

**SIMULASI PENGELASAN SMAW ( *Shielded Metal Arc Welding* )  
MENGUNAKAN CAE ( *Computer Aided Engineering* ) SIMULATION  
UNTUK MENENTUKAN DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN  
TEGANGAN SISA PADA BAJA SS400  
SKRIPSI**



**ADNAN MAULANA SIDIQ  
2110816210018**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT  
2024**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN**

**Simulasi Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) Menggunakan  
CAE (*Computer Aided Engineering*) Simulation untuk Menentukan  
Distribusi Temperatur dan Tegangan Sisa pada Baja SS400**

**Oleh**

**Adnan Maulana Sidiq (2110816210018)**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 03 Januari 2025 dan dinyatakan

**L U L U S**

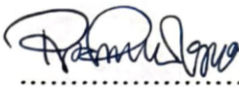
**Komite Penguji :**

**Ketua** : Ma'ruf, S.T., M.T  
NIP. 197601282008121002




.....

**Anggota 1** : Prof. Dr. Ir. Rachmat Subagyo, S.T., M.T.,IPM.,  
ACPE  
NIP. 197608052008121001



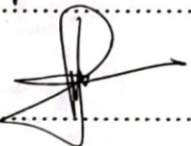
.....

**Anggota 2** : Prof. Dr. Ir. Mastiadi Tamjidillah, S.T., M.T.,IPM  
NIP. 197003121995121002



.....


**Pembimbing  
Utama** : Pathur Razi Ansyah, S.T., M.Eng  
NIP. 199210182019031010



.....

Banjarbaru, 19 Januari 2025  
diketahui dan disahkan oleh :

**Wakil Dekan Bidang Akademik  
Fakultas Teknik ULM,**



**Dr. Mahmud, S.T., M.T.**  
NIP. 197401071998021001

**Koordinator Program Studi  
Teknik Mesin,**



**Ma'ruf, S.T., M.T.**  
NIP. 197601282008121002

## IDENTITAS

JUDUL SKRIPSI :

SIMULASI PENGELASAN SMAW ( SHIELDED METAL ARC WELDING )  
MENGGUNAKAN CAE ( COMPUTERAIDED ENGINEERING ) SIMULATION UNTUK  
MENENTUKAN DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN TEGANGAN SISA.

Nama Mahasiswa/i : Adnan Maulana Sidiq

NIM : 2110816210018

### **KOMITE PEMBIMBING**

Pembimbing I : Pathur Razi Ansyah, S.T., M.Eng

### **KOMITE PENGUJI**

Dosen Penguji I : Ma'ruf, S.T., M.T

Dosen Penguji II : Prof. Dr. Ir. Rachmat Subagyo, S.T., M.T.,  
IPM., ACPE

Dosen Penguji III : Prof. Dr. Ir. Mastiadi Tamjidillah, S.T., M.T.,  
IPM

Waktu dan Tempat Ujian Skripsi

Seminar Proposal : Selasa, 08 Oktober 2024

Seminar Hasil : Selasa, 17 Desember 2024

Ujian Akhir :

Tempat : Ruang Sidang PSTM

SK Penguji :






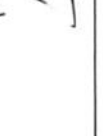

**LEMBAR KONSULTASI**

**SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : Adnan Maulana Sidiq

NIM : 2110816210018

Judul Skripsi : Simulasi Pengelasan SMAW Menggunakan CAE Simulation untuk Menentukan Distribusi Suhu dan Tegangan Sisa serta Kekuatan Las pada Baja SS400.

No	Tanggal	Materi Konsultasi	TTD
1.	06/09/2024	Cari referensi lebih banyak untuk memperjelas penelitian yang akan dilakukan.	
2.	11/09/2024	Perbaiki kembali latar belakang dan tambahkan referensi.	
3.	20/09/2024	Tambahkan materi di bab 2 yang berkaitan dengan pengelasan.	
4.	23/09/2024	Perbaiki lagi untuk bab 3	
5.	27/09/2024	Tambahkan lagi terkait penelitian terdahulu.	
6.	02/10/2024	Jangan menggunakan kata saya pada laporan penelitian / karya ilmiah	
7.	04/10/2024	Acc Bab 1 - 3	

Banjarbaru,.....

Pembimbing

Pathur Razi Ansyah, S.T., M.Eng.

NIP.199210182019031010


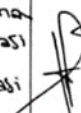
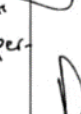

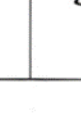

## LEMBAR KONSULTASI

### SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Adnan Maulana Sidiq

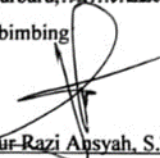
NIM : 2110816210018

Judul Skripsi : Simulasi Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)  
Menggunakan CAE (Computer Aided Engineering) Simulation untuk  
Menentukan Distribusi Temperatur dan Tegangan Sisa pada Baja  
SS400.

