



**OPTIMALISASI PARAMETER PENGELASAN GMAW PADA
SAMBUNGAN T DENGAN MATERIAL SS400 PADA
PENGELASAN KONSTRUKSI KAPAL**

SKRIPSI

RAFLY AGUSTIO FIRMANSYAH

2010311029

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM S-1 STUDI TEKNIK MESIN

2024



**OPTIMALISASI PARAMETER PENGELASAN GMAW PADA
SAMBUNGAN T DENGAN MATERIAL SS400 PADA
PENGELASAN KONSTRUKSI KAPAL**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik**

RAFLY AGUSTIO FIRMANSYAH

2010311029

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN

2024

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Rafly Agustio Firmansyah
NIM : 2010311029
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Optimalisasi Parameter Pengelasan GMAW Pada Sambungan T Dengan Material SS400 Pada Pengelasan Konstruksi Kapal

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.


Ir. Sugeng Pravitno, M.T.

Penguji Utama

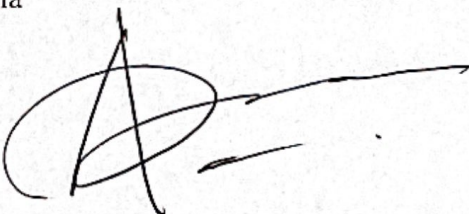

Dr. Eng. Riki Hendra Purba

Penguji Lembaga

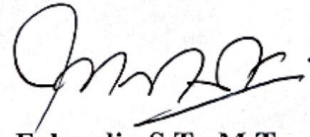

Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri,

S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng

Plt Dekan Fakultas Teknik


Armansyah, S.T., M.Sc., Ph.D

Pembimbing I


Ir. Fahrudin S.T., M.T.

Kepala Program Studi Teknik Mesin

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal Ujian : 22 Juli 2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

OPTIMALISASI PARAMETER PENGELASAN GMAW PADA SAMBUNGAN T DENGAN MATERIAL SS400 PADA PENGELASAN KONSTRUKSI KAPAL

Disusun Oleh :

RAFLY AGUSTIO FIRMANSYAH

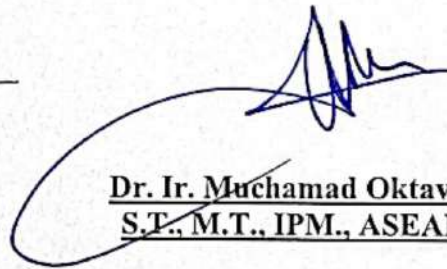
2010311029

Menyetujui,



Armansyah, S.T., M.Sc., Ph.D

Pembimbing 1



Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri,
S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng

Pembimbing 2

Jakarta, 25 Juli 2024

Mengetahui,



Ir. Fahrudin, S.T, M.T.

Kepala Program Studi Teknik Mesin

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rafly Agustio Firmansyah

NIM : 2010311029

Program Studi : Teknik Mesin

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini maka saya bersedia dituntut dan diproses dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 25 Juli 2024

Yang Menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular adhesive stamp. The stamp is yellow and red, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text '3000', 'METERAI TEMPEL', and 'DE2AKX455506335'. To the left of the stamp is a large '@' symbol, and to the right is a large 'F'.

(Rafly Agustio Firmansyah)

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rafly Agustio Firmansyah

NIM : 2010311029

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

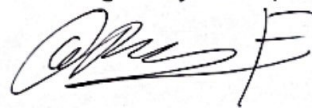
OPTIMALISASI PARAMETER PENGELASAN GMAW PADA SAMBUNGAN T DENGAN MATERIAL SS400 PADA PENGELASAN KONSTRUKSI KAPAL

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada Tanggal : 25 Juli 2024

Yang Menyatakan,



(Rafly Agustio Firmansyah)

