



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS PADA
PIPA API *BOILER MINI* DENGAN SIMULASI *SOFTWARE*
ANSYS FLUENT**

PROYEK AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjan Terapan Teknik**

OLEH :

**ALFI GYMNASTIAR PRATAMA
40040221650005**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
AGUSTUS 2025**

HALAMAN PENGESAHAN

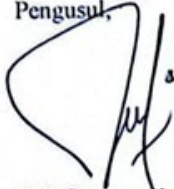
Laporan Tugas Akhir ini diusulkan oleh :

NAMA : Alfi Gymnastiar Pratama
NIM : 40040221650005
Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Tugas Akhir : ANALISIS EFEKTIFITAS PERPINDAHAN PANAS PADA
PIPA API BOILER MINI DENGAN SIMULASI
SOFTWARE ANSYS FLUENT

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing dan diajukan sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk menyelesaikan Tugas Akhir pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.

Semarang, 30 Juni 2025

Pengusul,

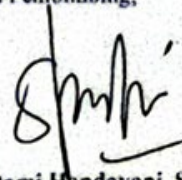


Alfi Gymnastiar Pratama

NIM. 40040221650005

Menyetujui,

Dosen Pembimbing,



Sri Utami Handayani, S.T., M.T.

NIP. 19760915 200312 2 001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Proyek akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyarakan benar**

NAMA : ALFI GYMNASTIAR PRATAMA

NIM : 40040221650005

Tanda Tangan :



Tanggal : 22 Juli 2025

SURAT TUGAS



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI

Jalan Prof. Sudarto, S.H. Tembalang Semarang
Kode Pos 50275
Telp/Fax (024) 7471379
Laman www.vokasi.undip.ac.id
e-mail Vokasi@live.undip.ac.id

SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No. : 428/PA/RPM/I/2025

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut:

Nama : Alfi Gymnastiar Pratama
NIM : 40040221650005
Judul Proyek Akhir : Simulasi Perpindahan Panas *Mini Boiler* Menggunakan
Ansys Fluent
Dosen Pembimbing : Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP : 197609152003122001

Isi Tugas:

1. Membuat gambar boiler dan komponennya 2D dan 3D
2. Menghitung efisiensi boiler (ada instrumen yang harus dipasang), menguji kinerja boiler.
3. Simulasi boiler kondisi eksisting dengan ansys fluent
4. Modifikasi dan Simulasi boiler agar efisiensinya meningkat, dengan ansys fluent.

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 29 November 2024
Ketua Prodi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik

Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP 197609152003122001

Tembusan:

1. Ketua Prodi
2. Bagian pengajaran
3. Mahasiswa ybs

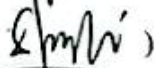
HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Alfi Gymnastiar Pratama
NIM : 40040221650069
Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Proyek Akhir : Analisis Efektivitas Perpindahan Panas Pada Pipa
Api Boiler Mini Dengan Simulasi Software Ansys
Fluent

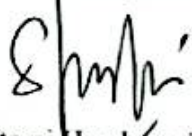
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T. ()
Penguji I : Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T. ()
Penguji II : Didik Ariwibowo, S.T., M.T. ()
Penguji III : Prof. Dr. Muchammad S.T., M.T. ()

Semarang, 6 Agustus 2025

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik


Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.

NIP. 197609152003122001

HALAMAN PENGESAHAN

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfi Gymnastiar Pratama
NIM : 40040221650069
Jurusan/Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Proyek Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Analisis Efektivitas Perpindahan Panas Pada Pipa Api Boiler Mini Dengan Simulasi Software Ansys Fluent”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan proyek akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 15 Juli 2025

Yang menyatakan



Alfi Gymnastiar Pratama

MOTTO

1. *"Cukuplah Allah menjadi penolong kami, dan Allah adalah sebaik-baiknya pelindung."* – QS. Ali Imran 173
2. *"Menuntut ilmu itu wajib bagi setiap muslim."* - HR. Muslim
3. *"Semua hal besar berasal dari awal yang kecil. Benih dari setiap kebiasaan adalah satu keputusan kecil."* – James Clear
4. *"Hal terpenting bukanlah takut gagal, tetapi takut tidak mencoba."* – Carol S. Dweck, Ph.D
5. *"Practice makes progress"* – Puty Puar, dalam buku yang berjudul *Self-Improved Me*.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini dengan Judul “ANALISIS EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS PADA PIPA API BOILER MINI DENGAN SIMULASI SOFTWARE ANSYS FLUENT”

Penulisan Proposal Proyek Akhir ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang
2. Ibu Sri Utami Handayani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Universitas Diponegoro sekaligus Dosen Pembimbing Proyek Akhir.
3. Bapak Ir. Murni, M.T., selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir.
4. Seluruh staf dan dosen Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
5. Bapak Didik Ari Wibowo, S.T., M.T. selaku dosen penguji
6. Orang tua serta keluarga Saya yang telah senantiasa memberikan doa, dan dukungan untuk terus belajar, dan menuntut ilmu.
7. Teman tim Proyek Akhir *Boiler Laundry*.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan proposal ini masih terdapat banyak kesalahan. Oleh karena itu penulis memohon maaf kepada pembaca apabila masih menemukan kesalahan dalam proposal ini.

Semarang, 18 Juli 2025

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'A' followed by a series of loops and a final vertical stroke.

ALFI GYMNASTIAR

PRATAMA

ABSTRAC

ANALISIS EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS PADA PIPA API *BOILER MINI* DENGAN SIMULASI *SOFTWARE* ANSYS FLUENT

Boiler memiliki peran sentral dalam proses konversi energi dan menjadi komponen krusial di berbagai industri, termasuk industri laundry yang sangat mengandalkan uap panas untuk proses perawatan tekstil. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi desain boiler guna meningkatkan efisiensi termal, mengidentifikasi distribusi suhu serta karakteristik aliran fluida, dan mengevaluasi performa sistem pembakaran secara numerik dan eksperimental. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent dengan pendekatan *species transport* dan *Discrete Ordinates (DO) radiation model*. Kondisi awal menggunakan desain eksisting (kemiringan 0° dan 7 pipa), simulasi selanjutnya adalah boiler laundry dengan variasi yang divalidasi melalui pengujian eksperimen untuk memastikan keakuratan model. Variasi geometri yang disimulasikan meliputi kombinasi sudut kemiringan 0° , 1° , 3° , dan 5° dengan jumlah pipa air 7 dan 11 buah. Simulasi menunjukkan bahwa desain modifikasi menghasilkan distribusi heat rate yang lebih tinggi, serta kecepatan aliran yang lebih rendah, yang mendukung proses perpindahan panas lebih efektif. Dan Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa desain modifikasi dengan sudut 5° dan 11 pipa air menghasilkan efisiensi boiler sebesar 18%, dengan waktu rata-rata mencapai tekanan maksimum 3,6 bar(abs) dalam 10 menit. Dibandingkan kondisi eksisting, terjadi peningkatan efisiensi sebesar 5% dan percepatan waktu mulai dalam mencapai tekanan kerja sebesar 8 menit, ini terbukti meningkatkan kinerja boiler secara signifikan dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk industri laundry yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Keyword: Boiler laundry; Efisiensi termal; Simulasi CFD; Ansys Fluent; Modifikasi desain; Pembakaran gas.

ABSTRAC

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER EFFECTIVENESS IN FIRE TUBES OF A MINI BOILER USING ANSYS FLUENT SIMULATION SOFTWARE

The boiler plays a central role in the energy conversion process and is a crucial component in various industries, including the laundry industry, which heavily relies on steam for textile care processes. This study aims to modify the boiler design to improve thermal efficiency, identify temperature distribution and fluid flow characteristics, and evaluate combustion system performance both numerically and experimentally. Simulations were conducted using Ansys Fluent software, employing the species transport approach and the Discrete Ordinates (DO) radiation model. The initial condition used the existing design (0° inclination and 7 pipes), followed by simulations of a laundry boiler with design variations validated through experimental testing to ensure model accuracy. The simulated geometry variations included combinations of inclination angles of 0°, 1°, 3°, and 5° with 7 and 11 water pipes. The simulations showed that the modified design produced a higher heat rate distribution and lower flow velocity, which supports a more effective heat transfer process. Experimental results also showed that the modified design with a 5° angle and 11 water pipes achieved boiler efficiency of 18%, with an average time to reach maximum pressure of 3.6 bar(abs) in 10 minutes. Compared to the existing condition, this represents a 5% efficiency improvement and a startup time reduction of 8 minutes to reach working pressure, proving a significant performance enhancement and showing strong potential for further development in more efficient and sustainable laundry industry applications.

Keyword: Laundry boiler; Thermal efficiency; CFD simulation; Ansys Fluent; Design modification; Gas combustion.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT TUGAS	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xix
1. BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Proyek Akhir.....	5
1.5 Luaran	5
1.6 Sistematika Laporan.....	5
1.6.1 PENDAHULUAN	6
1.6.2 TINJAUAN PUSTAKA	6
1.6.3 METODOLOGI.....	6
1.6.4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	6
1.6.5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	6
2. BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pengertian dan Prinsip Kerja <i>Boiler</i>	7
2.2 Klasifikasi <i>Boiler</i>	8
2.3 Perpindahan Panas pada <i>Boiler</i>	11
2.4 Bahan Bakar <i>Boiler</i>	12
2.5 Isolator Panas pada <i>Boiler Laundry</i>	13
2.6 Efisiensi Termal	13
2.7 Fluida	15
2.7.1 Aliran Laminar dan Turbulen	16
2.7.2 Aliran <i>Steady</i> dan <i>Unsteady</i>	16

2.7.3	Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i>	17
2.7.4	Aliran <i>Viscous</i> dan <i>Inviscid</i>	18
2.7.5	Aliran Vortex	18
2.9	<i>Combustion Model</i>	20
2.10	Air-Fuel Ratio (AFR) Teoritis untuk LPG (Propana-Butana)	21
2.11	Model Radiasi: Discrete Ordinates (DO) Radiation Model	22
2.12	Karakteristik Fluida	23
2.12.1	Massa Jenis	23
2.12.2	Kondisi No Slip	23
2.13	Penelitian Sebelumnya	24
2.13.1	Aliran Luar (<i>external flow</i>)	24
2.14	Simulasi CFD	25
3.	BAB III	
	METODOLOGI	30
3.1	Diagram Alir	30
3.1.2	Deskripsi Masalah	33
3.1.3	Studi Literatur	35
3.1.4	Validasi dan Uji <i>Grid</i>	35
3.1.5	Simulasi Numerik	36
3.1.6	Analisis Data	37
3.1.7	Penarikan Kesimpulan	37
3.2	Validasi dari Eksperimen	37
3.2.1	Validasi Geometri	38
3.2.2	Bahan Bakar	39
3.2.3	Volume dan Massa Air	41
3.2.4	<i>Temperature</i>	43
3.3	Tahapan Simulasi	45
3.3.1	Pre-processing (Pemodelan <i>Boiler</i> Kondisi Evaluasi)	45
3.4	Validasi Hasil	83
3.4.1	Validasi Jurnal	84
3.4.2	Validasi Eksperimen	84
3.5	Uji Grid Independent	88
3.5.1	Validasi Jurnal	88
3.5.2	Uji Grid Eksisting	88
	BAB IV	97
	HASIL DAN PEMBAHASAN	97

4.1 Hasil dan Analisis Simulasi pada Pipa Api.....	97
4.2 Pembahasan Hasil dan Analisis pada pipa api boiler.....	98
4.3 Hasil simulasi Variasi pipa api dengan modifikasi jumlah dan sudut	99
4.3.1 Distribusi kecepatan udara.....	99
4.3.2 Efisiensi Heat rate.....	106
4.3.3 <i>Heat rate</i> pada pipa air	108
4.4 Eksperimen Uji Fungsi Modifikasi final dan perhitungan.....	110
4.4.1 Data Boiler Eksisting (Variasi 0° dan 7 pipa air).....	111
4.4.2 Data Boiler modifikasi (Pipa air Kemiringan 5° dan 11 Pipa air)	113
4.5 Tekno Ekonomi pada boiler modifikasi.....	116
4.6 Pengaruh Penambahan dan pemiringan pipa air pada pipa api...	117
BAB V PENUTUP	118
5.1 Kesimpulan	118
5.2 Saran.....	119
DAFTAR PUSTAKA	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip kerja boiler.....	8
Gambar 2. 2 Boiler pipa api.....	9
Gambar 2. 3 Boiler pipa air	10
Gambar 2. 4 Combi Boiler	10
Gambar 2. 5 Perpindahan panas pada boiler	11
Gambar 2. 6 Efek tegangan geser terhadap deformasi pada fasa solid dan fluid	15
Gambar 2. 7 Visualisasi aliran (a) laminar, (b) transisi, dan (c) turbulen	16
Gambar 2. 8 Aliran (a) inviscid dan (b) viscous.....	18
Gambar 2. 9 Kondisi no slip pada plat datar.	24
Gambar 2. 10 <i>Volume Control Fixed in Space</i>	27
Gambar 2. 11 Konservasi massa dalam <i>infinitesimal control volume</i> dari aliran fluida di antara dua plat paralel statis.....	27
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 3. 2 Zona-zona pada Pipa Api.....	47
Gambar 3. 3 Geometri modifikasi Pipa air pada Pipa Api	47
Gambar 3. 4 Grid pada (a)Pipa Api Eksisting (b) Pipa Api modifikasi	49
Gambar 3. 5 Rentang Kualitas Mesh.....	50
Gambar 3. 6 Nilai kualitas <i>mesh</i> (a) eksisting, (b) modifikasi mesh, skewness..	52
Gambar 3. 7 Nilai <i>mesh</i> (a) eksisting, (b) modifikasi mesh, orthogonal quality.	53
Gambar 3. 8 Domain komputasi simulasi	54
Gambar 3. 9 General <i>Setting</i> simulasi, metode <i>steady</i>	55
Gambar 3. 10 Pengaktifan <i>energy</i> pada simulasi. <i>viscous model</i>	55
Gambar 3. 11 Penentuan <i>viscous model radiation</i>	57
Gambar 3. 12 Penentuan <i>Radiation model</i>	58
Gambar 3. 13 Penentuan <i>Combustion model</i> Penentuan Material.....	59
Gambar 3. 14 <i>Properties</i> udara.....	60
Gambar 3. 15 <i>Properties</i> CO ₂	60
Gambar 3. 16 <i>Properties</i> Butana	60
Gambar 3. 17 <i>Properties</i> untuk fasa fluida.....	61

Gambar 3. 18 Properties untuk ST37 dan ASTM A53	62
Gambar 3. 19 Properties untuk LPG Mixture.....	62
Gambar 3. 20 Properties untuk fluid-domain	65
Gambar 3. 21 Properties untuk Equation Reaction Boundary Conditions	66
Gambar 3. 22 Sizing Kompor.....	66
Gambar 3. 23 Properties untuk Fuel-inlet.....	72
Gambar 3. 24 Kondisi batas fuel inlet.....	73
Gambar 3. 25 Properties untuk air-inlet	73
Gambar 3. 26 Properties untuk temperature air-inlet	74
Gambar 3. 27 Kondisi batas gas outlet Internal.....	74
Gambar 3. 28 interior-fluide-domain.....	75
Gambar 3. 29 Kondisi batas wall.....	75
Gambar 3. 30 Kondisi batas thermal wall	76
Gambar 3. 31 Kondisi batas interface Methods Solution	77
Gambar 3. 32 Method solution simulasi.....	78
Gambar 3. 33 Solution control simulasi	79
Gambar 3. 34 Convergence criteria simulasi.....	80
Gambar 3. 35 Solution initialization simulasi	81
Gambar 3. 36 Run calculation simulasi, metode steady.....	82
Gambar 3. 37 Grafik residual simulasi.....	83
Gambar 3. 38 Grafik nilai temperature hasil simulasi dengan hasil studi.....	84
Gambar 3. 39 temperature hasil simulasi dengan hasil eksperimen penulis di Pipa Api height 0.0856 m	87
Gambar 3. 40 Grafik nilai temperature hasil simulasi dengan hasil eksperimen penulis di Pipa Api height 0.0856 m.....	87
Gambar 3. 41 Bentuk Fisik api.....	95
Gambar 3. 42 temprature api.....	96
Gambar 3. 43 Grafik uji <i>grid independent</i> validasi jurnal.....	88
Gambar 3. 44 Grafik uji <i>grid independent</i> validasi simulasi eksisting di <i>Pipa Api</i>	89
Gambar 3. 41 Grafik uji <i>grid independent</i> variasi evaluasi di <i>plane</i> Uji Y^+ wall pada simulasi.....	90

<i>Gambar 3. 46</i> nilai y^+ dari simulasi	92
<i>Gambar 3. 47</i> <i>Mesh flow inlet dan outlet</i>	93
<i>Gambar 3. 47</i> <i>Total heat transfer rate</i>	94

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Kordinat sumbu XYZ dari Line 1	98
Tabel 4. 2 Data eksperimen boiler eksisting (Variasi 0° dan 7 pipa air)	111
Tabel 4. 3 Data eksperimen boiler modifikasi (Pipa air Kemiringan 5° dan 11 Pipa air)	113

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Pertama Kali Muncul Halaman
t	Tebal (<i>thickness</i>)	14
P	Tekanan (<i>pressure</i>)	14
S	Kekuatan Tegangan (<i>strain</i>)	14
R atau r	Jari-jari (<i>radius</i>)	14
E	Efisiensi	14
CA	Toleransi korosi (<i>corrosion allowance</i>)	14
D_0	Diameter	15
L	Panjang (<i>length</i>)	15
η	Efisiensi	16
k	Koefisien	16
SA	Toleransi tegangan (<i>stress allowance</i>)	16
A	Luas permukaan (<i>area</i>)	16
π	phi	16
W	Berat atau massa per satuan waktu (<i>weight</i>)	17
Re	Bilangan Reynolds (<i>reynolds number</i>)	19
Ma	Bilangan Mach (<i>mach number</i>)	20
v	Kecepatan (<i>kecepatan udara</i>)	20
c	Kecepatan suara	20
T	Suhu (<i>temperature</i>)	20
ω	Kecepatan sudut (<i>omega</i>)	22
m	Massa (<i>mass</i>)	23
ϵ_i	Emisivitas (<i>emissivity</i>)	24
ρ	Densitas atau Massa Jenis (ρ)	25
u	Kecepatan fluida	25