No	Tanggal	Materi Konsultasi	TTD
1.	25-11-2024	Hapus beberapa tabel yang tidak diperlukan, Perbaiki bab 4.	
2.	29-11-2024	Perbaiki bab 4. Perbaiki fatalah pengetikan dan lengkapi informasi metode.	
3.	02-12-2024	Buat perbandingan data simulasi dan eksperimental pada bagian validasi data dalam bentuk grafik	
4.	05-12-2024	Tambahkan referensi untuk memperkuat pembahasan bab 4	
5.	12-12-2024	Buat lebih ringkas kesimpulan di bab 5	
6.	15-12-2024	ACC Bab 1 - 5	

Banjarbaru, 15 Desember 2024

Pembimbing

  
Pathur Razi Ansyah, S.T., M.Eng.

NIP.199210182019031010

## **ORISINALITAS**

### **PENELITIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Penelitian Skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di perguruan tinggi, terkecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan Skripsi, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diprotes sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku ( UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70 ).

Banjarbaru, Januari 2025

Mahasiswa

Adnan Maulana Sidiq

NIM. 2110816210018

## **RIWAYAT HIDUP**

Adnan Maulana Sidiq lahir di Tanah Laut, 09 Juni 2003, Putra ke 1 dari ayah Jamzami, S.T dan Ibu Tri Mulyanti Pertiwi, S.E. SD Negeri Syamsudin Noor 4 Kota Banjarbaru ( 2009 – 2015 ), SMP Negeri 15 Kota Banjarbaru ( 2015 – 2018 ), SMA Negeri 4 Kota Banjarbaru ( 2018 - 2021 ). Studi di program Teknik Mesin di Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Kalimantan Selatan tahun 2021.

Banjarbaru, Januari 2025

Mahasiswa

Adnan Maulana Sidiq

NIM. 2110816210018

## UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah mencurahkan karunia berkah dan kasih sayang-Nya sehingga atas izin-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Simulasi Pengelasan SMAW ( *Shielded Metal Arc Welding* ) Menggunakan CAE ( *Computer Aided Engineering* ) Simulation Untuk Menentukan Distribusi Temperatur Dan Tegangan Sisa Pada Baja SS400.”

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya Skripsi ini tak terlepas dari campur tangan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

Bapak Prof. Dr. Ahmad, SE., M.Si, selaku Rektor Universitas Lambung Mangkurat

Bapak Prof. Dr. Ir. Iphan Fitriani Radam, S.T., M.T., IPU, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

Bapak Dr. Ir. Mahmud, S.T., M.T., selaku Wakil Dekan I Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

Bapak Ma'ruf S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat dan selaku Ketua Komite Penguji Skripsi.

Bapak Pathur Razi Ansyah, S.T., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing I dalam penyelesaian Skripsi, yang telah mendorong, membimbing dan memberikan arahan kepada penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengucapkan permohonan maaf atas segala kekurangan dan kekhilafan. Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi pembacanya.

Banjarbaru, Januari 2025

Mahasiswa

Adnan Maulana Sidiq

NIM. 2110816210018

## RINGKASAN

Adnan Maulana Sidiq, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Januari 2025. Simulasi Pengelasan SMAW ( *Shielded Metal Arc Welding* ) Menggunakan CAE ( *Computer Aided Engineering* ) Simulation Untuk Menentukan Distribusi Temperatur Dan Tegangan Sisa Pada Baja SS400; Komisi Pembimbing, Ketua : Pathur Razi Ansyah, S.T., M.Eng.

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang memiliki peran penting dalam berbagai sektor industri, seperti otomotif, konstruksi, pembuatan kapal, dan energi. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah teknik pengelasan yang populer karena kemudahannya aplikasinya serta kemampuannya menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama. Namun, tantangan utama dalam pengelasan adalah mengontrol distribusi temperatur dan tegangan sisa yang dapat mempengaruhi integritas struktural material. Distribusi temperatur yang tidak merata dapat menyebabkan cacat seperti distorsi dan retakan, sementara tegangan sisa yang tinggi berpotensi mengurangi performa mekanis dan masa pakai material, khususnya pada baja SS400 yang banyak digunakan dalam industri konstruksi dan otomotif. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana bentuk distribusi temperatur dan tegangan sisa terbentuk melalui variasi temperatur dan *groove* pengelasan dengan tujuan untuk mengetahui kombinasi terbaik untuk mengurangi dampak buruk dari pengelasan.

