



**PROYEK TUGAS AKHIR
TEKNOLOGI REKAYASA KONSTRUKSI PERKAPALAN**

**Analisis Pengaruh Temperatur *Stress Relief Annealing* Terhadap
Struktur Mikro Serta Tegangan Sisa dan Distorsi Berbasis FEM pada
Pengelasan FCAW Plat ABS Grade A**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Terapan

Disusun oleh:
Rios Paldo Harianja
40040422650022

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONSTRUKSI PERKAPALAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Rios Paldo Harianja
NIM : 40040422650022
Fakultas : Sekolah Vokasi
Program Studi : D-IV Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan
Judul Penelitian : Analisis Pengaruh Temperatur *Stress Relief Annealing*
Terhadap Struktur Mikro Serta Tegangan Sisa dan
Distorsi Berbasis FEM pada Pengelasan FCAW Plat
ABS Grade A

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari diri saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah di publikasikan sebelumnya, ditulis oleh orang lain, atau diajukan untuk gelar ataupun ijazah pada Universitas Diponegoro atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Diponegoro.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya.

Semarang, 16 Juni 2026
Pembuat Pernyataan

Rios Paldo Harianja
40040422650022

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

HALAMAN PENGESAHAN SEMINAR TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR STRESS RELIEF ANNEALING
TERHADAP STRUKTUR MIKRO SERTA TEGANGAN SISA DAN
DISTORSI BERBASIS FEM PADA PENGELASAN FCAW PLAT ABS
GRADE A**

Oleh:

Rios Paldo Harianja
40040422650022

Diajukan pada

Sidang Seminar Hasil Tugas Akhir

Tanggal 26 Juni 2026

Dinyatakan Lulus / Tidak Lulus

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Dr. Mohd. Ridwan, S.T., M.T.

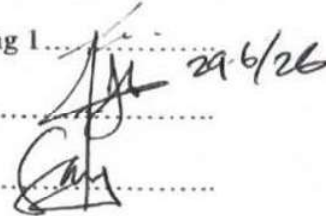
Pembimbing 1.....

Dr. Zulfaidah Ariany, S.T., M.T.

Penguji 1.....

Dr. Ir. Bambang Sri Waluyo, M.Si.

Penguji 2.....

29/6/26


Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro


Dr. Mohd. Ridwan, S.T., M.T.

NIP. 197008271999031002

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR *STRESS RELIEF*
ANNEALING TERHADAP STRUKTUR MIKRO SERTA TEGANGAN
SISA DAN DISTORSI BERBASIS FEM PADA PENGELASAN FCAW
PLAT ABS GRADE A**

Nama Mahasiswa : Rios Paldo Harianja
NIM : 40040422650022
Nama Dosen Pembimbing : Dr. Mohd. Ridwan, S.T., M.T.

ABSTRAK

Dalam fabrikasi struktur baja, proses Flux-Cored Arc Welding (FCAW) menghasilkan siklus termal lokal yang menyebabkan tegangan sisa dan distorsi. Penelitian ini menganalisis efektivitas Post-Weld Heat Treatment (PWHT), khususnya Stress Relief Annealing (SRA) pada plat baja ABS Grade A dengan ketebalan 12 mm pada rentang temperatur 600°C hingga 700°C menggunakan simulasi numerik metode elemen hingga (FEM) berbasis model sumber panas Goldak Double-Ellipsoid serta eksperimen pengelasan untuk pengujian mikrofografi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi as-welded, tegangan sisa maksimum mencapai 79,154 MPa dan distorsi maksimum sebesar 0,04787 mm, namun setelah SRA diterapkan pada temperatur 600°C, tegangan sisa turun tajam menjadi 0,5228 MPa dan distorsi berkurang menjadi 0,00021444 mm. Sementara itu, ketika SRA dilakukan pada suhu 700°C, material mulai mencapai temperatur kritis A1 sehingga menghasilkan tegangan sisa sebesar 0,5819 MPa. Terakhir, tingkat kesalahan (error rate) dari simulasi validasi termal ini terbukti sangat rendah, yaitu hanya berkisar antara 0,48% hingga 0,63% jika dibandingkan dengan pengukuran thermogun aktual di lapangan.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR STRESS RELIEF
ANNEALING TERHADAP STRUKTUR MIKRO SERTA TEGANGAN
SISA DAN DISTORSI BERBASIS FEM PADA PENGELASAN FCAW
PLAT ABS GRADE A**

Nama Mahasiswa : Rios Paldo Harianja
NIM : 40040422650022
Nama Dosen Pembimbing : Dr. Mohd. Ridwan, S.T., M.T.