OPTIMALISASI PARAMETER PENGELASAN GMAW PADA SAMBUNGAN T DENGAN MATERIAL SS400 PADA PENGELASAN KONSTRUKSI KAPAL

Rafly Agustio Firmansyah

ABSTRAK

Pengelasan adalah proses manufaktur penting di berbagai industri, terutama perkapalan. Dalam industri ini, distorsi pengelasan tentu tidak diinginkan namun dapat diterima jika sesuai standar toleransi. Distorsi adalah penyimpangan dimensi akibat perubahan suhu tinggi saat pengelasan. Gas Metal Arc Welding (GMAW) adalah alat pengelasan modern dengan perkembangan teknologi, namun cacat pengelasan tetap tidak dapat dihindari meskipun sudah menggunakan alat yang modern. Metode yang digunakan yaitu menggunakan Baja SS 400 dan sambungan T serta urutan pengelasan maju. Dengan berbagai macam parameter pendukungnya seperti, kuat arus, tegangan, daya, dan kecepatan kabel pengelasan yang bervariasi. Kemudian dilakukan dengan cara pendekatan simulasi menggunakan *software Simufact Welding 2021* dan dengan eksperimen sebagai validasi untuk mencari nilai distorsi yang terendah sebagai parameter yang optimal. Pada simulasi dan eksperimen pengelasan memiliki selisih yang tidak jauh berbeda, pada simulasi percobaan kedua merupakan nilai distorsi terkecil yaitu sebesar 1.01 mm. Akan tetapi, eksperimen pengelasan percobaan ketiga merupakan nilai distorsi terkecil yaitu sebesar 1.06 mm. Sedangkan eksperimen pengelasan percobaan kedua nilai distorsinya sebesar 1.17 mm. Oleh karena itu, Parameter yang optimal terdapat pada percobaan eksperimen ketiga, karena pada saat eksperimen merupakan kondisi yang paling nyata yang ada di lapangan. Hal ini dikarenakan adanya faktor eksternal yang ada di lapangan. Percobaan ketiga merupakan percobaan yang paling optimal dengan parameter seperti kuat arus sebesar 150A, tegangan sebesar 17.8V, daya sebesar 2.67 kW, kecepatan kabel sebesar 4 m/min. Kemudian, percobaan ketiga menghasilkan tegangan efektif sebesar 611.38 Mpa. Saat pengujian SEM, proses pengelasan dapat mengakibatkan perubahan pola mikrostruktur pada permukaan plat dan dapat menambah unsur kimia yang ada pada plat, baik faktor internal maupun eksternal.

Kata Kunci : Distorsi, GMAW, Baja SS400, *T-Joint*, *Finite element method*

**OPTIMIZATION OF GMAW WELDING PARAMETERS IN T-
JOINT WITH SS400 MATERIAL IN SHIP CONSTRUCTION
WELDING**

Rafly Agustio Firmansyah

ABSTRACT

Welding is an important manufacturing process in many industries, especially shipping. In this industry, welding distortion is certainly undesirable but acceptable if within standard tolerances. Distortion is a dimensional deviation due to high temperature changes during welding. Gas Metal Arc Welding (GMAW) is a modern welding tool with technological developments, but welding defects are still unavoidable despite using modern tools. The method used is using SS 400 steel and T connection and forward welding sequence. With a variety of supporting parameters such as current strength, voltage, power, and varying welding cable speeds. Then carried out by means of a simulation approach using Simufact Welding 2021 software and by experiment as validation to find the lowest distortion value as the optimal parameter. In simulation and welding experiments have a difference that is not much different, in the simulation the second experiment is the smallest distortion value of 1.01 mm. However, the third trial welding experiment is the smallest distortion value of 1.06 mm. While the second trial welding experiment the distortion value is 1.17 mm. Therefore, the optimal parameters are found in the third experimental experiment, because at the time of the experiment is the most real conditions that exist in the field. This is due to external factors that exist in the field. The third experiment is the most optimal experiment with parameters such as current strength of 150A, voltage of 17.8V, power of 2.67 kW, cable speed of 4 m/min. Then, the third experiment produced an effective stress of 611.38 Mpa. During SEM testing, the welding process can cause changes in the microstructure pattern on the surface of the plate and can add chemical elements to the plate, both internal and external factors.

Keywords : *Distortion, GMAW, SS400 Steel, T-Joint, Finite element method*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah – Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimalisasi Parameter Pengelasan GMAW Pada Sambungan T Dengan Material SS400 Pada Pengelasan Konstruksi Kapal” dengan baik dan tepat waktu.

Penyusunan skripsi ini sebagai persyaratan Tugas Akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta. Untuk menyelesaikan skripsi ini, penulis menyadari bahwa Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu dengan bantuan berupa materi, informasi, bimbingan, serta dorongan dari berbagai pihak baik secara langsung dan tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya karena telah memberikan bantuan dan kelancaran dalam penyusunan Skripsi ini.
2. Keluarga penulis, Ayahanda Nurdin dan Ibunda Susilawati serta saudara – saudari kandung penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis setiap waktu.
3. Shellyana Nasution selaku pendamping moril penulis yang selalu membantu dengan doa serta dukungan yang tidak pernah lelah mengingatkan untuk selalu mengerjakan skripsi.
4. Bapak Fahrudin, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin UPNVJ yang sudah memberikan persetujuan mengenai penulisan skripsi.
5. Bapak Armansyah, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membantu dan memberikan saran dalam penulisan skripsi.
6. Bapak Dr. Muchamad Oktaviandri, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membantu dalam penulisan skripsi.

7. Dr. Keval Priapratama Prajadhiana selaku pembimbing penulis dalam membantu dalam analisa *meshing* plat dan simulasi *welding* pada *software Simufact Welding*.
8. Seluruh jajaran dosen dan staf di Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta yang telah membantu semua proses perizinan serta administrasi.
9. Naufal Hakim selaku rekan satu pembimbing skripsi yang selalu memberikan bantuan dan dorongan dalam kelancaran dalam skripsi.
10. Muhammad Aryasatya, Muhammad Destri Mardhani, dan Ridwan Bambang Rianto yang telah membantu saya dalam pengambilan data penelitian di UiTM Shah Alam, Malaysia.
11. Carlos Raja Pangihutan selaku teman seperjuangan kuliah yang selalu memberikan saran dan tempat berkeluh kesah atas keresahan yang dirasakan penulis.
12. Lukas Febri Andreas Hutagalung selaku kakak tingkat yang telah membantu dalam penulisan.
13. Teman – teman OPTIMIS 2020 yang telah memberikan dukungan dan juga doa.

Dengan rendah hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dan ada banyak kekurangan yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bermanfaat untuk membantu penulis menyempurnakan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi semua kalangan.

Jakarta, Juli 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
LAMPIRAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Baja SS400	6
2.2 Pengelasan GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)	7
2.3 <i>Dial Indicator</i>	10
2.4 Sambungan Pengelasan	11
2.4.1 Sambungan Pengelasan Tumpul Persegi (<i>Butt Joint</i>)	11
2.4.2 Sambungan Pengelasan Bentuk T (<i>T - Joint</i>).....	11
2.5 Heat Affected Zone (HAZ)	12
2.6 Tegangan Sisa (<i>Residual Stress</i>)	14
2.7 Distorsi (<i>Distortion</i>)	16
2.8 Tegangan Efektif (<i>effective stress</i>)	20
2.9 Software Solidworks 2023	21

2.10	Simufact Mesh 2021	22
2.11	Simufact Welding 2021	23
2.12	Metode Elemen Hingga (<i>Finite element method</i>)	23
2.13	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	24
BAB 3 METODE PENELITIAN		26
3.1	Diagram Alir	26
3.2	Studi Literatur	27
3.3	Permodelan Geometri	28
3.4	Pemilihan Meshing, Element dan Nodes	29
3.5	Menentukan Parameter dan Simulasi Pengelasan GMAW	30
3.6	Analisa <i>Thermal</i> (Transient)	32
3.7	Analisa Struktural (Transient)	33
3.8	Eksperimen Pengelasan	33
3.9	Pengukuran Distorsi Dari Hasil Eksperimen	34
3.10	Uji SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	35
3.11	Validasi Hasil Simulasi dan Eksperimen Pengelasan	35
3.12	Analisa Hasil dan Pembahasan	35
3.13	Kesimpulan	35
BAB 4 PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN		36
4.1	Permodelan Geometri	36
4.2	Hasil <i>Meshing</i>	37
4.2.1	Permodelan Geometri Plat Dasar	37
4.2.2	Permodelan Geometri Plat Sambungan T	38
4.3	Parameter <i>Welding</i>	38
4.4	Hasil Percobaan Simulasi Pengelasan GMAW	39
4.4.1	Percobaan Pertama	39
4.4.2	Percobaan Kedua	42
4.4.3	Percobaan Ketiga	44
4.5	Hasil Percobaan Simulasi Pengelasan Optimal	47
4.6	Eksperimen Pengelasan <i>Gas Metal Arc Welding (GMAW)</i>	49
4.7	Pengukuran Distorsi	51
4.8	Hasil Pengukuran Distorsi	53
4.9	Uji SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	53
4.9.1	Persiapan Sampel Percobaan Ketiga	53

4.9.2	Hasil Uji SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	55
4.9.3	EDS (<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>).....	58
4.9.4	<i>Mapping</i>	63
4.10	Validasi Data	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		69
5.5	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja SS400.....	6
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Dari Baja SS400	6
Tabel 2.3 Lanjutan Sifat Mekanik Dari Baja SS400	7
Tabel 2.4 Koefisien Efisiensi Pengelasan	9
Tabel 2.5 Komposisi Kimia Kawat Las GMAW	9
Tabel 2.6 Karakteristik Material Elektroda Las GMAW	9
Tabel 4.1 Parameter Tetap Pengelasan.....	39
Tabel 4.2 Parameter Bebas Pengelasan	39
Tabel 4.3 Nilai Distorsi Tertinggi Pada Simulasi Pengelasan GMAW	49
Tabel 4.4 Nilai Distorsi di Titik yang Sama Pada Simulasi Pengelasan GMAW	49
Tabel 4.5 Nilai Distorsi Pada Eksperimen Pengelasan GMAW	53
Tabel 4.6 Komposisi Unsur Kimia Wilayah Titik Pertama Pada Sampel Percobaan Ketiga	60
Tabel 4.7 Komposisi Unsur Kimia Wilayah Titik Kedua	62
Tabel 5.1 Perbandingan Nilai Distorsi Pada Setiap Percobaan Eksperimen.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metode Pengelasan GMAW	8
Gambar 2.2 <i>Dial Indicator</i>	10
Gambar 2.3 Alur Sambungan Las Tumpul Persegi (<i>Butt Joint</i>).....	11
Gambar 2.4 Sambungan T (<i>T – Joint</i>)	12
Gambar 2.5 Jenis - Jenis Sambungan T (<i>T – Joint</i>).....	12
Gambar 2.6 Visual Dari <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ).....	13
Gambar 2.7 Ilustrasi Terbentuknya Tegangan Sisa.....	15
Gambar 2.8 Hubungan Antara Tegangan Sisa dan Distorsi.....	16
Gambar 2.9 Perubahan Bentuk Pada Lasan.....	17
Gambar 2.10 Penyimpangan Sudut Pada Pengelasan <i>Fillet</i>	19
Gambar 2.11 Urutan Pengelasan Lurus Maju	20
Gambar 2.12 Tegangan Sisa Pada Beberapa Urutan Pengelasan	20
Gambar 2.13 Pemodelan Geometri	22
Gambar 2.14 <i>Meshing</i> Plat	22
Gambar 2.15 Alat <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Lanjutan Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.3 Dimensi Plat Dasar	28
Gambar 3.4 Dimensi Plat <i>T-Joint</i>	29
Gambar 3.5 Proses <i>Meshing</i>	29
Gambar 3.6 <i>General Properties Parameters</i>	30
Gambar 3.7 <i>Welding Parameters</i>	31
Gambar 3.8 Pola Urutan Pengelasan	32
Gambar 3.9 <i>Gas Metal Arc Welding</i> (GMAW).....	33
Gambar 3.10 Plat Baja SS400	33
Gambar 3.11 Mengatur <i>Clamping</i> dan <i>Dial Indicator</i>	34
Gambar 3.12 Pengukuran Distorsi Dengan Penggaris	34
Gambar 4.1 Geometri Plat Dasar.....	36
Gambar 4.2 Geometri Plat <i>T – Joint</i>	36
Gambar 4.3 Hasil <i>Assembly</i>	37
Gambar 4.4 <i>Meshing</i> Plat Dasar	37
Gambar 4.5 <i>Meshing</i> Plat Sambungan T	38
Gambar 4.6 Distorsi Percobaan Pertama.....	40
Gambar 4.7 Temperatur Tertinggi Percobaan Pertama	40
Gambar 4.8 Grafik Temperatur Tertinggi Pengelasan Percobaan Pertama Terhadap Waktu	41
Gambar 4.9 Nilai Tegangan Efektif Percobaan Pertama.....	41
Gambar 4.10 Distorsi Percobaan Kedua.....	42
Gambar 4.11 Temperatur Tertinggi Percobaan Kedua.....	43
Gambar 4.12 Grafik Temperatur Maksimal Pengelasan Percobaan Kedua Terhadap Waktu	43
Gambar 4.13 Nilai Tegangan Efektif Percobaan Kedua	44

Gambar 4.14 Distorsi Percobaan Ketiga	45
Gambar 4.15 Temperatur Tertinggi Percobaan Ketiga	45
Gambar 4.16 Grafik Temperatur Maksimal Pengelasan Percobaan Ketiga Terhadap Waktu	46
Gambar 4.17 Nilai Tegangan Efektif Percobaan Ketiga	46
Gambar 4.18 Perbandingan Hasil Percobaan Simulasi Pengelasan	48
Gambar 4.19 Persiapan Pengelasan.....	50
Gambar 4.20 Visualisasi Letak <i>Clamping</i>	50
Gambar 4.21 Proses Pengelasan GMAW.....	51
Gambar 4.22 Hasil Pengelasan GMAW <i>T – Joint</i>	51
Gambar 4.23 Persiapan <i>Dial Indicator</i>	52
Gambar 4.24 Visualisasi Titik Pengukuran Distorsi	52
Gambar 4.25 Hasil Pemotongan Plat Sambungan T Sampel Percobaan Ketiga .	54
Gambar 4.26 Pemasangan <i>Mounting</i> Pada Sampel Percobaan Ketiga.....	54
Gambar 4.27 Alat <i>Coating</i> Sampel	55
Gambar 4.28 Hasil Uji SEM Pada Percobaan Ketiga Perbesaran 500 μm (x50)	56
Gambar 4.29 Hasil Uji SEM Pada Percobaan Ketiga Perbesaran 100 μm (x100)	56
Gambar 4.30 Hasil Uji SEM Pada Percobaan Ketiga Perbesaran 50 μm (x500)	57
Gambar 4.31 Hasil Uji SEM Pada Percobaan Ketiga Perbesaran 10 μm (x1.000)	57
Gambar 4.32 Hasil Uji SEM Pada Percobaan Ketiga Perbesaran 10 μm (x2.000)	58
Gambar 4.33 Perbedaan Pola Pada Permukaan Plat.....	58
Gambar 4.34 Titik Wilayah Pertama EDS Pada Sampel Percobaan Ketiga	59
Gambar 4.35 Grafik Intensitas Unsur Kimia Terhadap Energi Pada Wilayah Titik Pertama.....	60
Gambar 4.36 Titik Wilayah Kedua EDS	61
Gambar 4.37 Grafik Intensitas Unsur Kimia Terhadap Energi Pada Wilayah Titik Kedua	62
Gambar 4.38 Wilayah Mapping Pada Sampel Percobaan Ketiga	63
Gambar 4.39 Hasil Mapping Pada Sampel Percobaan Ketiga	64
Gambar 4.40 Persebaran Unsur Kimia Pada Sampel Percobaan Ketiga.....	65
Gambar 4.41 Grafik Perbandingan Nilai Distorsi Simulasi dan Eksperimen	66
Gambar 4.42 Hasil Pengelasan Percobaan Kedua.....	67
Gambar 4.43 Hasil Pengelasan Percobaan Ketiga.....	67
Gambar 4.44 Parameter Percobaan Ketiga.....	68

LAMPIRAN

Lampiran	1	Grafik Nilai Distorsi Pada Percobaan Simulasi Pertama Terhadap Waktu
Lampiran	2	Tabel Nilai Distorsi Pada Simulasi Percobaan Pertama
Lampiran	3	Tabel Nilai Temperatur Maksimal Pada Simulasi Percobaan Pertama
Lampiran	4	Grafik Nilai Distorsi Pada Percobaan Simulasi Kedua Terhadap Waktu
Lampiran	5	Tabel Nilai Distorsi Pada Simulasi Percobaan Kedua
Lampiran	6	Tabel Nilai Temperatur Maksimal Pada Simulasi Percobaan Kedua
Lampiran	7	Grafik Nilai Distorsi Pada Percobaan Simulasi Ketiga Terhadap Waktu
Lampiran	8	Tabel Nilai Distorsi Pada Simulasi Percobaan Ketiga
Lampiran	9	Tabel Nilai Temperatur Maksimal Pada Simulasi Percobaan Ketiga
Lampiran	10	Tabel dan Grafik Perbandingan Nilai Distorsi Pada Setiap Percobaan
Lampiran	11	Tabel Nilai Distorsi Beberapa Titik Pada Semua Percobaan Simulasi
Lampiran	12	Proses Pemotongan Dengan Alat <i>Metal Horizontal Band Saw</i>
Lampiran	13	Proses Pemotongan Menggunakan Gerinda
Lampiran	14	Alat Uji SEM di Universitas Gajah Mada Yogyakarta
Lampiran	15	Lembar Konsultasi Pembimbing 1 dan 2 Tugas Akhir