Pada penelitian sebelumnya (Syafa'at, 2021) melakukan sebuah penelitian terkait pengelasan dengan variasi yang dilakukan ialah *groove*, heat flux, dan konveksi. Output yang ditemukan pada penelitian tersebut ialah distribusi temperatur, jarak sebaran panas dan waktu, penelitian tersebut tidak membahas deformasi yang terbentuk. Maka dari itu penelitian ini akan menjelaskan juga deformasi yang terbentuk akibat dari distribusi temperatur dan tegangan sisa. Selain itu, penelitian ini akan melibatkan dua pengujian fisik sebagai validasi data diantaranya pengambilan temperatur pada tiga titik dan uji tarik yang sebelumnya belum pernah dilakukan.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan spesimen dengan double v *groove* merupakan spesimen yang memiliki tegangan sisa terkecil dengan nilai tegangan sisa tarik  $6,2699 \times 10^7$  Pa dan tegangan sisa tekan  $-9,7236 \times 10^7$  Pa dan deformasi tertinggi yang terbentuk ialah 0,00011167 m. Berdasarkan uji validasi data melalui pengambilan temperatur didapatkan nilai error 4,314% hingga 11,549%. Sedangkan uji validasi data melalui uji tarik didapatkan

0,9541% hingga 4,8975% yang berarti data engineering dan setting yang dilakukan hampir mendekati kondisi yang sebenarnya.

Saran untuk penelitian selanjutnya ialah untuk mengembangkan simulasi *SMAW* ini dengan mempertimbangkan melalui penambahan beberapa parameter yang sebelumnya belum pernah dilakukan seperti variasi tebal plat, material, variasi sudut groove pengelasan, dan beberapa treatment seperti *pre-welding treatment* dan *post-welding treatment*. Hal ini dikarenakan banyak variabel yang memiliki pengaruh besar pada hasil lasan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana fenomena dan perilaku yang terjadi dengan variasi yang berbeda pada kualitas hasil lasan.

Kata kunci : *SMAW*, Distribusi Temperatur, Tegangan Sisa, *Groove* Pengelasan, *Heat Flux*, *SS400*, *Simulasi*.

## SUMMARY

Adnan Maulana Sidiq, Mechanical Engineering Program, Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University, January 2025. Simulation of SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Using CAE (Computer-Aided Engineering) Simulation to Determine Temperature Distribution and Residual Stress on SS400 Steel; Supervisory Committee: Chairperson: Pathur Razi Ansyah, S.T., M.Eng.

Welding is a vital method for joining metals in various industrial sectors such as automotive, construction, shipbuilding, and energy. Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is a widely used technique due to its ease of application and its ability to produce strong and durable joints. However, one of the main challenges in welding is controlling the temperature distribution and residual stress, which can affect the structural integrity of the material. Uneven temperature distribution may result in defects such as distortion and cracking, while high residual stress can reduce the mechanical performance and service life of materials, particularly SS400 steel, which is extensively used in the construction and automotive industries. Therefore, this research aims to understand how the temperature distribution and residual stresses are formed through variations in temperature and welding groove, with the goal of identifying the best combination to mitigate the adverse effects of welding.

Previous research by Syafa'at (2021) studied welding with variations involving groove, heat flux, and convection. The outputs included temperature distribution, heat spread distance, and time. However, the study did not discuss the deformation that occurred. Consequently, this current research aims to elucidate the deformation caused by temperature distribution and residual stresses. Furthermore, this study involves two physical validations: measuring temperature at three points and conducting tensile tests, neither of which had been previously undertaken.

Based on the research results, the specimen with a double V groove exhibited the smallest residual stress, with a tensile residual stress value of  $6,2699 \times 10^7$  Pa and a compressive residual stress of  $-9,7236 \times 10^7$  Pa. The highest deformation recorded was 0,00011167 m. Validation data from temperature measurements showed an error rate between 4,314% and 11,549%. Meanwhile, validation data from tensile testing indicated an error rate between 0,9541% and 4,8975%, suggesting that the engineering data and settings approached actual conditions closely.

Recommendations for future research include developing this SMAW simulation by considering the addition of several parameters that have not been previously explored, such as variations in plate thickness, materials, groove angle variations in welding, and treatments like pre-welding and post-welding treatments. This is due to the many variables that significantly influence the welding results, with the aim of understanding how phenomena and behaviors occur with different variations in weld quality.

Keywords : SMAW, Distribution Temperature, Residual Stress, Groove Welding, Heat Flux, SS400, Simulation.