ABSTRACT

In steel structure fabrication, the Flux-Cored Arc Welding (FCAW) process generates localized thermal cycles, which cause residual stresses and distortion. This study analyzes the effectiveness of Post-Weld Heat Treatment (PWHT), specifically Stress Relief Annealing (SRA) on 12 mm thick Grade A ABS steel plates at temperatures ranging from 600°C to 700°C. This study employs finite element method (FEM) numerical simulations using the Goldak Double-Ellipsoid heat source model and welding experiments for micrographic testing. The simulation results show that in the as-welded condition, the maximum residual stress is 79.154 MPa and the maximum distortion is 0.04787 mm. However, after SRA was applied at a temperature of 600°C, the residual stress dropped sharply to 0.5228 MPa and the distortion decreased to 0.00021444 mm. The material began to reach the A1 critical temperature, resulting in a residual stress of 0.5819 MPa at the 700°C SRA. The error rate of the thermal validation simulation is very low, ranging from 0.48% to 0.63% compared to actual thermogun measurements.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan Rahmat dan KaruniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Tugas akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Temperatur Stress Relief Annealing Terhadap Struktur Mikro Serta Tegangan Sisa dan Distorsi Berbasis FEM pada Pengelasan FCAW Plat ABS Grade A” ini diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Terapan pada jurusan Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang. Di antara seluruh lembar yang tersusun dalam skripsi ini, halaman persembahan adalah yang paling bermakna sebab di sinilah penulis menitipkan rasa syukur dan terima kasih yang tak mampu sepenuhnya terungkap oleh rangkaian kata-kata. Untuk itu perkenankan penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik;
2. Bapak Dr. Mohd. Ridwan, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang yang selalu memberikan arahan dan dukungan sekaligus dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah mendukung dan memberikan masukan serta arahan selama penyusunan tugas akhir ini,
3. Ibu Dr. Zulfaidah Ariany, S.T., M.T., selaku dosen penguji 1 tugas akhir penulis yang memberikan masukan serta arahan selama penyusunan tugas akhir ini
4. Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Waluyo, M.Si. selaku dosen penguji 2 tugas akhir penulis yang telah mendukung dan memberikan masukan serta arahan selama penyusunan tugas akhir ini,
5. Seluruh dosen dan staff pengajar Program Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang yang telah memberikan bekal penulis dalam penyusunan tugas akhir ini;
6. Teristimewa kepada kedua Orangtua tercinta terima kasih atas cinta, kasih sayang dukungan moral maupun material tanpa henti bagi penulis serta menguatkan penulis dalam doa-doanya. Bapak dan Ibu, yang membesarkan anak bukan untuk menjadi seperti yang mereka inginkan melainkan untuk menjadi seperti yang jiwa ini rindukan. Terima kasih telah membiarkan mimpi ini terbang tanpa tali. Di setiap lembar skripsi ini tersimpan keringat kalian yang tidak terlihat, doa kalian yang tidak pernah tidur, dan cinta kalian yang tidak pernah meminta kembali.
7. Kakak kandung penulis Winda Sari Harianja atas segala dukungan moral maupun material yang diberikan, terima kasih karena telah rela mengorbankan banyak hal demi membantu biaya pendidikan penulis. Seluruh nasihat, dukungan mental, dan motivasi tanpa henti dari Kakak adalah bekal berharga yang mengantarkan penulis hingga mampu sampai tahap ini.
8. Penulis juga mengucapkan rasa terima kasih dan rasa sayang yang tulus kepada adik penulis Sindy, Aron dan Mikha. Terima kasih atas segala keceriaan, canda tawa, dan energi positif yang selalu menghidupkan suasana.
9. Teman-teman Angkatan 2022 “NASA” Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan yang telah banyak membantu penulis dari awal perkuliahan hingga menyelesaikan laporan tugas akhir ini,

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, dikarenakan keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Untuk itu dengan tidak mengurangi rasa hormat, penulis mengharapkan saran dan kritikan untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Besar harapan penulis bahwa karya serta tulisan ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa-mahasiswi,

khususnya program studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.

