원본인증 클릭 → 정보인력후 검색

Cert No. 55

Surveyor to: \_\_\_\_\_ Surveyor to: \_\_\_\_\_  
Dangjin Works, 25, Godeaengdang 1-gil, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do, Republic of Korea/Quality Assurance Team, TEL. 041-351-4678





ORIGINAL

MILL TEST CERTIFICATE



Order No. : J148200041  
 PO No. : PO NO.00005197/1  
 Commodity : STEEL PLATE  
 Specification : EN 10025-2 S355J2+N:2004

Supplier : STEEL N PEOPLE LTD.  
 Customer : PROFAB ENGINEERING

Certificate No. : DP3-2-140924-042-003  
 Date of issue : Sep. 24, 2014

Dimension Unit Inch: ", mm: Space	Product No	Quantity	Weight kg	Chemical Composition(%)				Remarks	
				V 3	T. Al 3	S. Al 3	Ceq 3		B 4
10. 00A*2438*9144 *Specimen No.: DP07504408-a, DP07504408-c	A486028-01	1	1,750	2	32	388	1	110	
	Sub Total (10)	1	1,750						
10. 00A*2438*9144 *Specimen No.: DP07484603-a, DP07484603-c	A484458-01.02	2	1,750	2	31	391	1	110	
	Sub Total (10)	2	3,500						
10. 00A*2438*9144 *Specimen No.: DP07484514-a, DP07484514-c	A484460-01.02	2	1,750	2	36	403	1	110	
	Sub Total (10)	2	3,500						
10. 00A*2438*9144 *Specimen No.: DP07481421-a, DP07481421-c	A484447-01.02 A484448-01.02 A484454-01.02 A484456-01.02.03	9	15,750	2	32	399	1	110	
	Sub Total (10)	9	15,750						



We hereby certify that the material has been made by Basic oxygen process (Fully killed steel. Fine grain practice) and satisfactorily tested in accordance with above specification requirements called for by the above order. The materials are manufactured in accordance with DKS's quality system. \* Inspection documents : According to EN 10204 Type 3.1.

When using the ordered product for other uses, rather than the above specification use, product damage and safety accidents may be caused.

\* Tensile Test Direction-Transverse  
 \* Impact Test Direction-Longitudinal  
 \* Ceq = C+Mn/6+(Ni+Cu)/15+(Cr+Mo+V)/5  
 \* Supply Condition - Controlled Rolling(Normalizing Rolled)  
 \* Chemical Composition Unit : 2-x100, 3-x1000, 4-x10000

원본검증 방법 : 동국제강 홈페이지 접속 (www.dongkuk.co.kr) → e비즈니스 클릭(홈페이지 하단) → 검사증명서 원본검증 클릭 → 정보입력후 검색

Cert No. 55-8232

Chief of Quality Assurance Team

Surveyor to \_\_\_\_\_ Surveyor to \_\_\_\_\_

Dangjin Works, 25, Godaegongdan 1-gil, Songak-eup, Dangjin-si, Chungcheongnam-do, Republic of Korea/Quality Assurance Team, TEL. 041-351-4678

Page : 3/7

**THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY**  
**22801 St. Clair Avenue**  
**Cleveland, Ohio 44117-1199**

**CERTIFIED MATERIAL TEST REPORT**

This is to certify that the following was manufactured under Lot Control per AWS 5.01, Class T4, Schedule J. The following test was run on 2.0mm Innershield® NR-440 Ni2 (Q2 LOT# 14019149). Procedures in accordance with AWS A5.29, DC- only for classification E71T8-Ni2-JH8 were followed. This test report is in accordance with EN 10204 Type 3.1.

The product stated herein was manufactured and supplied in accordance with the Quality System Program of The Lincoln Electric Co., Cleveland, Ohio, U.S.A. as outlined in our Quality Assurance Manual. The Quality System Program of The Lincoln Electric Co. has been accredited by ASME and approved by VdTUV, and is certified to ISO 9001.

**Test Conditions**

Electrode Size mm (in.)	2.0 (5/84)
Electrode Polarity	DC-
CTWD mm (in.)	22 (7/8)
Wire Feed Speed cm/min (ipm)	278 (110)
Current (amps)	255
Arc Voltage (volts)	21
Preheat/Interpass Temp. °C (°F)	135 (275) / 136 (275)
Passes/Layers	16 / 8
Heat Input Avg. kJ/mm (kJ/in.)	1.8 (42)
Plate ID	59707

549.

**Mechanical Properties**

<b>AWS A5.29</b>		
Yield Strength, 0.2% offset method MPa (ksi)	450 (65)*	400 MPa (58 ksi) min.
Tensile Strength MPa (ksi)	540 (78)*	480-620 MPa (70-90 ksi)
% Elongation	31*	20% min.

**Impact Properties**

Joules @ -20°C (ft.-lbs. @ -20°F)	435 (321) 435, 439, 431 (321, 324, 318)	27 J (20 ft.-lbs.) min. Avg.
Joules @ -40°C (ft.-lbs. @ -40°F)	431 (318) 431, 426, 436 (318, 314, 322)	No Specification

**Radiographic Inspection Requirements**

Plate 59707	Passed
-------------	--------

**Deposit Chemistry**

<b>AWS A5.29 for Ni2</b>		
% Carbon	0.04	0.12 max.
% Manganese	0.74	1.50 max.
% Phosphorous	0.010	0.030 max.
% Sulfur	<0.003	0.030 max.
% Silicon	0.15	0.60 max.
% Aluminum	1.01	1.8 max.
% Nickel	1.90	1.75 - 2.75

**Fillet Weld Usability**

LOT	Polarity	POSITION	WFS(ipm)	AMPS	VOLTS	SIZE FILLET	RESULT
14019149	DC-	3F	85	210	19	7/32	Accept
14019149	DC-	4F	75	195	19	9/32	Accept

**Diffusible Hydrogen per AWS A4.3**

mL/100g of Weld Deposit	8.5, 8.5, 6.5, 6.6 = 7.5 Avg.	8.0mL/100g maximum
-------------------------	-------------------------------	--------------------

This is to certify that the contents of this report are correct and accurate as contained in the records of The Lincoln Electric Company.

\* The strength and elongation properties were obtained from .800" tensile specimen artificially aged at 220°F (104°C) for 48 hours.

*Rajeev Katiyar* 18 Sep 2014  
 Rajeev Katiyar Date  
 Manager, Quality Assurance

*Tim Peck* 18 Sep 2014  
 Tim Peck Date  
 Manager, Special Products

"Note: The recording of false, fictitious or fraudulent statements or entries on this document may be punished as a felony under Federal Statutes including Federal Law, Title 18, Chapter 47."

4/18/14  
 JM



### TEST REPORT

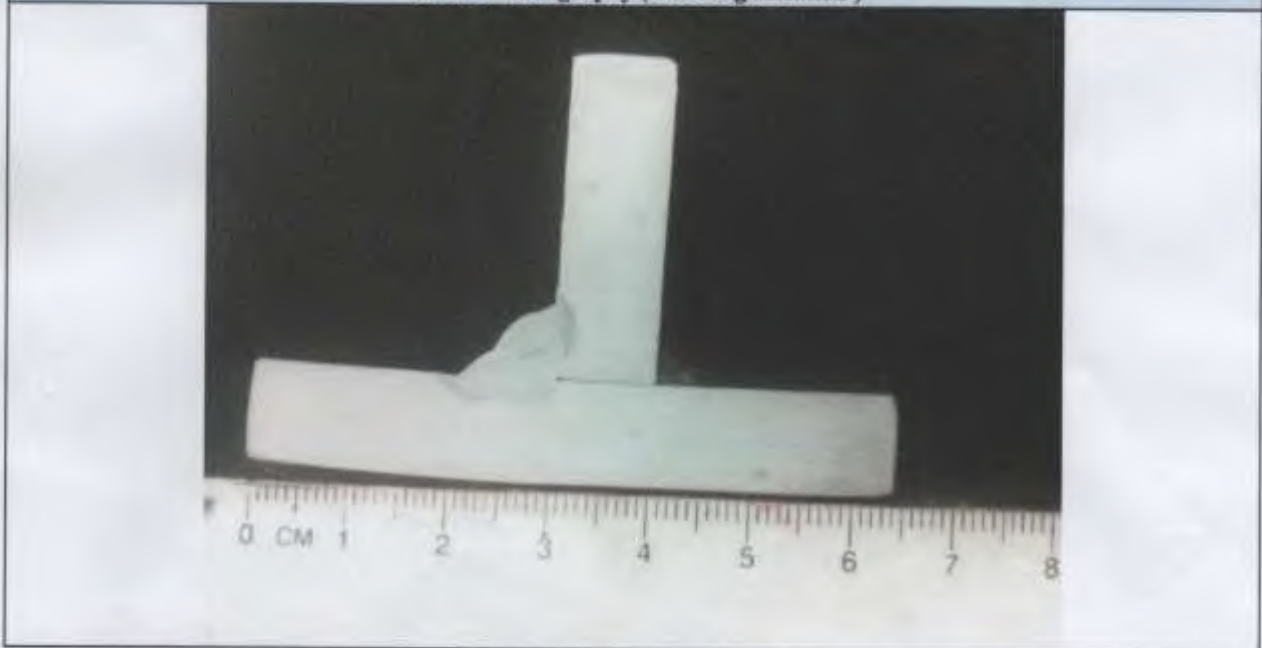
**Material Identification** : SMAW (80-90A) **Date Tested** : 27 Agustus 2015  
**Customer** : PT. Profab Indonesia  
JL. Bawal Kav V Batu Merah  
Batam-Indonesia  
**Reference Code** : AWS D1.1 **P O / Order No** :  
**Date of Receipt of Test Items** : 25 Agustus 2015 **Total Page** : 1 Pages  
**Subject (as received)** : **Your Ref** : --

One welded steel Fillet Weld test sample, thickness: 10 mm, marked: SMAW (80-90A), Position: 2F, Process: SMAW, Welder's Name: **Maidin**, Plate Material: S355 J2, for Macro-Etch Test.

**Macro-Etch Examination** : **Test Method** : ASTM E340-00<sup>E1</sup> (Reapproved 2006)

Specimen No	Thickness (mm)	Width (mm)	Result	Remarks
SMAW (80-90A)	10	25	Accepted	No defect was observed
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--

#### Macro- Photography ( 5 X Magnification )



**Test Conducted By** : Romin  
**Test Witnessed By** :  
**Remarks** : --

Approved Signatory



Samsul Chan

Coordinator of Laboratory

BKI KOMERSIL BATAM

Jl. Yos Sudarso Kav.5, Batam - 29451

Phone : (0778) 428284, 428438, 428250, 432324, Fax : (0778) 429021

e-mail : [bmc@bki.co.id](mailto:bmc@bki.co.id)

ISO 9001 : 2008 CERTIFIED COMPANY



**TEST REPORT**

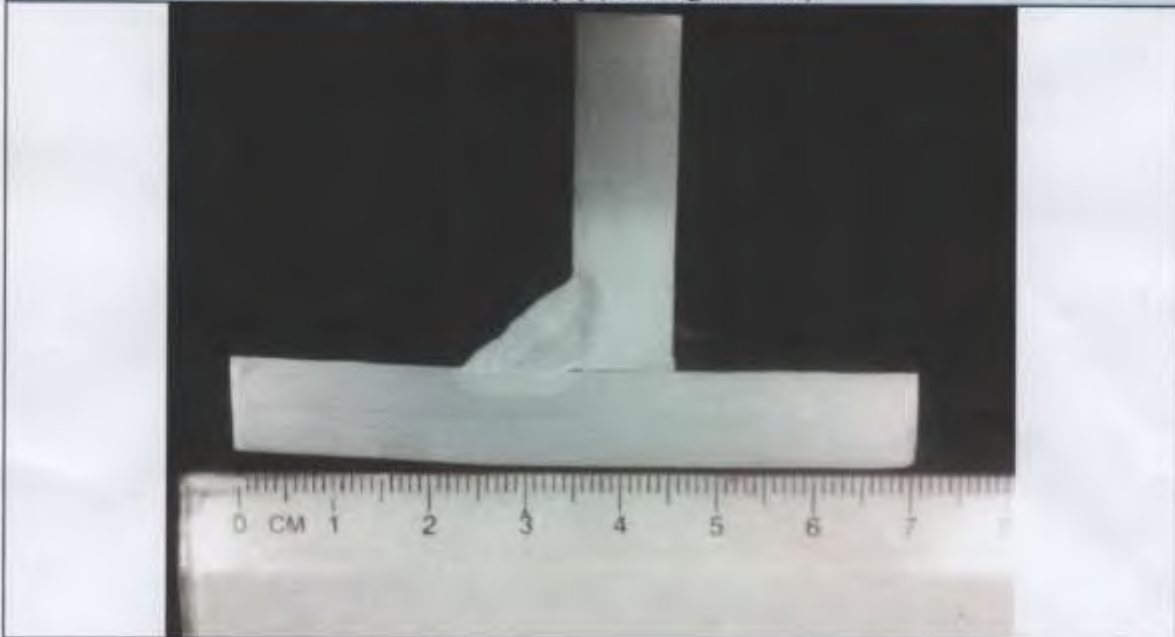
**Material Identification** : SMAW (95-100A) **Date Tested** : 27 Agustus 2015  
**Customer** : PT. Profab Indonesia  
 JL. Bawal Kav V Batu Merah  
 Batam-Indonesia  
**Reference Code** : AWS D1.1 **P O / Order No** :  
**Date of Receipt of Test** : 25 Agustus 2015 **Total Page** : 1 Pages  
**Items** **Your Ref** : --  
**Subject (as received)** :

One welded steel Fillet Weld test sample, thickness: 10 mm, marked: SMAW (95-100A), Position: **2F**, Process: SMAW, Welder's Name: **Maidin**, Plate Material: S355 J2, for Macro-Etch Test.

**Macro-Etch Examination** : Test Method : ASTM E340-00<sup>E1</sup> (Reapproved 2006)

Specimen No	Thickness (mm)	Width (mm)	Result	Remarks
SMAW (95-100A)	10	25	Accepted	No defect was observed
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--

**Macro- Photography ( 5 X Magnification )**



**Test Conducted By** : Romin  
**Test Witnessed By** :  
**Remarks** : --

Approved Signatory  
  
**Samsul Chan**  
 Coordinator of laboratory

**BKI KOMERSIL BATAM**

Jl. Yos Sudarso Kav.5, Batam - 29451

Phone : (0778) 428284, 428438, 428250, 432324, Fax : (0778) 429021

e-mail : bme@bki.co.id

ISO 9001 : 2008 CERTIFIED COMPANY





### TEST REPORT

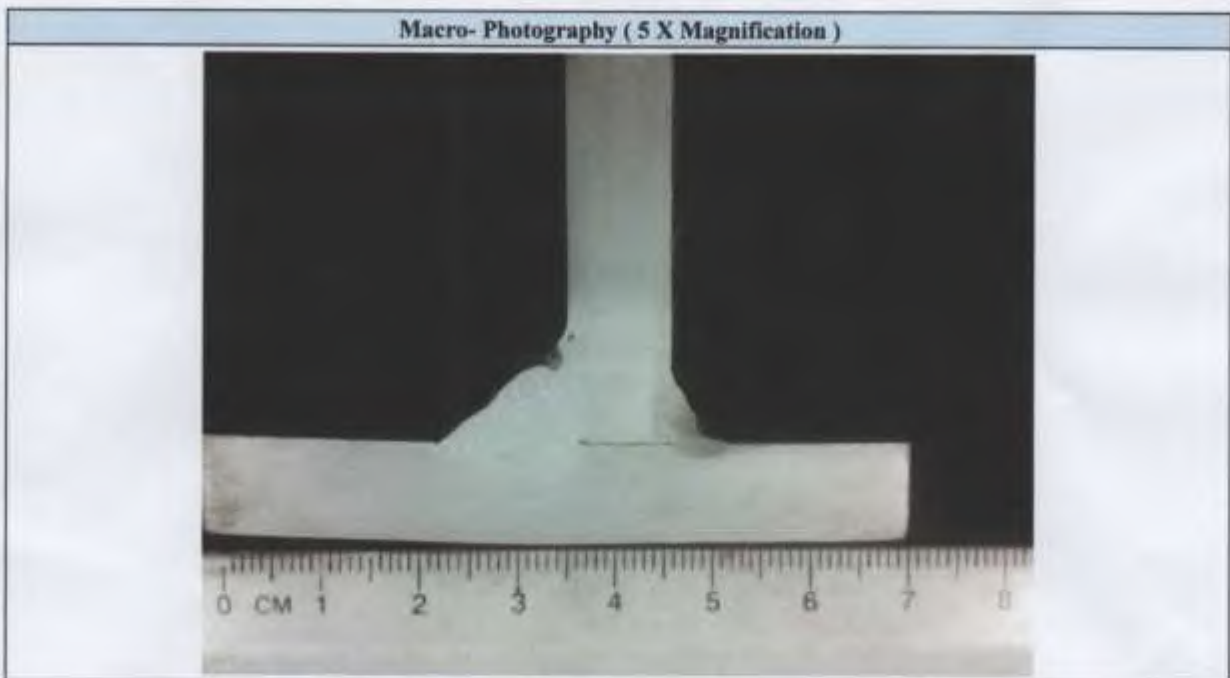
**Material Identification** : FCAW-SS (165-180A) **Date Tested** : 27 Agustus 2015  
**Customer** : PT. Profab Indonesia  
JL. Bawal Kav V Batu Merah  
Batam-Indonesia  
**Reference Code** : AWS D1.1 **P O / Order No** :  
**Date of Receipt of Test Items** : 25 Agustus 2015 **Total Page** : 1 Pages  
**Subject (as received)** : **Your Ref** : --

One welded steel Fillet Weld test sample, thickness: 10 mm, marked: FCAW-SS (165-180A) Position: 2F, Process: FCAW-SS, Welder's Name: Maidin, Plate Material: S355 J2, for Macro-Etch Test.

**Macro-Etch Examination** : **Test Method** : ASTM E340-00<sup>E1</sup> (Reapproved 2006)

Specimen No	Thickness (mm)	Width (mm)	Result	Remarks
FCAW-SS (165-180A)	10	25	Rejected	Defect porosity
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--

Macro- Photography ( 5 X Magnification )



**Test Conducted By** : Romin  
**Test Witnessed By** :  
**Remarks** : --

Approved Signatory

  
Samsul Chan  
Coordinator of Laboratory

BKI KOMERSIL BATAM

Jl. Yos Sudarso Kav.5, Batam - 29451

Phone : (0778) 428284, 428438, 428250, 432324, Fax : (0778) 429021

e-mail : [bmc@bki.co.id](mailto:bmc@bki.co.id)

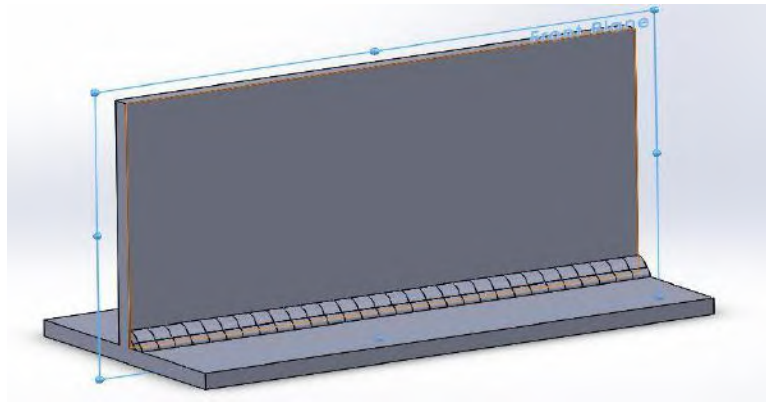
ISO 9001 : 2008 CERTIFIED COMPANY

**LAMPIRAN B**  
**(PERHITUNGAN *HEAT FLUX*)**

## **LAMPIRAN B**

*(PERHITUNGAN HEAT FLUX)*





FCAW 200 A

Dimensi pelat

p	=	300 mm
l	=	150 mm
t	=	10 mm

Spesifikasi kampuh las

<i>Leg length</i>	=	15,5 mm
<i>Leg length</i>	=	12,5 mm
Pembagian elemen	=	20 elemen
lebar satu elemen	=	$[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$
	=	19,9 mm
panjang satu elemen	=	15 mm

<i>Leg length</i>	=	7,75 mm
<i>Leg length</i>	=	6,25 mm
Pembagian elemen	=	20 elemen
lebar satu elemen	=	$[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$
	=	10,0 mm
panjang satu elemen	=	15 mm

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

Keterangan

$Q$  : *net heat input / effective thermal power* (watt)

$\eta$  : Koefisien efisiensi pengelasan

$U$  : Tegangan busur (Volt)

$I$  : Arus listrik (Ampere)

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

Dimana:

$b$  : Panjang kaki las (mm)

$v$  : Kecepatan pengelasan (mm/s)

$t$  : Waktu yang diperlukan pada satu elemen (s)

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_e}{A_f}$$

Dimana:

$q_1$  : *heat flux* pada elemen ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )

$q_e$  : *heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )

$A_1$  : luas permukaan elemen ( $\text{mm}^2$ )

$A_f$  : luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )



Parameter pengelasan

a. Pass Filler

Kecepatan pengelasan	=	83 mm/min
	=	1,4 mm/sec
	=	217 sec
Kuat arus	=	165 A
Voltage	=	29 V
Efisiensi SMAW	=	0,78

Diameter elektroda	=	2 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	7,2 sec

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$
$$Q = 0,78 \times 29 \text{ V} \times 165 \text{ A}$$
$$Q = 3732 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$
$$A_f = 15 \text{ mm} \times 1,4 \text{ mm/sec} \times 7,2 \text{ sec}$$
$$= 149 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$
$$A_e = 3,1 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$
$$A_1 = 7,5 \text{ mm}^2$$

*Heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$
$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$
$$q_e = \frac{3732}{3} \frac{\text{watt}}{\text{mm}^2}$$
$$q_e = 1188 \text{ watt/mm}^2$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f}$$
$$q_1 = 1188 \text{ watt/mm}^2 \frac{7,5 \text{ mm}^2}{149,3 \text{ mm}^2}$$
$$q_1 = 59,40139941 \text{ watt/mm}^2$$
$$q_1 = 59401399 \text{ watt/m}^2$$

b. Capping-1

Kecepatan pengelasan	=	118 mm/min
	=	2,0 mm/sec
	=	153 sec
Kuat arus	=	166 A
Voltage	=	29 V
Efisiensi SMAW	=	0,78
Diameter elektroda	=	2 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	5,1 sec

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,78 \times 29 \text{ V} \times 166 \text{ A}$$

$$Q = 3755 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

$$A_f = 15 \text{ mm} \times 2 \text{ mm/sec} \times 5,1 \text{ sec}$$

$$A_f = 149 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_e = 3 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

$$A_1 = 7,5 \text{ mm}^2$$

*Heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{3755 \text{ watt}}{3 \text{ mm}^2}$$

$$q_e = 1195 \text{ watt/mm}^2$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f}$$

$$q_1 = 1195 \text{ watt/mm}^2 \frac{7,5 \text{ mm}^2}{149,3 \text{ mm}^2}$$

$$q_1 = 59,76140789 \text{ watt/mm}^2$$

$$q_1 = 59761408 \text{ watt/m}^2$$

c. Capping-2

Kecepatan pengelasan	=	116 mm/min
	=	1,9 mm/sec
	=	155 sec
Kuat arus	=	163 A
Voltage	=	29 V
Efisiensi SMAW	=	0,78
Diameter elektroda	=	2 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	5,1 sec

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,78 \times 29 \text{ V} \times 163 \text{ A}$$

$$Q = 3706 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

$$A_f = 15 \text{ mm} \times 1,9 \text{ mm/sec} \times 5,1 \text{ sec}$$

$$= 149 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_e = 3 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

$$A_1 = 8,3 \text{ mm}^2$$

*Heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{3706 \text{ watt}}{3 \text{ mm}^2}$$

$$q_e = 1180 \text{ watt/mm}^2$$

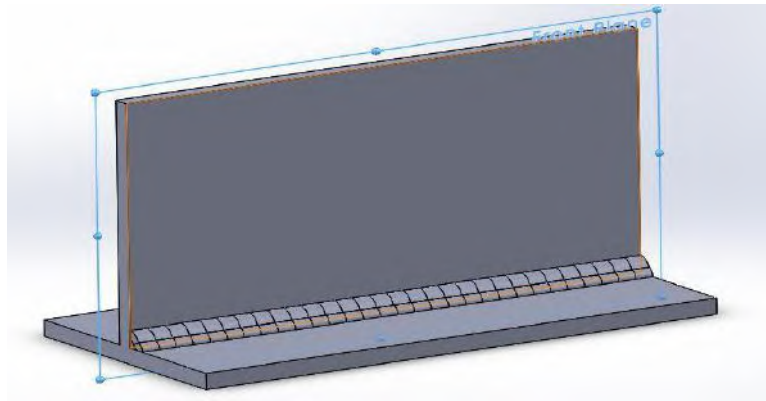
*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f}$$

$$q_1 = 1180 \text{ watt/mm}^2 \frac{8,3 \text{ mm}^2}{149,3 \text{ mm}^2}$$

$$q_1 = 65,53878538 \text{ watt/mm}^2$$

$$q_1 = 65538785 \text{ watt/m}^2$$



### FCAW 150 A

#### Dimensi pelat

p	=	300 mm
l	=	150 mm
t	=	10 mm

#### Spesifikasi kampuh las

<i>Leg length</i>	=	12 mm
<i>Leg length</i>	=	12 mm
Pembagian elemen	=	20 elemen
lebar satu elemen	=	$[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$
	=	17,0 mm
panjang satu elemen	=	15 mm

<i>Leg length</i>	=	6 mm
<i>Leg length</i>	=	6 mm
Pembagian elemen	=	20 elemen
lebar satu elemen	=	$[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$
	=	8,5 mm
panjang satu elemen	=	15 mm

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

Keterangan

$Q$  : *net heat input / effective thermal power* (watt)

$\eta$  : Koefisien efisiensi pengelasan

$U$  : Tegangan busur (Volt)

$I$  : Arus listrik (Ampere)

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

Dimana:

$b$  : Panjang kaki las (mm)

$v$  : Kecepatan pengelasan (mm/s)

$t$  : Waktu yang diperlukan pada satu elemen (s)

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_e}{A_f}$$

Dimana:

$q_1$  : *heat flux* pada elemen ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )

$q_e$  : *heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )

$A_1$  : luas permukaan elemen ( $\text{mm}^2$ )

$A_f$  : luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )





Parameter pengelasan

a. Pass Filler

Kecepatan pengelasan	=	146 mm/min
	=	2,4 mm/sec
	=	123 sec
Kuat arus	=	130 A
Voltage	=	23 V
Efisiensi SMAW	=	0,78

Diameter elektroda	=	2 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	3,5 sec

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$
$$Q = 0,78 \times 23 \text{ V} \times 130 \text{ A}$$
$$Q = 2342 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$
$$A_f = 15 \text{ mm} \times 2,4 \text{ mm/sec} \times 3,5 \text{ sec}$$
$$= 127 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$
$$A_e = 3 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$
$$A_1 = 6,4 \text{ mm}^2$$

*Heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$
$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$
$$q_e = \frac{2342}{3} \frac{\text{watt}}{\text{mm}^2}$$
$$q_e = 746 \text{ watt/mm}^2$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f}$$
$$q_1 = 746 \text{ watt/mm}^2 \frac{6,4 \text{ mm}^2}{127,3 \text{ mm}^2}$$
$$q_1 = 37,2794989 \text{ watt/mm}^2$$
$$q_1 = 37279499 \text{ watt/m}^2$$

b. Capping-1

Kecepatan pengelasan	=	129 mm/min
	=	2,2 mm/sec
	=	140 sec
Kuat arus	=	131 A
Voltage	=	22 V
Efisiensi SMAW	=	0,78
Diameter elektroda	=	2 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	3,9 sec

Heat input bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,78 \times 22 \text{ V} \times 131 \text{ A}$$

$$Q = 2248 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

$$A_f = 15 \text{ mm} \times 2,2 \text{ mm/sec} \times 3,9 \text{ sec}$$

$$A_f = 127 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_e = 3 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

$$A_1 = 7,1 \text{ mm}^2$$

Heat flux yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{2248 \text{ watt}}{3 \text{ mm}^2}$$

$$q_e = 716 \text{ watt/mm}^2$$

heat flux pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f}$$

$$q_1 = 716 \text{ watt/mm}^2 \frac{7,1 \text{ mm}^2}{127,3 \text{ mm}^2}$$

$$q_1 = 39,75266065 \text{ watt/mm}^2$$

$$q_1 = 39752661 \text{ watt/m}^2$$

c. Capping-2

Kecepatan pengelasan	=	171 mm/min
	=	2,9 mm/sec
	=	105 sec
Kuat arus	=	144 A
Voltage	=	23 V
Efisiensi SMAW	=	0,78
Diameter elektroda	=	2 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	3,0 sec

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,78 \times 23 \text{ V} \times 144 \text{ A}$$

$$Q = 2606 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

$$A_f = 15 \text{ mm} \times 2,9 \text{ mm/sec} \times 3 \text{ sec}$$

$$A_f = 127 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_e = 3 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

$$A_1 = 7,1 \text{ mm}^2$$

*Heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{2606 \text{ watt}}{3 \text{ mm}^2}$$

$$q_e = 829 \text{ watt/mm}^2$$

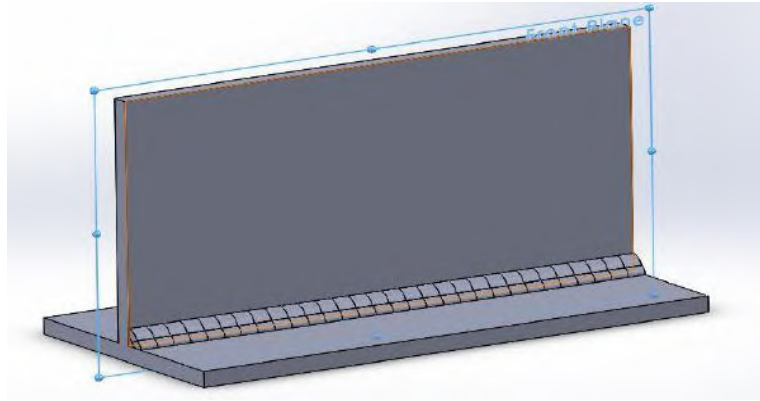
*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f}$$

$$q_1 = 829 \text{ watt/mm}^2 \frac{7,1 \text{ mm}^2}{127,3 \text{ mm}^2}$$

$$q_1 = 46,0810856 \text{ watt/mm}^2$$

$$q_1 = 46081086 \text{ watt/m}^2$$



### SMAW 85-95 A

#### Dimensi pelat

p	=	300 mm
l	=	150 mm
t	=	10 mm

#### Spesifikasi kampuh las

<i>Leg length</i>	=	13 mm
<i>Leg length</i>	=	11 mm
Pembagian elemen	=	20 elemen
lebar satu elemen	=	$[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$
	=	17,0 mm
panjang satu elemen	=	15 mm

<i>Leg length</i>	=	6,5 mm
<i>Leg length</i>	=	5,5 mm
Pembagian elemen	=	20 elemen
lebar satu elemen	=	$[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$
	=	8,5 mm
panjang satu elemen	=	15 mm

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

Keterangan

$Q$  : *net heat input / effective thermal power* (watt)

$\eta$  : Koefisien efisiensi pengelasan

$U$  : Tegangan busur (Volt)

$I$  : Arus listrik (Ampere)

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

Dimana:

$b$  : Panjang kaki las (mm)

$v$  : Kecepatan pengelasan (mm/s)

$t$  : Waktu yang diperlukan pada satu elemen (s)

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_e}{A_f}$$

Dimana:

$q_1$  : *heat flux* pada elemen ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )

$q_e$  : *heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )

$A_1$  : luas permukaan elemen ( $\text{mm}^2$ )

$A_f$  : luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )



Parameter pengelasan

a. Pass Filler

Kecepatan pengelasan	=	81 mm/min
	=	1,4 mm/sec
	=	222 sec
Kuat arus	=	96 A
Voltage	=	21 V
Efisiensi SMAW	=	0,75

Diameter elektroda	=	2,5 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	6,3 sec

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,75 \times 21 \text{ V} \times 96 \text{ A}$$

$$Q = 1512 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

$$A_f = 15 \text{ mm} \times 1,4 \text{ mm/sec} \times 6,3 \text{ sec}$$

$$= 128 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_e = 5 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

$$A_1 = 6,4 \text{ mm}^2$$

*Heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{1512 \text{ watt}}{5 \text{ mm}^2}$$

$$q_e = 308 \text{ watt/mm}^2$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_e}{A_f}$$

$$q_1 = 308 \text{ watt/mm}^2 \frac{6,4 \text{ mm}^2}{127,7 \text{ mm}^2}$$

$$q_1 = 15,40110553 \text{ watt/mm}^2$$

$$q_1 = 15401106 \text{ watt/m}^2$$



b. Capping-1

Kecepatan pengelasan	=	114 mm/min
	=	1,9 mm/sec
	=	158 sec
Kuat arus	=	97 A
Voltage	=	22 V
Efisiensi SMAW	=	0,75
Diameter elektroda	=	2,5 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	4,5 sec

Heat input bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,75 \times 22 \text{ V} \times 97 \text{ A}$$

$$Q = 1601 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda (mm<sup>2</sup>)

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

$$A_f = 15 \text{ mm} \times 1,9 \text{ mm/sec} \times 4,5 \text{ sec}$$

$$A_f = 128 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_e = 5 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

$$A_1 = 7,1 \text{ mm}^2$$

Heat flux yang dihasilkan elektroda (J/mm<sup>2</sup>)

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{1601 \text{ watt}}{5 \text{ mm}^2}$$

$$q_e = 326 \text{ watt/mm}^2$$

heat flux pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_e}{A_f}$$

$$q_1 = 326 \text{ watt/mm}^2 \frac{5 \text{ mm}^2}{127,7 \text{ mm}^2}$$

$$q_1 = 12,77 \text{ watt/mm}^2$$

$$q_1 = 12,77 \text{ watt/mm}^2$$

c. Capping-2

Kecepatan pengelasan	=	101 mm/min
	=	1,7 mm/sec
	=	178 sec
Kuat arus	=	97 A
Voltage	=	22 V
Efisiensi SMAW	=	0,75
Diameter elektroda	=	2,5 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	5,1 sec

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,75 \times 22 \text{ V} \times 97 \text{ A}$$

$$Q = 1601 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

$$A_f = 15 \text{ mm} \times 1,7 \text{ mm/sec} \times 5,1 \text{ sec}$$

$$A_f = 128 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_e = 5 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

$$A_1 = 9,1 \text{ mm}^2$$

*Heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{1601 \text{ watt}}{5 \text{ mm}^2}$$

$$q_e = 326 \text{ watt/mm}^2$$

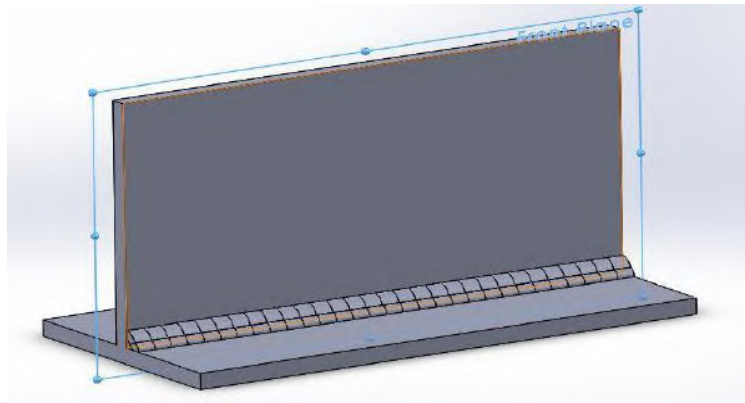
*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f}$$

$$q_1 = 326 \text{ watt/mm}^2 \frac{9,1 \text{ mm}^2}{127,7 \text{ mm}^2}$$

$$q_1 = 23,28937019 \text{ watt/mm}^2$$

$$q_1 = 23289370 \text{ watt/m}^2$$



### SMAW 60-75 A

#### Dimensi pelat

p	=	300 mm
l	=	150 mm
t	=	10 mm

#### Spesifikasi kampuh las

*Leg length* = 11 mm

*Leg length* = 8,5 mm

Pembagian elemen = 20 elemen

lebar satu elemen =  $[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$

= 13,9 mm

panjang satu elemen = 15 mm

*Leg length* = 5,5 mm

*Leg length* = 4,25 mm

Pembagian elemen = 20 elemen

lebar satu elemen =  $[(leg\ length)^2 + (leg\ length)^2]^{1/2}$

= 7,0 mm

panjang satu elemen = 15 mm

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

Keterangan

$Q$  : *net heat input / effective thermal power* (watt)

$\eta$  : Koefisien efisiensi pengelasan

$U$  : Tegangan busur (Volt)

$I$  : Arus listrik (Ampere)

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

Dimana:

$b$  : Panjang kaki las (mm)

$v$  : Kecepatan pengelasan (mm/s)

$t$  : Waktu yang diperlukan pada satu elemen (s)

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_e}{A_f}$$

Dimana:

$q_1$  : *heat flux* pada elemen ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )

$q_e$  : *heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )

$A_1$  : luas permukaan elemen ( $\text{mm}^2$ )

$A_f$  : luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )



Parameter pengelasan

a. Pass Filler

Kecepatan pengelasan	=	103 mm/min
	=	1,7 mm/sec
	=	175 sec
Kuat arus	=	87 A
Voltage	=	19 V
Efisiensi SMAW	=	0,75

Diameter elektroda	=	2,5 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	4,0 sec

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$
$$Q = 0,75 \times 19 \text{ V} \times 87 \text{ A}$$
$$Q = 1239,75 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$
$$A_f = 15 \text{ mm} \times 1,7 \text{ mm/sec} \times 4 \text{ sec}$$
$$= 104 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$
$$A_e = 5 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$
$$A_1 = 5,2 \text{ mm}^2$$

*Heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$
$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$
$$q_e = \frac{1239,75 \text{ watt}}{5 \text{ mm}^2}$$
$$q_e = 253 \text{ watt/mm}^2$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_e}{A_f}$$
$$q_1 = 253 \text{ watt/mm}^2 \frac{5,2 \text{ mm}^2}{104,3 \text{ mm}^2}$$
$$q_1 = 12,6279898 \text{ watt/mm}^2$$
$$q_1 = 12627990 \text{ watt/m}^2$$

b. Capping-1

Kecepatan pengelasan	=	166 mm/min
	=	2,8 mm/sec
	=	108 sec
Kuat arus	=	87 A
Voltage	=	19 V
Efisiensi SMAW	=	0,75
Diameter elektroda	=	2,5 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	2,5 sec

Heat input bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,75 \times 19 \text{ V} \times 87 \text{ A}$$

$$Q = 1239,75 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda (mm<sup>2</sup>)

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

$$A_f = 15 \text{ mm} \times 2,8 \text{ mm/sec} \times 2,5 \text{ sec}$$

$$A_f = 104 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_e = 5 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

$$A_1 = 5,8 \text{ mm}^2$$

Heat flux yang dihasilkan elektroda (J/mm<sup>2</sup>)

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{1239,75 \text{ watt}}{5 \text{ mm}^2}$$

$$q_e = 253 \text{ watt/mm}^2$$

heat flux pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_e}{A_f}$$

$$q_1 = 253 \text{ watt/mm}^2 \frac{5,8 \text{ mm}^2}{104,3 \text{ mm}^2}$$

$$q_1 = 14,03109978 \text{ watt/mm}^2$$

$$q_1 = 14031100 \text{ watt/m}^2$$

c. Capping-2

Kecepatan pengelasan	=	142 mm/min
	=	2,4 mm/sec
	=	127 sec
Kuat arus	=	87 A
Voltage	=	19 V
Efisiensi SMAW	=	0,75
Diameter elektroda	=	2,5 mm
waktu yang diperlukan pada satu elemen	=	2,9 sec

*Heat input* bersih

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

$$Q = 0,75 \times 19 \text{ V} \times 87 \text{ A}$$

$$Q = 1239,75 \text{ watt}$$

Luasan fluks yang dihasilkan elektroda ( $\text{mm}^2$ )

$$A_f = b \cdot v \cdot t$$

$$A_f = 15 \text{ mm} \times 2,4 \text{ mm/sec} \times 2,9 \text{ sec}$$

$$A_f = 104 \text{ mm}^2$$

Luas penampang elektrode

$$A_e = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_e = 5 \text{ mm}^2$$

Luas area satu elemen pemodelan

$$A_1 = p \times l$$

$$A_1 = 5,8 \text{ mm}^2$$

*Heat flux* yang dihasilkan elektroda ( $\text{J/mm}^2$ )

$$q_e = \frac{H_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{Q_{net}}{A_e}$$

$$q_e = \frac{1239,75 \text{ watt}}{5 \text{ mm}^2}$$

$$q_e = 253 \text{ watt/mm}^2$$

*heat flux* pada elemen

$$q_1 = q_e \frac{A_e}{A_f}$$

$$q_1 = 253 \text{ watt/mm}^2 \frac{5,8 \text{ mm}^2}{104,3 \text{ mm}^2}$$

$$q_1 = 14,03109978 \text{ watt/mm}^2$$

$$q_1 = 14031100 \text{ watt/m}^2$$



**LAMPIRAN C**  
**(INPUT SOFTWARE)**

**LAMPIRAN C**  
*(INPUT SOFTWARE)*

SCRIPT RUNNING TERMAL SMAW  
60-75 A

!!! APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202

/GO

!\*

SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!!!LS 1

!!!APPLY HF

FLST,2,2,5,ORDE,2  
FITEM,2,155  
FITEM,2,175  
/GO

!\*

SFA,P51X,1,HFLUX,12627990

!\*

TIME,4

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,1,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,CONV

!!!DEL HF

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18

FITEM,2,23

FITEM,2,28

FITEM,2,30

FITEM,2,35

FITEM,2,61

FITEM,2,-79

FITEM,2,82

FITEM,2,111

FITEM,2,-202

SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!! APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18

FITEM,2,23

FITEM,2,28

FITEM,2,30

FITEM,2,35

FITEM,2,61

FITEM,2,-79

FITEM,2,82

FITEM,2,111

FITEM,2,-202

/GO

!\*

SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!!!LS 2

!!!APPLY HF

FLST,2,2,5,ORDE,2

FITEM,2,154

FITEM,2,174

/GO

!\*

SFA,P51X,1,HFLUX,12627990

!\*

TIME,8.1

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,2,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,CONV

!!!DEL HF

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!! APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202

/GO

!\*

SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!!!LS 3

!!!APPLY HF

FLST,2,2,5,ORDE,2  
FITEM,2,153  
FITEM,2,173  
/GO

!\*

SFA,P51X,1,HFLUX,12627990

!\*

TIME,12.1

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,3,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18

FITEM,2,23

FITEM,2,28

FITEM,2,30

FITEM,2,35

FITEM,2,61

FITEM,2,-79

FITEM,2,82

FITEM,2,111

FITEM,2,-202

SFADELE,P51X,1,CONV

!!!DEL HF

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18

FITEM,2,23

FITEM,2,28

FITEM,2,30

FITEM,2,35

FITEM,2,61

FITEM,2,-79

FITEM,2,82

FITEM,2,111

FITEM,2,-202

SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!! APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18

FITEM,2,23

FITEM,2,28

FITEM,2,30

FITEM,2,35

FITEM,2,61

FITEM,2,-79

FITEM,2,82

FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!!!LS 4

!!!APPLY HF

FLST,2,2,5,ORDE,2  
FITEM,2,152  
FITEM,2,172  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,HFLUX,12627990

!\*  
TIME,16.2  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , ,1  
KBC,1  
!\*  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,4,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,CONV

!!!DEL HF

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!! APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!!!LS 5

!!!APPLY HF

FLST,2,2,5,ORDE,2  
FITEM,2,151  
FITEM,2,171  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,HFLUX,12627990

!\*  
TIME,20.2  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , ,1  
KBC,1  
!\*  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,5,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,CONV

!!!DEL HF

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!! APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

.

.

.

.

.

.

.

!!!LS 55

!!!APPLY HF

FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,186  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,HFLUX,14031100  
!\*  
TIME,175.3  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , ,1  
KBC,1  
!\*  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,55,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,CONV

!!!DEL HF

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!!APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!!!LS 56

!!!APPLY HF

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,185  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,HFLUX,14031100  
!\*  
TIME,178.2  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , ,1  
KBC,1  
!\*  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,56,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,CONV

!!!DEL HF

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!!APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61

FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!!!LS 57

!!!APPLY HF

FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,184  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,HFLUX,14031100  
!\*  
TIME,181.2  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , ,1  
KBC,1  
!\*  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,57,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202  
SFADELE,P51X,1,CONV

!!!DEL HF

FLST,2,124,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-7  
FITEM,2,18  
FITEM,2,23  
FITEM,2,28  
FITEM,2,30  
FITEM,2,35  
FITEM,2,61  
FITEM,2,-79  
FITEM,2,82  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-202

SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!!APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18

FITEM,2,23

FITEM,2,28

FITEM,2,30

FITEM,2,35

FITEM,2,61

FITEM,2,-79

FITEM,2,82

FITEM,2,111

FITEM,2,-202

/GO

!\*

SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!!!LS 58

!!!APPLY HF

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,183

/GO

!\*

SFA,P51X,1,HFLUX,14031100

!\*

TIME,184.1

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,58,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18

FITEM,2,23

FITEM,2,28

FITEM,2,30

FITEM,2,35

FITEM,2,61

FITEM,2,-79

FITEM,2,82

FITEM,2,111

FITEM,2,-202

SFADELE,P51X,1,CONV

!!!DEL HF

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18

FITEM,2,23

FITEM,2,28

FITEM,2,30

FITEM,2,35

FITEM,2,61

FITEM,2,-79

FITEM,2,82

FITEM,2,111

FITEM,2,-202

SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!!APPLY CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18

FITEM,2,23

FITEM,2,28

FITEM,2,30

FITEM,2,35

FITEM,2,61

FITEM,2,-79

FITEM,2,82

FITEM,2,111

FITEM,2,-202

/GO

!\*

SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!!!LS 59

!!!APPLY HF

FLST,2,1,5,ORDE,1

FITEM,2,182

/GO

!\*

SFA,P51X,1,HFLUX,14031100

!\*

TIME,187

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,59,

!!!DEL CONV

FLST,2,124,5,ORDE,12

FITEM,2,1

FITEM,2,-7

FITEM,2,18





SFA,P51X,1,CONV,10,303.15

!\*  
/

TIME,7200

AUTOTS,0

NSUBST,30, , ,1

KBC,1

!\*  
/

TSRES,ERASE

LSWRITE,61,

!!! BOUNDARY CONDITION SMAW 60-75 A

FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,7  
!\*  
/GO  
DA,P51X,UY,0

FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,7  
!\*  
/GO  
DA,P51X,UZ,0

FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,35  
!\*  
/GO  
DA,P51X,UY,0

FLST,2,2,3,ORDE,2  
FITEM,2,11  
FITEM,2,43  
!\*  
/GO  
DK,P51X, ,0, ,0,UX, , , , ,

FLST,2,2,3,ORDE,2  
FITEM,2,11  
FITEM,2,43  
!\*  
/GO  
DK,P51X, ,0, ,0,UY, , , , ,

FLST,2,2,3,ORDE,2  
FITEM,2,11  
FITEM,2,43  
!\*  
/GO  
DK,P51X, ,0, ,0,UZ, , , , ,

FLST,2,1,1,ORDE,1  
FITEM,2,557  
!\*  
/GO  
D,P51X, ,0, , , ,UZ, , , , ,  
FLST,2,1,1,ORDE,1  
FITEM,2,575  
!\*  
/GO  
D,P51X, ,0, , , ,UZ, , , , ,



LDREAD,TEMP,4,LAST, , , 'smawlowmultipass11','rth',''  
!\*

OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1

!\*

NEQIT,1000

TIME,16.2

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,4,

!!!LS 5

LDREAD,TEMP,5,LAST, , , 'smawlowmultipass11','rth',''  
!\*

OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1

!\*

NEQIT,1000

TIME,20.2

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,5,

.

.

.

.

.

!!!LS 55

LDREAD,TEMP,55,LAST, , , 'smawlowmultipass11','rth',''  
!\*

!\*

OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1

!\*

NEQIT,1000

TIME,175.3

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,55,

!!!LS 56

LDREAD,TEMP,56,LAST, , , 'smawlowmultipass11','rth',''

!\*

OUTPR,ALL,ALL,

/GST,1

!\*

NEQIT,1000

TIME,178.2

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,56,

!!!LS 57

LDREAD,TEMP,57,LAST, , , 'smawlowmultipass11','rth',''

!\*

OUTPR,ALL,ALL,

/GST,1

!\*

NEQIT,1000

TIME,181.2

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,57,

!!!LS 58

LDREAD,TEMP,58,LAST, , , 'smawlowmultipass11','rth',''

!\*

OUTPR,ALL,ALL,

/GST,1

!\*

NEQIT,1000

TIME,184.1

AUTOTS,0

NSUBST,2, , ,1

KBC,1

!\*

TSRES,ERASE

LSWRITE,58,

!!!LS 59

LDREAD,TEMP,59,LAST, , , 'smawlowmultipass11','rth',''

!\*  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1

!\*  
NEQIT,1000

TIME,187  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , ,1  
KBC,1

!\*  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,59,

!!!LS 60

LDREAD,TEMP,60,LAST, , , 'smawlowmultipass11','rth',' '

!\*  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1

!\*  
NEQIT,1000

TIME,190  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , ,1  
KBC,1

!\*  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,60,

!\*  
TIME,7200  
AUTOTS,0  
NSUBST,30, , ,1  
KBC,1

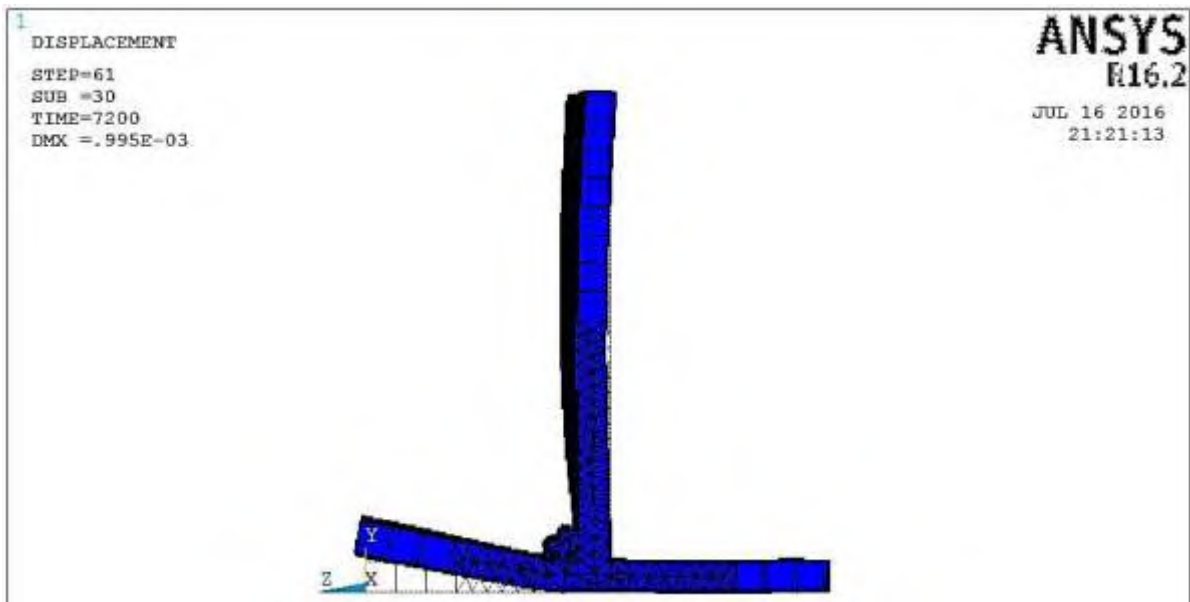
!\*  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,61,

**LAMPIRAN D**  
**(OUTPUT SOFTWARE)**

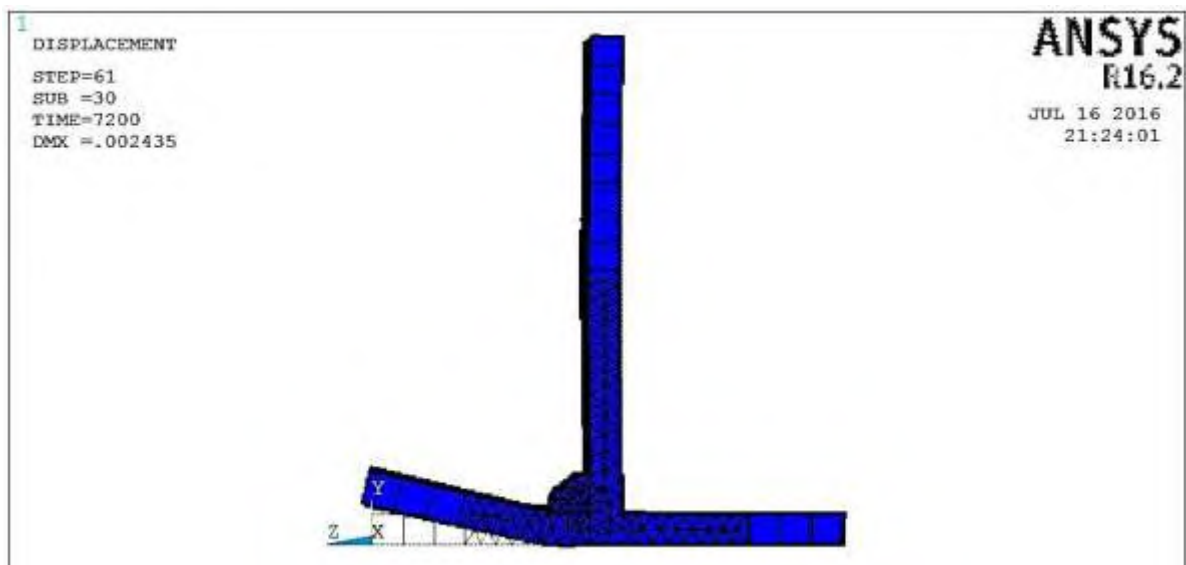


**LAMPIRAN D**  
*(OUTPUT SOFTWARE)*

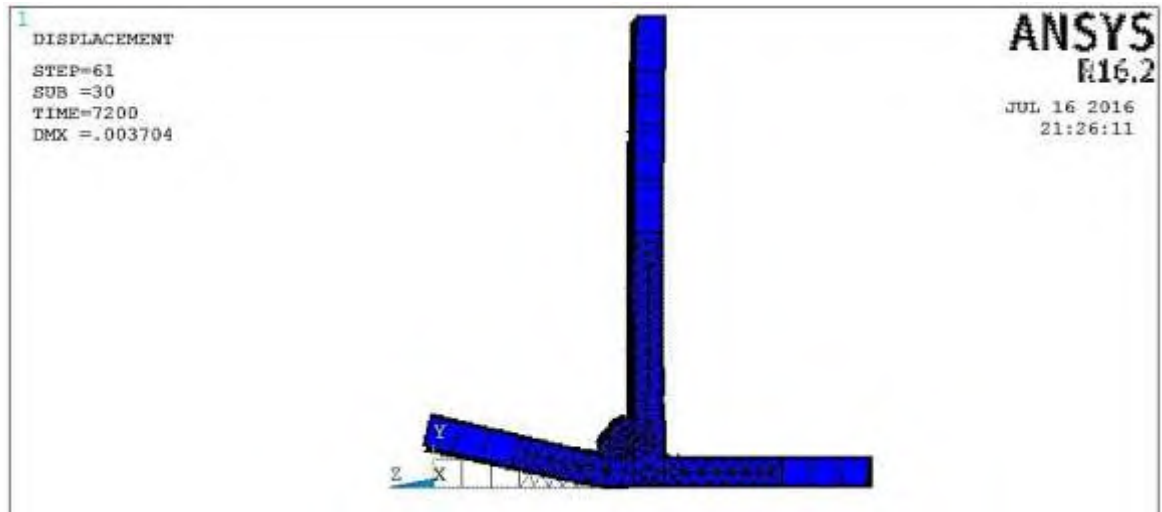
# 1. SMAW 60-75 A



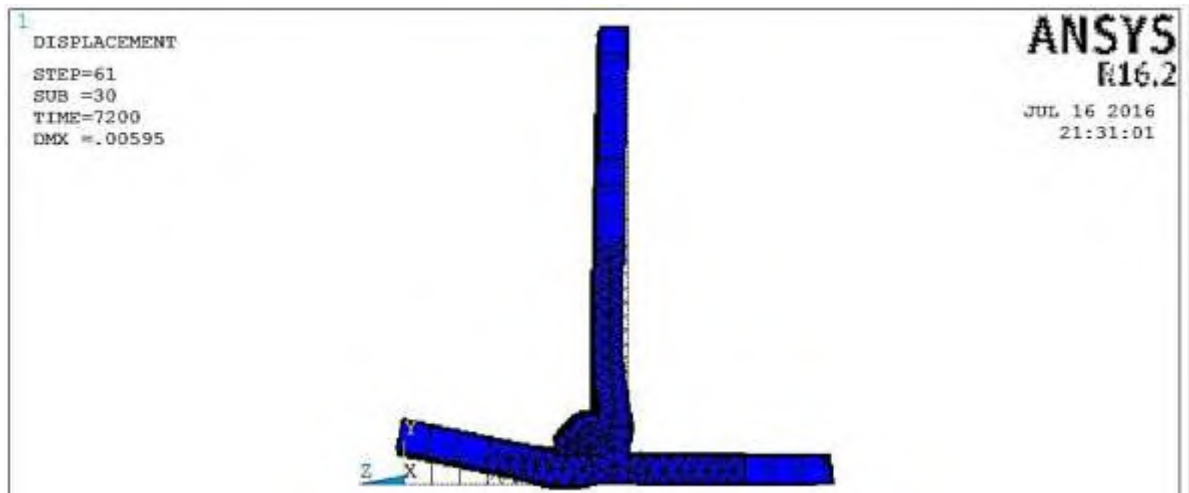
# 2. SMAW 85-95 A



### 3. FCAW-SS 150 A



### 4. FCAW-SS 200



**BAB V**

**PENUTUP**

## **BAB V**

### **PENUTUP**

Berdasarkan analisis dari hasil percobaan dan pemodelan ANSYS pada pengelasan sambungan T dengan variasi *heat input* (masukan panas) yang telah dilakukan, maka dalam bab ini dapat diuraikan beberapa kesimpulan untuk mendapatkan perubahan distorsi sudut yang paling minimum. Dalam bab ini juga disampaikan beberapa saran yang bisa dibahas sebagai kelanjutan dari penelitian tugas akhir ini.

#### **V.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis eksperimen dan pemodelan pada pengelasan sambungan T yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya perubahan distorsi *angular* yang terjadi pada material *low carbon steel* sambungan T jenis pengelasan SMAW dengan variasi *heat input* memiliki nilai 1,5°, 0,5°, 0,5°, dan 0,6° serta dalam pengukuran satuan panjang perubahan distorsi pada pengelasan SMAW sebesar 1,2 mm, 0,3 mm, 0,1 mm, dan 0,1 mm untuk jenis pengelasan SMAW 60-75 A. Sedangkan, untuk pengelasan SMAW 85-95 A memiliki nilai perubahan distorsi sudut sebesar 2,8°, 2°, 0,6°, dan 0,6° serta dalam dalam pengukuran satuan panjang perubahan distorsi pada pengelasan SMAW sebesar 1,5 mm, 1,1 mm, 0,1 mm, dan 0,1 mm. Dimana nilai distorsi tersebut diukur dari jarak lasan.
2. Besarnya perubahan distorsi *angular* yang terjadi pada material *low carbon steel* sambungan T jenis pengelasan FCAW-SS dengan variasi *heat input* memiliki nilai 2,1°, 1,2°, 0,3°, dan 0,5° serta dalam pengukuran satuan panjang perubahan distorsi pada pengelasan FCAW sebesar 1,7 mm, 1,2 mm, 0,1 mm, dan 0,15 mm untuk jenis pengelasan FCAW-SS 150 A. Sedangkan, untuk pengelasan FCAW-SS 200 A memiliki nilai perubahan distorsi sudut sebesar 2,9°, 1,1°,

0,1°, dan 0,2° serta dalam pengukuran satuan panjang perubahan distorsi pada pengelasan FCAW sebesar 2,1 mm, 1,5 mm, 0,12 mm, dan 0,16 mm. Dimana nilai distorsi tersebut diukur dari jarak lasan.

3. Perubahan distorsi sudut yang terjadi dengan variasi *heat input* menghasilkan perubahan distorsi paling minimum pada pengelasan SMAW 60-75 A. Dimana masukan panas (*heat input*) untuk pelat sambungan T dengan pengelasan jenis SMAW 60-75 A pada eksperimen sebesar 0,85 kJ/mm. Sedangkan pada pemodelan numerik, perubahan distorsi paling minimum terjadi pada pengelasan SMAW 60-75 A dengan *heat flux* yang dibebankan masing-masing layer lasan sesuai dengan perhitungan yang diperoleh dari eksperimen. Berdasarkan hasil analisis, pengelasan SMAW 60-75 A dengan masukan panas (*heat input*) yang rendah memiliki perubahan distorsi paling minimum. Meskipun perubahan distorsi sudut dengan variasi *heat input* yang terjadi pada eksperimen lebih besar dibandingkan pemodelan numerik.

## V.2. Saran

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi salah satu acuan untuk studi pada pengelasan sambungan T dan dalam pengerjaan tugas akhir ini juga terdapat beberapa kekurangan, oleh karena hal itu penulis memberikan saran-saran untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik. Saran-saran tersebut antara lain :

1. Pengukuran perubahan distorsi sudut yang dilakukan pada eksperimen dilakukan setelah pemotongan makroetsa, sehingga material berukuran sesuai untuk pengujian makroetsa. Sehingga perubahan distorsi berbeda dengan pengukuran pada pemodelan numerik. Untuk mendapatkan hasil perubahan distorsi yang lebih sempurna, disarankan untuk membuat model material yang sama dengan material yang telah dipotong dalam melakukan pemodelan numerik.

2. Dalam pemodelan menggunakan ANSYS sebaiknya menggunakan cara *Birth and Death*. Dimana cara tersebut untuk mengaplikasikan *contact element* antar *layer* pengelasan.
3. Selain variasi masukan panas (*heat input*), dapat dilakukan juga analisis pemodelan ANSYS dengan variasi *welding squence*.

## **DAFTAR PUSTAKA**



## DAFTAR PUSTAKA

Akbar, Taufik. September 2012. *Analisa Pengaruh dari Welding Sequence Terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Pada Circular Patch Weld Double Bevel Butt-Joint Plat ASTM A36 Menggunakan Metode Element Hingga*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Volume 1, No.1. <http://digilib.its.ac.id/repository/Journal>. 26 Februari 2016.

Prambudi, Agung. 2012. *Analisis Pengaruh Variasi Pengelasan Dua Sisi Material AH 36 Terhadap Distribusi Panas, Deformasi, dan Tegangan Sisa Pada Pengelasan Fillet Joint*.

ASME IX. 2013. *Boiler and Pressure Vessel Code “Welding, Brazing, and Fusing Qualifications”*. The American Society of Mechanical Engineers : New York.

ASME IIC. 2013. *Boiler and Pressure Vessel Code “Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals*. The American Society of Mechanical Engineers : New York.

AWS D1.1. 2003. *Structural Welding Code – Steel*. American National Standards Institute : USA.

Akbar, Taufik. Santosa, Budie. 2012. *Analisa Pengaruh dari Welding Sequence Terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Pada Circular Patch Weld Double Bevel Butt-Joint Plat ASTM A36 Menggunakan Metode Element Hingga*. ITS Surabaya.

Firdiansyah , Bambang. 2011. *Panas Distribusi, Deformasi dan Analisa Tegangan Sisa Las Aluminium Plate dengan Dua Profil Sudut Kanan dengan Metode Elemen Hingga*. ITS Surabaya.

Gandy, D. 2007. *Carbon Steel Handbook*. Electric Power Research Institute : California, USA

Hastuti, Farida. 2010. *Analisa Penagruh Pengelasan FCAW pada Sambungan Material Grade A dengan Material Grade DH 36*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK, ITS, Surabaya.

Heinze, C., Schwenk, C., Rethmeier, M., Mei 2012. *Numerical calculation of residual stress development of multi-pass gas metal arc*

welding. Elsevier Ltd. Volume 72.  
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/0143974X>. 11 Mei 2016.

Mahfud, Soeweify. September 2012. *Analisa Pengaruh Variasi Tanggem Pada Pengelasan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Pengelasan SMAW dan FCAW Terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa Menggunakan Analisa Pemodelan Elemen Hingga*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Volume 1, No.1.  
<http://digilib.its.ac.id/repository/Journal>. 17 Agustus 2015.

Mubarok, Husni. 2010. *Pengaruh Komposisi Gas Argon dengan Gas CO2 pada Pengelasan GMAW Terhadap Material Stainless Steel*.

Pambudi, Agung. 2008. *Analisa Pengaruh Variasi Pengelasan Dua Sisi Material AH 36 Terhadap Distribusi Panas, Deformasi, dan Tegangan Sisa Pada Pengelasan Filet Joint*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan, FTK ITS, Surabaya.

Safrizal, M. Detta. 2015. *Analisa Pengaruh Pengelasan GMAW Terhadap Perubahan Distorsi pada Aluminium dengan Variasi Variabel Heat Input*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Setyawati, Sri Yuni. September 2010. *Analisa Pengaruh Tegangan Sisa Dan Distorsi Pada Pengelasan Butt Joint Dan T Joint Dengan Variasi Tebal Plat*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Volume 1, No.1. <http://digilib.its.ac.id/repository/Journal>. 11 Mei 2016.

CSWIP-WI-6-92 13rd Edition. 2015. *Requirements for the Certification of Visual Welding Inspectors Welding Inspectors and Senior Welding Inspectors (fusion welding) in accordance with the requirements of BS EN ISO 176371:2011*. TWI Certification Ltd : Granta Park, Great Abington, Cambridge CB21 6AL, UK.

Wirjosumarto, Harsono., Okumura, Toshie. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. PT Pradnya Paramita : Jakarta.

Yuni Setyawati, Sri. 2010. *Analisa Pengaruh Tegangan Sisa dan Distorsi pada Pengelasan Butt Joint dan T-Joint Dengan Variasi Tebal Plat*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK, ITS, Surabaya.

## **BIODATA PENULIS**

## BIODATA PENULIS



Mega Ayu Nurfitriana adalah nama yang diberikan oleh kedua orang tua penulis. Dimana penulis dilahirkan di Bogor pada tanggal 22 Desember 1993. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis memulai pendidikan di taman kanak-kanan yang bernama TK Wisanggeni pada tahun 1999-2000, kemudian melanjutkan pendidikan di tingkat sekolah dasar yaitu SDN Duren Seribu 04 pada tahun 2000-2006. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 10 Depok pada tahun 2006-2009 dan pendidikan tingkat menengah atas, yaitu SMA Negeri 5 Depok pada tahun 2009-2012. Setelah lulus dari SMA, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis menjalankan pendidikan perguruan tinggi pada tahun 2012-2016. Selama masa perkuliahan, penulis mengikuti kegiatan organisasi tingkat jurusan di HIMATEKLA selama 2013-2014 dan 2014-2015. Selain itu, penulis juga mengikuti kegiatan organisasi di BEM ITS selama periode 2013-2014 dan periode 2015-2016. Penulis berkesempatan menyelesaikan Kerja Praktek di PT. Profab Indonesia pada tahun 2015 selama 2 bulan. Penulis mendapatkan pengalaman dalam menyelesaikan Kerja Praktek di kantor maupun di lapangan melihat para pekerja lapangan menyelesaikan fabrikasi proyek yang sedang terlaksana. Selama masa studi strata 1 yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang Perancangan dan Produksi Bangunan Lepas Pantai, sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik analisis pengelasan, terutama dalam analisa pengelasan SMAW dan FCAW terhadap variasi *heat input*.

Kontak Penulis :  
Email : megaayunurfitriana@gmail.com  
Telepon : 087811360392