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>i</b>
<b>IDENTITAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN KONSULTASI</b> .....	<b>iii</b>
<b>ORISINALITAS PENELITIAN SKRIPSI</b> .....	<b>v</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xxiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Pengelasan .....	8
2.2.1 Definisi Pengelasan .....	8
2.2.2 Klasifikasi Pengelasan Berdasarkan Metodenya.....	9
2.3 Arc Welding .....	10
2.3.1 Jenis – Jenis Arc Welding .....	11
2.3.2 Keunggulan Arc Welding.....	15
2.4 Pengelasan SMAW ( Shielded Metal Arc Welding ).....	18
2.4.1 Definisi Pengelasan SMAW.....	18
2.4.2 Prinsip Kerja Pengelasan SMAW .....	18
2.4.3 Keunggulan Pengelasan SMAW .....	19
2.4.4 Kekurangan Pengelasan SMAW .....	20

2.4.5	Aplikasi Pengelasan SMAW .....	21
2.5	Mild Steel SS400.....	22
2.5.1	Komposisi Kimia Baja SS400.....	22
2.6	Distribusi Temperatur dalam Pengelasan.....	23
2.6.1	Konsep Distribusi Temperatur dalam Pengelasan.....	24
2.6.2	Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Distribusi Temperatur .....	24
2.6.3	Pengaruh Distribusi Temperatur terhadap Kualitas Sambungan .....	25
2.6.4	Metode Pengukuran dan Simulasi Distribusi Temperatur .....	27
2.6.5	Transformasi dan Mikrostruktur .....	27
2.7	Tegangan Sisa ( Residual Stress ) dalam Pengelasan.....	28
2.7.1	Definisi Tegangan Sisa.....	28
2.7.2	Mekanisme Terbentuknya Tegangan Sisa dalam Pengelasan.....	30
2.7.3	Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Tegangan Sisa .....	31
2.7.4	Metode Pengukuran Tegangan Sisa .....	34
2.8	Finite Element Analysis ( FEA ) dalam Simulasi Pengelasan .....	35
2.8.1	Definisi Finite Element Analysis ( FEA ) .....	35
2.8.2	Penerapan FEA dalam Simulasi Pengelasan .....	36
2.8.3	Simulasi Termomekanik dalam FEA .....	36
2.8.4	FEA untuk Analisis Tegangan Sisa dan Distorsi .....	37
2.9	Heat Input Rate Pengelasan.....	38
2.10	Perhitungan Heat Flux Pengelasan.....	40
2.11	Residual Stress setelah Pengelasan .....	41
2.12	Perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) .....	44
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>45</b>
3.1	Tempat dan Waktu .....	45
3.1.1	Tempat dan Waktu ( Pengujian Spesimen ).....	45
3.1.2	Tempat dan Waktu ( Simulasi Analisis ) .....	45
3.2	Engineering Data.....	45
3.3	Bahan dan Alat .....	46
3.3.1	Bahan .....	46
3.3.2	Alat.....	47
3.4	Diagram Alir Penelitian .....	49
3.5	Metode Validasi Data.....	50
3.5.1	Alur Proses Validasi Data.....	50

3.5.2 Penentuan 3 Titik Pengukuran Temperatur .....	51
3.5.3 Bentuk Groove Pengelasan Validasi Data .....	52
3.5.4 Bentuk Standart Pengujian Tarik .....	52
3.5.5 Parameter Pengelasan untuk Validasi Data .....	53
3.6 Metode Penelitian Simulasi CAE.....	53
3.6.1 Sistem Analisis ANSYS .....	54
3.6.2 Set Up Meshing ( Pre-processing ) .....	55
3.6.3 Boundary Condition.....	55
3.6.4 Desain Model dan Groove Pengelasan .....	57
3.6.5 Alur Simulasi Analisi dengan ANSYS .....	57
3.7 Pengolahan Data.....	58
3.8 Maksimal Toleransi Ketidaksamaan Hasil Eksperimen dan Simulasi.....	59
3.9 Bentuk Dimensi Spesimen dan Benda Uji .....	60
3.9.1 Spesimen Uji untuk Tensile Test .....	60
3.9.2 Benda Uji di Software ANSYS .....	60
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>63</b>
4.1 Perhitungan Pembebanan Heat Flux .....	63
4.1.1 Perhitungan Flux Spesimen Uji Akurasi .....	63
4.1.2 Perhitungan Flux ( Single V – Groove ) .....	64
4.1.3 Perhitungan Flux ( Single Bevel ).....	66
4.1.4 Perhitungan Flux ( Double V – Groove ) .....	67
4.2 Uji Akurasi Simulasi atau Validasi .....	68
4.2.1 Hasil Eksperimental untuk Validasi .....	68
4.2.2 Hasil Simulasi Untuk Validasi.....	70
4.2.3 Perbandingan Hasil Eksperimen dan Simulasi .....	74
4.3 Hasil Pre-Processing Simulasi SMAW pada Baja SS400.....	77
4.3.1 Bentuk Model pada Simulasi ANSYS.....	77
4.3.2 Hasil Meshing .....	78
4.3.3 Grid Independence .....	82
4.4 Hasil Simulasi Distribusi Temperatur pada Baja SS400.....	83
4.5 Hasil Simulasi Tegangan yang Terjadi Pada Baja SS400.....	109
4.6 Hasil Simulasi Total Deformation pada Baja SS400 .....	119
4.7 Pembahasan.....	124
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>134</b>

5.1 Kesimpulan .....	134
5.2 Saran.....	135
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>136</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	5
Tabel 2. 2 Kandungan Baja SS400.....	22
Tabel 2. 3 Efisiensi Energi Busur.....	41
Tabel 3. 1 Ukuran Dimensi Spesimen ASTM E8 .....	53
Tabel 3. 2 Sistem Analisis yang akan digunakan .....	54
Tabel 3. 3 Set Up Meshing .....	55
Tabel 3. 4 Boundary Condition Simulasi SMAW.....	56
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Temperatur Pada 3 Titik .....	69
Tabel 4. 2 Elongation Hasil Pengujian Tarik .....	70
Tabel 4. 3 Hasil Distribusi Temperatur pada Simulasi SMAW .....	71
Tabel 4. 4 Hasil Distribusi Temperatur pada 3 Titik pada Simulasi SMAW .....	72
Tabel 4. 5 Hasil Elongation atau Pertambahan Panjang Simulasi Tensile Test.....	73
Tabel 4. 6 Perbedaan Temperatur Simulasi dan Eksperimen.....	74
Tabel 4. 7 Perbedaan Hasil Elongation Simulasi dan Eksperimental.....	75
Tabel 4. 8 Detail of Mesh Spesimen 1 .....	79
Tabel 4. 9 Detail of Mesh Spesimen 2 .....	80
Tabel 4. 10 Detail of Mesh Spesimen 3 .....	81
Tabel 4. 11 Hasil Distribusi Temperatur Spesimen 1 pada Simulasi SMAW.....	84
Tabel 4. 12 Hasil Temperatur pada Spesimen 1 di beberapa Node.....	85
Tabel 4. 13 Hasil Penurunan Temperatur selama 1000 detik di Spesimen 1 .....	89
Tabel 4. 14 Hasil Penurunan Temperatur Spesimen 1 di beberapa Node .....	91
Tabel 4. 15 Hasil Distribusi Temperatur Spesimen 2 pada Simulasi SMAW.....	92
Tabel 4. 16 Hasil Temperatur pada Spesimen 2 di beberapa Node.....	93
Tabel 4. 17 Hasil Penurunan Temperatur selama 1000 detik di Spesimen 2 .....	97
Tabel 4. 18 Hasil Penurunan Temperatur Spesimen 2 di beberapa Node .....	98
Tabel 4. 19 Hasil Distribusi Temperatur Spesimen 3 pada Simulasi SMAW.....	101
Tabel 4. 20 Hasil Temperatur pada Spesimen 3 di beberapa Node.....	102
Tabel 4. 21 Hasil Penurunan Temperatur selama 1000 detik di Spesimen 3 .....	106
Tabel 4. 22 Hasil Penurunan Temperatur Spesimen 3 di beberapa Node .....	107
Tabel 4. 23 Hasil Tegangan Normal Pada Spesimen 1 .....	109
Tabel 4. 24 Hasil Tegangan Normal Pada Spesimen 1 di beberapa Node .....	110
Tabel 4. 25 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 1 setelah Pengelasan.....	111

Tabel 4. 26 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 1 di beberapa Node .....	111
Tabel 4. 27 Hasil Tegangan Normal Pada Spesimen 2 .....	113
Tabel 4. 28 Hasil Tegangan Normal Pada Spesimen 2 di beberapa Node .....	114
Tabel 4. 29 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 2 setelah Pengelasan.....	115
Tabel 4. 30 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 2 di beberapa Node .....	115
Tabel 4. 31 Hasil Tegangan Normal Pada Spesimen 3 .....	116
Tabel 4. 32 Hasil Tegangan Normal Pada Spesimen 3 di beberapa Node .....	117
Tabel 4. 33 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 3 setelah Pengelasan.....	118
Tabel 4. 34 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 3 di beberapa Node .....	118
Tabel 4. 35 Hasil Total Deformasi Pada Spesimen 1 .....	119
Tabel 4. 36 Hasil Total Deformasi Pada Spesimen 1 di beberapa Node.....	121
Tabel 4. 37 Hasil Total Deformasi Pada Spesimen 2 .....	122
Tabel 4. 38 Hasil Total Deformasi Pada Spesimen 2 di beberapa Node.....	122
Tabel 4. 39 Hasil Total Deformasi Pada Spesimen 3 .....	123
Tabel 4. 40 Hasil Total Deformasi Pada Spesimen 3 di beberapa Node.....	124
Tabel 4. 41 Maximal Temperatur dari ketiga Spesimen .....	126
Tabel 4. 42 Maximum Normal Stress dari ketiga Spesimen .....	126
Tabel 4. 43 Maximum Residual Stress dari ketiga Spesimen .....	126
Tabel 4. 44 Maximum Total Deformation dari ketiga Spesimen .....	127

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Pengelasan Baja.....	8
Gambar 2. 2 Schematic diagram of manual metal arc welding (Weman, 2003).....	9
Gambar 2. 3 The principle of spot welding (Weman, 2003).....	10
Gambar 2. 4 Shielded metal arc welding (L. Jeffus, 2012).....	11
Gambar 2. 5 Schematic diagram of TIG welding equipment (Weman, 2003).....	12
Gambar 2. 6 The principle of MIG/MAG welding (Weman, 2003). ....	13
Gambar 2. 7 Schematic diagram of submerged arc welding (Weman, 2003).....	14
Gambar 2. 8 The Metastable System Fe-Fe <sub>3</sub> C (Lancaster, 1980).....	28
Gambar 2. 9 Typical residual stress fields in longitudinally plate (Lancaster, 1980). ....	43
Gambar 2. 10 Longitudinal residual stresses in a butt weld (Weman, 2003).....	44
Gambar 3. 1 Engineering Data Material SS400 ( Sumber : ANSYS ).....	45
Gambar 3. 2 Engineering Data Material Elektroda LB 52U ( Sumber : ANSYS ).....	46
Gambar 3. 3 Diagram Alir Proses Penelitian .....	50
Gambar 3. 4 Tiga Titik Pengukuran Temperatur .....	52
Gambar 3. 5 Single V-Groove (L. Jeffus, 2012). ....	52
Gambar 3. 6 Bentuk Dimensi Spesimen Uji Tarik Berdasarkan ASTM E8 (Panggaben et al., 2021).....	53
Gambar 3. 7 Skewness Mesh Metric Spectrum (ANSYS, 2015).....	55
Gambar 3. 8 Bentuk Weld Groove (L. Jeffus, 2012) .....	57
Gambar 3. 9 Skema Alur Simulasi ANSYS .....	58
Gambar 3. 10 Bentuk Spesimen untuk Tensile Test .....	60
Gambar 3. 11 Bentuk Benda Uji Single V-groove.....	60
Gambar 3. 12 Bentuk Benda Uji Double V-groove .....	61
Gambar 3. 13 Bentuk Benda Uji Single Bevel.....	61
Gambar 4. 1 Hasil pengelasan SMAW.....	69
Gambar 4. 2 Hasil Pengelasan Setelah Dibersihkan .....	69
Gambar 4. 3 Hasil Pengujian Tarik Spesimen.....	70
Gambar 4. 4 Hasil Simulasi SMAW Tahap 1 Solution Distribution Temperature .....	70
Gambar 4. 5 Hasil Simulasi SMAW Tahap 2 Solution Distribution Temperature .....	71
Gambar 4. 6 Hasil Simulasi SMAW Tahap 3 Solution Distribution Temperature .....	71
Gambar 4. 7 Hasil Simulasi SMAW Solution Distribution Temperature pada 3 Titik.71	
Gambar 4. 8 Hasil Simulasi SMAW Solution Total Deformation .....	72

Gambar 4. 9 Perbandingan Temperatur Simulasi dan Temperatur Eksperimental .....	74
Gambar 4. 10 Perbandingan Elongation ( Pertambahan Panjang ) Simulasi dan Eksperimental .....	76
Gambar 4. 11 Visualisasi Model Spesimen 1 .....	77
Gambar 4. 12 Visualisasi Model Spesimen 2 .....	77
Gambar 4. 13 Visualisasi Model Spesimen 3 .....	78
Gambar 4. 14 Detail of Meshing Sizing Spesimen 1 .....	78
Gambar 4. 15 Detail of Meshing Quality and Statistic Spesimen 1 .....	79
Gambar 4. 16 Detail of Meshing Sizing Spesimen 2 .....	79
Gambar 4. 17 Detail of Meshing Quality and Statistic Spesimen 2 .....	80
Gambar 4. 18 Detail of Meshing Sizing Spesimen 3 .....	80
Gambar 4. 19 Detail of Meshing Quality and Statistic Spesimen 3 .....	81
Gambar 4. 20 Result Distribution Temperature Spesimen 1 Pengelasan 1 .....	83
Gambar 4. 21 Result Distribution Temperature Spesimen 1 Pengelasan 2 .....	83
Gambar 4. 22 Result Distribution Temperature Spesimen 1 Pengelasan 3 .....	83
Gambar 4. 23 Result Distribution Temperature Spesimen 1 Pengelasan 4 .....	84
Gambar 4. 24 Section View Distribution Temperature Spesimen 1 .....	84
Gambar 4. 25 Result Distribution Temperature Spesimen 1 Pada Beberapa Titik ( Sumber : Dokumen Pribadi ) .....	85
Gambar 4. 26 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 100 detik setelah Pengelasan .....	86
Gambar 4. 27 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 200 detik setelah Pengelasan .....	86
Gambar 4. 28 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 300 detik setelah Pengelasan .....	87
Gambar 4. 29 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 400 detik setelah Pengelasan .....	87
Gambar 4. 30 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 500 detik setelah Pengelasan .....	87
Gambar 4. 31 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 600 detik setelah Pengelasan .....	88
Gambar 4. 32 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 700 detik setelah Pengelasan .....	88

Gambar 4. 33 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 800 detik setelah Pengelasan .....	88
Gambar 4. 34 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 900 detik setelah Pengelasan .....	89
Gambar 4. 35 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 selama 1000 detik setelah Pengelasan .....	89
Gambar 4. 36 Section View Penurunan Temperatur Spesimen 1 .....	89
Gambar 4. 37 Hasil Simulasi Penurunan Temperatur Spesimen 1 di beberapa Node ....	91
Gambar 4. 38 Result Distribution Temperature Spesimen 2 Pengelasan 1 .....	91
Gambar 4. 39 Result Distribution Temperature Spesimen 2 Pengelasan 3 .....	92
Gambar 4. 40 Result Distribution Temperature Spesimen 2 Pengelasan 3 .....	92
Gambar 4. 41 Section View Distribution Temperature Spesimen 2 .....	92
Gambar 4. 42 Result Distribution Temperature Spesimen 2 Pada Beberapa Titik .....	93
Gambar 4. 43 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 100 detik setelah Pengelasan .....	94
Gambar 4. 44 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 200 detik setelah Pengelasan .....	94
Gambar 4. 45 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 300 detik setelah Pengelasan .....	95
Gambar 4. 46 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 400 detik setelah Pengelasan .....	95
Gambar 4. 47 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 500 detik setelah Pengelasan .....	95
Gambar 4. 48 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 600 detik setelah Pengelasan .....	96
Gambar 4. 49 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 700 detik setelah Pengelasan .....	96
Gambar 4. 50 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 800 detik setelah Pengelasan .....	96
Gambar 4. 51 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 900 detik setelah Pengelasan .....	97
Gambar 4. 52 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 selama 1000 detik setelah Pengelasan .....	97
Gambar 4. 53 Section View Penurunan Temperatur Spesimen 2 .....	97

Gambar 4. 54 Hasil Simulasi Penurunan Temperatur Spesimen 2 di beberapa Node ....	98
Gambar 4. 55 Result Distribution Temperature Spesimen 3 Pengelasan 1 .....	99
Gambar 4. 56 Result Distribution Temperature Spesimen 3 Pengelasan 2.....	99
Gambar 4. 57 Result Distribution Temperature Spesimen 3 Pengelasan 3.....	100
Gambar 4. 58 Result Distribution Temperature Spesimen 3 Pengelasan 4.....	100
Gambar 4. 59 Result Distribution Temperature Spesimen 3 Pengelasan 5.....	100
Gambar 4. 60 Section View Distribution Temperature Spesimen 3 .....	101
Gambar 4. 61 Result Distribution Temperature Spesimen 3 Pada Beberapa Titik .....	102
Gambar 4. 62 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 100 detik setelah Pengelasan .....	103
Gambar 4. 63 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 200 detik setelah Pengelasan .....	103
Gambar 4. 64 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 300 detik setelah Pengelasan .....	103
Gambar 4. 65 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 400 detik setelah Pengelasan .....	104
Gambar 4. 66 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 500 detik setelah Pengelasan .....	104
Gambar 4. 67 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 600 detik setelah Pengelasan .....	104
Gambar 4. 68 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 700 detik setelah Pengelasan .....	105
Gambar 4. 69 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 800 detik setelah Pengelasan .....	105
Gambar 4. 70 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 900 detik setelah Pengelasan .....	105
Gambar 4. 71 Visualisasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 selama 1000 detik setelah Pengelasan .....	106
Gambar 4. 72 Section View Penurunan Temperatur Spesimen 3 .....	106
Gambar 4. 73 Hasil Simulasi Penurunan Temperatur Spesimen 3 di beberapa Node ..	107
Gambar 4. 74 Grafik Penurunan Temperatur dari ketiga Spesimen.....	108
Gambar 4. 75 Result Normal Stress Spesimen 1 .....	109
Gambar 4. 76 Result Normal Stress Spesimen 1 Pada Beberapa Node .....	110
Gambar 4. 77 Visualisasi Section Plane Normal Stress Spesimen 1.....	110

Gambar 4. 78 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 1 setelah Pengelasan.....	110
Gambar 4. 79 Visualisasi Section Plane Residual Stress Spesimen 1.....	111
Gambar 4. 80 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 1 di beberapa Node.....	111
Gambar 4. 81 Result Normal Stress Spesimen 2.....	113
Gambar 4. 82 Visualisasi Section Plane Normal Stress Spesimen 2.....	113
Gambar 4. 83 Result Normal Stress Spesimen 2 Pada Beberapa Node .....	114
Gambar 4. 84 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 2 setelah Pengelasan.....	114
Gambar 4. 85 Visualisasi Section Plane Residual Stress Spesimen 2.....	115
Gambar 4. 86 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 2 di beberapa Node.....	115
Gambar 4. 87 Result Normal Stress Spesimen 3.....	116
Gambar 4. 88 Visualisasi Section Plane Normal Stress Spesimen 3.....	116
Gambar 4. 89 Result Normal Stress Spesimen 3 Pada Beberapa Node .....	117
Gambar 4. 90 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 3 setelah Pengelasan.....	117
Gambar 4. 91 Visualisasi Section Plane Residual Stress Spesimen 3.....	118
Gambar 4. 92 Hasil Tegangan Sisa Spesimen 3 di beberapa Node.....	118
Gambar 4. 93 Result Total Deformation Spesimen 1.....	119
Gambar 4. 94 Result Total Deformation Spesimen 1 Pada Beberapa Node .....	121
Gambar 4. 95 Result Total Deformation Spesimen 2.....	122
Gambar 4. 96 Result Total Deformation Spesimen 2 Pada Beberapa Node .....	122
Gambar 4. 97 Result Total Deformation Spesimen 3.....	123
Gambar 4. 98 Result Total Deformation Spesimen 3 Pada Beberapa Node .....	124
Gambar 4. 99 Grafik Maximum Temperature.....	127
Gambar 4. 100 Grafik Maximum Normal Stress .....	128
Gambar 4. 101 Grafik Maximum Residual Stress ( Positive ).....	128
Gambar 4. 102 Grafik Maximum Residual Stress ( Negative ) .....	128
Gambar 4. 103 Grafik Maximum Total Deformation .....	129

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
$Q$	<i>Heat input rate</i>	$J/mm$
$V$	Tegangan	$V$
$I$	Kuat Arus	$A$
$v_{las}$	Kecepatan las	$mm/s$
$q_{el}$	<i>Heat flux pada elemen</i>	$W/mm^2$
$q_e$	<i>Heat flux elektroda</i>	$W/mm^2$
$A_l$	Luas permukaan elemen yang dikenai beban <i>heat flux</i>	$mm^2$
$A_f$	Luas <i>flux</i> yang dihasilkan <i>elektroda</i>	$mm^2$
$Q_i$	<i>Heat input efektif</i>	$W$
$\eta_a$	Efisiensi energi las	-
$b$	Lebar jangkauan <i>filler</i>	$mm$
$t$	Waktu	$s$

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1 Pengukuran temperatur di 3 titik.....	A.1
Lampiran A.2 Hasil pengukuran temperatur di 3 titik.....	A.2
Lampiran A.3 Sertifikat material <i>SS400</i> .....	A.3
Lampiran A.4 Sertifikat <i>welder</i> . ....	A.4
Lampiran A.5 Bentuk terbakarnya spesimen setelah pengelasan.....	A.5
Lampiran A.6 Hasil pembuatan spesimen.....	A.6
Lampiran A.7 Dokumentasi pengelasan.....	A.7
Lampiran A.8 Tabular data ANSYS penurunan temperatur spesimen 1 .....	A.8
Lampiran A.9 Tabular data ANSYS penurunan temperatur spesimen 2 .....	A.9
Lampiran A.10 Tabular data ANSYS penurunan temperatur spesimen 3.....	A.10
Lampiran A.11 Dokumentasi <i>apply boundary condition and solution</i> . ....	A.11
Lampiran A.12 Dokumentasi kalkulasi volume <i>groove</i> sambungan pengelasan.....	A.12