Semarang, 24 Juni 2025

Rios Paldo Harianja

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SEMINAR PROPOSAL	ii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR ISTILAH.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	xxii
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Masalah	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Luaran Penelitian.....	3
1.7 Hipotesis Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Pengertian Pengelasan	6
2.3 Pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW)	6
2.3.1 Klasifikasi Elektroda Pengelasan FCAW	7
2.3.2 Parameter Pengelasan FCAW	8
2.3.3 Posisi Pengelasan.....	9
2.3.4 Jenis Kampuh	9
2.4 Plat ABS Grade A	10
2.5 Fenomena Termal pada Proses Pengelasan.....	10
2.6 Distorsi dan Tegangan Sisa.....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.3 Material dan Spesimen Penelitian.....	18
3.3.1 Material Induk.....	18
3.3.2 Material Pengisi (Filler Metal).....	19
3.4 Rencana Desain Spesimen	19
3.5 Proses Pengelasan FCAW.....	20
3.5.1 Persiapan Pengelasan.....	20

3.6 Perlakuan PWHT Stress Relief Annealing (SRA) Pada Eksperimen.....	21
3.8 Metode Simulasi Finited Elemen Method (FEM).....	24
3.9 Analisis Hasil.....	32
3.10 Validasi Hasil.....	32
3.11 Kesimpulan.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Pengelasan FCAW.....	33
4.2 Hasil Eksperimen Pengujian Mikrografi	35
4.3 Simulasi FEM Tegangan Sisa dan Distorsi.....	37
4.3.1 Distribusi Temperatur.....	37
4.3.2 Distribusi Tegangan Sisa pada Kondisi As-Weld.....	38
4.3.3 Pengaruh Stress Relief Annealing 600°C terhadap Tegangan Sisa.....	39
4.3.4 Pengaruh Stress Relief Annealing 700°C terhadap Tegangan Sisa.....	40
4.3.6 Pengaruh Stress Relief Annealing (SRA) 600° terhadap Distorsi.....	42
4.3.7 Pengaruh Stress relief annealing 700° terhadap distorsi	43
4.4.1 Validasi Independensi Ukuran Mesh.....	43
4.4.2 Validasi Temperatur Simulasi dan Eksperimen Pengukuran Thermogun.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengelasan FCAW	6
Gambar 2. 2 Kode Elektorda FCAW	8
Gambar 2. 3 Posisi Pengelasan	9
Gambar 2. 4 Kampuh V	9
Gambar 3. 1 Flowchart penelitian	17
Gambar 3. 2 Desain 2D	19
Gambar 3. 3 Desain 3D	20
Gambar 3. 4 Spesimen untuk eksperimen	20
Gambar 3. 5 Penahanan SRA 700 selama 60 menit	22
Gambar 3. 6 Pendinginan didalam tungku furnance.....	22
Gambar 3.7 Zona pengamatan mikrografi.....	22
Gambar 3. 8 Spesimen Dipotong.....	23
Gambar 3. 9 Pengamatan Menggunakan Mikroskop.....	24
Gambar 3. 10 Flowchart simulasi ANSYS	24
Gambar 3. 11 Modul Transient Thermal	26
Gambar 3. 12 Input Properties Material pada Ansys	26
Gambar 3. 13 Desain Geometri pada ANSYS SpaceClaim.....	26
Gambar 3. 14 Langkah Insert Meshing	27
Gambar 3. 15 Insert Ukuran Mesh	27
Gambar 3. 16 Kualitas Mesh Skewness	28
Gambar 3. 17 Setup Boundary Condition.....	28
Gambar 3. 18 Boundary Condition.....	29
Gambar 3. 19 Modul Transient Thermal dan Static Stuctural Dihubungkan.....	29
Gambar 3. 20 Setup Solution Fase Pengelasan	30
Gambar 3. 21 Simulasi Pengelasan	30
Gambar 3. 22 Perlakuan Stress Relief Annealing.....	31
Gambar 3. 23 Setting Setup Waktu.....	31
Gambar 3. 24 Insert Fixed Support dan Imported Load	31
Gambar 3. 25 Insert Path	32
Gambar 3. 26 Output Static Structural	32
Gambar 4. 1 Spesimen Hasil Eksperimen	33
Gambar 4. 2 Hasil Simulasi Pengelasan	38
Gambar 4. 3 Tegangan Sisa pada Kondisi As-Weld	38
Gambar 4. 4 Tegangan Sisa Longitudinal AS-Weld	39
Gambar 4. 5 Tegangan Sisa dengan SRA 600°C.....	39
Gambar 4. 6 Tegangan Sisa Longtudinal SRA 600	40
Gambar 4. 7 Tegangan Sisa Transversal dengan SRA 700°C.....	40
Gambar 4. 8 Tegangan Sisa Longitudinal dengan SRA 700°C	41
Gambar 4. 9 Distorsi As-weld	42
Gambar 4. 10 Distorsi dengan SRA 600°C	42
Gambar 4. 11 Distorsi dengan SRA 700°C.....	43
Gambar 4. 12 Titik Validasi Temperatur.....	44
Gambar 4. 13 Validasi Temperatur Simulasi dan Eksperimen.....	44

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Elektroda Pengelasan FCAW	7
Tabel 2. 2 Komposisi Material	10
Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Material	10
Tabel 4. 1 Parameter Pengelasan Perhitungan Heat Flux	33
Tabel 4. 2 Perbandingan Struktur Mikro pada Base Metal	35
Tabel 4. 3 Perbandingan Struktur Mikro pada HAZ.....	36
Tabel 4. 4 perbandingan Struktur Mikro pada Weld Area	36
Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Tegangan Sisa Transveral	41
Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Tegangan Sisa Longitudinal	41
Tabel 4. 7 Perbandingan Hasil Distorsi	43
Tabel 4. 8 Validasi Independensi Grid Mesh.....	43
Tabel 4. 9 Validasi Menggunakan Temperatur	45

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sertifikat Material ABS Grade A	51
Lampiran 2. Material ABS Grade A.....	51
Lampiran 3. Sertifikat Welder	53
Lampiran 4. Dokumentasi Eksperimen Pengelasan	55
Lampiran 5. Dokumentasi Simulasi ANSYS	57
Lampiran 6. Sertifikat HaKI	59
Lampiran 7. Submit Jurnal	61
Lampiran 8. Jurnal	Error! Bookmark not defined.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR RUMUS

- (2.1) = Rumus Heat Input
- (2.2) = Rumus Heat Flux
- (2.3) = Rumus tegangan sisa menggunakan metode elemen hingga
- (2.4) = Rumus Matriks konstanta bergantung pada bahan
- (2.5) = Rumus deformasi satu dimensi sepanjang sumbu x
- (2.6) = Rumus Regangan Total
- (2.7) = Rumus Vector thermal strain untuk isotropik medium

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISTILAH

FCAW	:	Flux Cored Arc Welding
FEM	:	Finite Element Method
Meshing	:	Proses membagi model menjadi elemen-elemen kecil
WPS	:	Welding Procedure Specification
Elektroda FCAW E71T-1C	:	Kawat las berinti fluks diameter 1 mm bergas pelindung 100% CO ₂ ; memenuhi standar AWS A5.20/A5.20M.
ABS Grade A Steel		Baja karbon struktural untuk konstruksi kapal
PWHT		Post Weld Heat Treatment
Heat Input		Masukan Panas
Heat Flux		Flux Panas

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan