

**Perancangan *Steam Boiler* Dengan Bahan Bakar RDF (*Refused
Derived Fuel*) Skala UMKM**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh:

Muhamad Adi Septian

221421039



PRODI TEKNOLOGI REKAYASA PERANCANGAN MANUFAKTUR

JURUSAN TEKNIK PERANCANGAN MANUFAKTUR

POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**Perancangan *Steam Boiler* Dengan Bahan Bakar RDF (*Refused
Derived Fuel*) Skala UMKM**

Diusulkan oleh
Muhamad Adi Septian
221421039

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
Pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

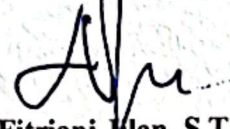
Bandung, 04 Agustus 2025
Disetujui,

Pembimbing I,



Widya Prapti Pratiwi, S. T., M.T.
NIP. 1990022022032006

Pembimbing II,



Avunisa Fitriani Jlan, S.T., MT.
NIP. 199709092024062001

Disahkan,
Ketua Penguji,



Dr. Kurniawan, SST., MT.
NIP. 196803211991031004

Penguji I,



Adi Surya Pradipta, S. T., M. T.
NIP. 199107252022031004

Penguji II,



Dr. Heri Setiawan, S. T., M. T.
NIP. 196707011992031001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan di bawah ini:


Nama : Muhamad Adi Septian
NIM : 221421039
Jurusan : Teknik Perancangan Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur
Jenjang Studi : D4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Perancangan *Steam Boiler* dengan Bahan Bakar RDF (*Refused Derived Fuel*) Skala UMKM

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau Sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau symbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertendangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 04-Juli-2025
Yang Menyatakan,



Muhamad Adi Septian
NIM. 221421039

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Adi Septian
NIM : 221421039
Jurusan : Teknik Perancangan Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur
Jenjang Studi : D4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Perancangan *Steam Boiler* dengan Bahan Bakar RDF (*Refused Derived Fuel*) Skala UMKM

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaannya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 04-Juli-2025
Yang Menyatakan,



Muhamad Adi Septian
NIM. 221421039

MOTO PRIBADI

Dari sampah menjadi energi, dari riset menjadi solusi nyata bagi kebutuhan energi UMKM berbagi sumber daya terbarukan. Tugas akhir ini adalah ikhtiar ilmiah yang dirancang bukan semata-mata sebagai keyakinan akademik, melainkan sebagai bentuk tanggung jawab atas ilmu yang Allah titipkan. Setiap Langkah perancangan yang dilakukan dengan niat untuk memberikan kemanfaatan bagi umat, khususnya dalam menjawab tantangan energi dan lingkungan di negeri ini.

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada orang tua saya tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang yang tak pernah putus, juga kepada kakak saya yang menjadi penyemangat dalam setiap Langkah. Terima kasih saya sampaikan kepada teman-teman serta semua pihak yang telah membantu, membimbing, dan memberikan dukungan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Semoga segala kebaikan dan bantuan yang diberikan mendapat balasan yang terbaik dari Allah SWT. Jazakukullahu khairan katsiran.

- Muhamad Adi Septian-

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Almandulillaahi Rabbil'aalamin Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Allahﷻ yang telah melimpahkan nikmat kesehatan, keselamatan, ilmu, dan karunia-Nya. Sholawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada baginda nabi Muhammadﷺ, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Perancangan Steam Boiler Dengan Bahan Bakar RDF (*Refused Derived Fuel*) Skala UMKM”**. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma IV), Prodi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya Proposal Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan baik secara moril maupun materil, secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Darma Firmansyah Undayat, S.ST., M. T.
2. Ketua Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Bapak Bustami Ibrahim, S.S.T., M.T., IPM.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Ibu Dinny Indrian, S.Tr.T., M.T.
4. Ibu Widya Prapti Pratiwi, S.T., M.T. dan Ibu Ayunisa Fitriani Jilan, S. T., MT. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis serta memberikan ilmu pengetahuan untuk perbaikan Karya Tulis Tugas Akhir ini. Semoga Allahﷻ selalu memberikan Kesehatan dan rizki yang berlimpah untuk beliau.
5. Para penguji sidang tugas akhir Bapak Kurniawan, SST., MT., Bapak Adi Surya Pradipta, S.T., M.T., dan Bapak Heri Setiawan, S.T., M.T.

6. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur yang telah memberikan banyak sekali ilmu yang nantinya insyaallah akan bermanfaat untuk kepentingan umat.
7. Orang Tua penulis yaitu Ibunda tercinta Anah dan Ayahanda Enceng yang selalu memberikan do'a, motivasi, dukungan untuk keberhasilan dan keselamatan dunia dan akhirat.
8. Seluruh rekan seperjuangan DEC Angkatan 2021 khususnya dan Polman Bandung Angkatan 2021 umumnya.
9. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah ﷻ senantiasa membalas semua kebaikan yang telah bapak, ibu, dan saudara berikan kepada Penulis dengan kebaikan yang lebih besar disertai dengan curahan rahmat dan kasih sayang-Nya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna, ketidaksempurnaan tersebut disebabkan oleh kemampuan, pengetahuan serta pengalaman penulis yang masih terbatas. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun penulis harapkan bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dimasa yang akan datang.

Akhir kata Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Besar harapan Penulis agar Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi Penulis khususnya, umumnya bagi pembaca serta dapat memberikan sumbangan bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, Aamiin yaa Allah yaa Rabbal'Alamiin.

Penulis,
Bandung, 04 Juli 2025



Muhamad Adi Septian

NIM. 221421039

ABSTRAK

Pengolahan sampah di kota Bandung terbilang masih belum maksimal. Beberapa Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPS) di kota Bandung telah mengolah sampah menjadi bentuk *Refuse Derived Fuel* (RDF). RDF merupakan sampah yang dihancurkan menjadi ukuran yang seragam sekitar 2—10 mm, kemudian dikeringkan untuk mengurangi kadar airnya hingga dibawah 25%. Namun, pemanfaatan bahan bakar alternatif RDF masih belum banyak digunakan oleh berbagai industri. Saat ini, bahan bakar RDF dimanfaatkan sebagai sumber energi tambahan pendamping bahan bakar fosil batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Selain itu, harga jual RDF berkisar Rp 300/Kg, nilai ini masih tergolong sangat murah. Dalam penelitian ini, Penulis membuat rancangan unit pemanas air atau *boiler* dengan jenis *firetube* sebagai upaya lanjutan dalam pengolahan sampah sekaligus penambahan jangkauan dalam pemanfaatan bahan bakar RDF. Metode yang digunakan dalam perancangan *boiler* ini adalah Metode Perancangan pengembangan produk dari Karl T. Ulrich. Selain itu, *Boiler* ini termasuk ke dalam bejana bertekanan. Bejana tekan umumnya menggunakan kaidah-kaidah yang telah diatur pada ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) Code Section I *Rules for Construction Power Boiler*. Dari hasil Perancangan *steam boiler*, didapatkan laju keluaran uap, yaitu 200 kg/jam, tekanan keluaran uap, yaitu 1,27 MPa, dan temperatur keluaran uap, yaitu 300°C.

Kata Kunci: Boiler, Firetube, Pengolahan Sampah, RDF, Steam generator,

ABSTRACT

Waste processing in the city of Bandung is still not optimal. Several Integrated Waste Processing Sites (TPS) in the city of Bandung have processed waste into forms Refuse Derived Fuel (RDF). RDF is waste that is crushed into a uniform size of around 2-10 mm, then dried to reduce its water content to below 25%. However, the use of alternative fuel RDF is still not widely used by various industries. Currently, RDF fuel is used as an additional energy source to accompany coal fossil fuels in Steam Power Plants (PLTU). In addition, the selling price of RDF is around Rp. 300/Kg, this value is still very cheap. In this study, the author designed a water heater unit or boiler with type firetube as a further effort in waste processing as well as increasing the reach in the utilization of RDF fuel. The method used in the design boiler is the Product Development Design Method from Karl T. Ulrich. In addition, Boiler is included in the pressure vessels. Pressure vessels generally use the rules that have been set in ASME (American Society of Mechanical Engineers) Code Section I Rules for Construction Power Boiler. From the design results steam boiler, obtained steam output rate, which is 200 kg/hour, steam output pressure, which is 1,27 MPa, and steam output temperature, which is 300°C.

Keywords: *Boiler, Firetube, RDF, Steam generator, Waste Processing*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-4
I.3 Batasan Masalah.....	I-4
I.4 Tujuan	I-4
I.5 Manfaat	I-5
I.6 Sistematika Penulisan	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 <i>Refuse Derived Fuel</i> (RDF)	II-1
II.1.1 Pengertian <i>Refused Derived Fuel</i> (RDF)	II-1
II.1.2 Spesifikasi <i>Refused Derived Fuel</i> (RDF)	II-2
II.2 Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM).....	II-2
II.3 <i>Boiler</i>	II-4
II.3.1 Pengertian <i>Boiler</i>	II-4
II.3.2 Tipe-Tipe <i>Boiler</i>	II-5

II.3.3	<i>Fire Tube Boiler</i>	II-5
II.3.4	Perbedaan <i>Water Tube Boiler</i> dan <i>Fire Tube Boiler</i>	II-10
II.4	<i>Temperature</i> dan <i>Heat</i>	II-11
II.4.1	Hukum Nol Termodinamika	II-11
II.4.2	<i>Thermal Expantion</i>	II-11
II.4.3	<i>Kalor</i>	II-14
II.4.4	Perubahan Fasa.....	II-14
II.4.5	Mekanisme <i>Heat Transfer</i>	II-15
II.4.6	<i>Overall Heat Transfer Coefficient</i>	II-18
II.5	Termodinamika	II-19
II.5.1	Nilai Kalor	II-19
II.5.2	Neraca Panas	II-20
II.6	Sifat-Sifat Material Teknik	II-21
II.6.1	Sifat-Sifat Mekanis.....	II-21
II.6.2	Sifat-Sifat Termal.....	II-22
II.7	Kekuatan Material.....	II-23
II.7.1	Definisi Kekuatan Material.....	II-23
II.7.2	Fungsi Ilmu Kekuatan Material	II-23
II.8	<i>Finite Element Method</i>	II-23
II.8.1	Pengertian <i>Finite Element Method</i>	II-23
II.8.2	Konsep Penyelesaian FEM	II-24
II.9	ASME Boiler dan Pressure Vessel.....	II-25
II.10	Metode Perancangan Karl T. Ulrich.....	II-26
II.11	Studi Penelitian Terdahulu	II-27
BAB III PROSES PERANCANGAN.....		III-1
III.1	<i>Planning</i>	III-5
III.1.1	Identifikasi Peluang.....	III-5
III.1.1	Perencanaan Pra-proyek.....	III-9

III.2	<i>Concept Development</i>	III-10
III.2.1	Analisa kebutuhan pelanggan	III-10
III.2.2	Menetapkan target spesifikasi	III-20
III.2.3	Pengembangan konsep	III-21
III.2.4	Finalisasi konsep	III-53
III.3	<i>Sistem-Level Design</i>	III-56
III.3.1	<i>Product Architecture</i>	III-56
III.4	<i>Detail Design</i>	III-57
III.4.1	<i>Design by Rule</i>	III-58
III.4.2	Konstruksi Rancangan	III-87
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-1
IV.1	Analisis Kekuatan	IV-1
IV.1.1	Analisis Termal	IV-3
IV.1.2	Analisis Mekanik	IV-49
IV.2	Dokumentasi Teknik	IV-90
IV.2.1	Mesin <i>Steam Boiler</i>	IV-98
IV.2.2	Gambar Kerja	IV-98
IV.2.3	Parameter Perhitungan Hasil <i>Steam Boiler</i>	IV-99
IV.2.4	Spesifikasi Mesin RDF <i>Steam Boiler</i>	IV-103
BAB V PENUTUP.....		V-1
V.1	Kesimpulan	V-1
V.2	Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA		xxii
LAMPIRAN.....		xxxiii

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Perbedaan water tube boiler dan fire tube boiler.....	II-10
Tabel II.2 Studi penelitian terhadap.....	II-27
Tabel III.1 Detail kegiatan dari proses perancangan steam boiler	III-3
Tabel III.2 pertanyaan dan jawaban terkait listrik dan TDL	III-7
Tabel III.3 Project statement perancangan steam boiler skala UMKM	III-9
Tabel III.4 Jumlah pelanggan, daya tersambung, dan konsumsi UMKM	III-11
Tabel III.5 Data konsumsi listrik UMKM.....	III-12
Tabel III.6 Spesifikasi <i>steam turbine</i> DTEC	III-15
Tabel III.7 Perbandingan jenis-jenis boiler [76]	III-16
Tabel III.8 Perbandingan kelebihan dan kekurangan boiler	III-17
Tabel III.9 kriteria penilaian boiler	III-19
Tabel III.10 Perbandingan steam boiler terhadap spesifikasi awal.....	III-21
Tabel III.11 Target spesifikasi <i>steam boiler</i>	III-21
Tabel III.12 Komponen-komponen utama firetube boiler	III-27
Tabel III.13 Paten horizontal steam boiler.....	III-28
Tabel III.14 Penelitian terkait perancangan boiler dengan bahan bakar RDF. III-30	
Tabel III.15 Produk yang ada di pasaran	III-31
Tabel III.16 Konsep-konsep furnace.....	III-34
Tabel III.17 Penilaian konsep furnace	III-36
Tabel III.18 Konsep-konsep pipa api	III-37
Tabel III.19 Penilaian konsep pipa.....	III-39
Tabel III.20 Konsep-konsep reversal chamber	III-40
Tabel III.21 penilaian konsep reversal chamber	III-41
Tabel III.22 Konsep-konsep chimney	III-43
Tabel III.23 penilaian konsep chimney	III-44
Tabel III.24 Konsep-konsep steam outlet fitting.....	III-45
Tabel III.25 Penilaian konsep steam fitting	III-47
Tabel III.26 Konsep-konsep superheater	III-48
Tabel III.27 penilaian konsep superheater	III-49
Tabel III.28 Konsep-konsep kaki boiler.....	III-51
Tabel III.29 Penilaian konsep feet	III-52

Tabel III.30 Konsep terpilih dari setiap sub fungsi bagian	III-54
Tabel III.31 Kehilangan tekanan pada jalur aliran uap [92]	III-58
Tabel III.32 Faktor desain steam boiler	III-59
Tabel III.33 Penentuan material RDF steam boiler	III-60
Tabel III.34 Referensi harga material RDF steam boiler	III-61
Tabel III.35 Penetapan material RDF steam boiler.....	III-62
Tabel III.36 perhitungan ketebalan dinding vessel	III-74
Tabel III.37 Perhitungan ketebalan tubesheet	III-76
Tabel III.38 Perhitungan MAWP furnace	III-78
Tabel III.39 Perhitungan ketebalan tube	III-80
Tabel III.40 Perhitungan ketebalan tube diameter 2 inch keluaran steam	III-84
Tabel III.41 Perhitungan ketebalan tube diameter 2 inch keluaran steam	III-85
Tabel III.42 Perhitungan ketebalan tube keluaran steam	III-86
Tabel IV.1 Karakteristik campuran RDF[101]	IV-4
Tabel IV.2 Perhitungan nilai HHV dan LHV	IV-4
Tabel IV.3 Perbandingan nilai teoritis dan eksperimen nilai kalor RDF.....	IV-5
Tabel IV.4 Perhitungan volume furnace	IV-6
Tabel IV.5 Perhitungan massa RDF dimuat di furnace	IV-7
Tabel IV.6 Perhitungan konsumsi bahan bakar RDF.....	IV-7
Tabel IV.7 Perhitungan jumlah udara pembakar teoritis	IV-8
Tabel IV.8 Perhitungan kebutuhan udara sebenarnya.....	IV-9
Tabel IV.9 Penambahan volume gas asap.....	IV-10
Tabel IV.10 Perhitungan jumlah teori gas asap	IV-10
Tabel IV.11 Temperatur pembakaran	IV-12
Tabel IV.12 Perhitungan jumlah mol Nitrogen pada udara tambahan dan bahan bakar.....	IV-15
Tabel IV.13 Jumlah mol masing-masing zat hasil pembakaran RDF.....	IV-16
Tabel IV.14 Perhitungan suhu di dalam furnace.....	IV-17
Tabel IV.15 Perbandingan nilai flame temperature teoritis dan eksperimen...IV-18	
Tabel IV.16 Perhitungan temperatur di jalur aliran gas hasil pembakaran.....	IV-19
Tabel IV.17 Perhitungan perpindahan panas di furnace	IV-21
Tabel IV.18 Perhitungan perpindahan panas di firerube 2 nd pass.....	IV-22

Tabel IV.19 Perhitungan perpindahan panas di firetube 3 rd pass.....	IV-24
Tabel IV.20 Perhitungan kalor pembentukan saturated steam.....	IV-26
Tabel IV.21 Perhitungan jumlah pipa di 2 nd pass dan 3 rd pass.....	IV-26
Tabel IV.22 Perhitungan volume aktual di dalam vessel.....	IV-30
Tabel IV.23 Perhitungan efisiensi termal secara langsung	IV-31
Tabel IV.24 Perhitungan efisiensi termal secara tidak langsung	IV-32
Tabel IV.25 Perhitungan superheater.....	IV-35
Tabel IV.26 Konstantan untuk korelasi grimmison pada bundle of tube in cross flow	IV-39
Tabel IV.27 Perbandingan hasil analisis steam pipe dan superheater	IV-45
Tabel IV.28 Analisis simulasi flow pada badan boiler	IV-45
Tabel IV.29 Perhitungan tegangan belah dan putus.....	IV-49
Tabel IV.30 Perbandingan Nilai thermal stress manual dan simulasi	IV-56
Tabel IV.31 Perhitungan weld joint tubesheet dan vessel	IV-57
Tabel IV.32 Perhitungan weld joint vessel dan adapter steam outlet	IV-59
Tabel IV.33 Perhitungan weld joint vessel dan adapter safety valve	IV-61
Tabel IV.34 Perhitungan weld joint vessel dan adapter blowdown.....	IV-64
Tabel IV.35 Perhitungan weld joint vessel dan adapter pressure gauge.....	IV-66
Tabel IV.36 Perhitungan weld joint vessel dan adapter feedwater	IV-68
Tabel IV.37 Perhitungan weld joint tubesheet dan furnace	IV-70
Tabel IV.38 Perhitungan weld joint tubesheet dan firetube.....	IV-73
Tabel IV.39 Perhitungan defleksi boiler	IV-75
Tabel IV.40 Perbandingan nilai perhitungan manual dan software pada gaya geser	IV-79
Tabel IV.41 Perbandingan nilai perhitungan manual dan software momen ...	IV-83
Tabel IV.42 Perhitungan defleksi rangka support.....	IV-86
Tabel IV.43 Perbandingan nilai gaya geser dan momen lentur pada rangka support	IV-89
Tabel IV.44 Perhitungan tegangan pipa superheater	IV-90
Tabel IV.45 Hasil perhitungan steam boiler	IV-100
Tabel IV.46 Spesifikasi mesin <i>steam boiler</i>	IV-103
Tabel V.1 Spesifikasi mesin RDF <i>steam boiler</i>	V-2

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Industri yang berfotensi memanfaatkan RDF	I-2
Gambar II.1 Refuse Derived Fuel (RDF).....	II-1
Gambar II.2 Ilustrasi Steam boiler	II-4
Gambar II.3 Konsep fire tube boiler	II-6
Gambar II.4 Tungku Pembakaran	II-7
Gambar II.5 Tabung api	II-8
Gambar II.6 Tangki air.....	II-8
Gambar II.7 Hukum nol termodinamika.....	II-11
Gambar II.8 Hubungan antara perubahan panjang batang dan perubahan suhu.....	II-11
Gambar II.9 Grafik perubahan volume terhadap suhu pada air	II-13
Gambar II.10 Grafik perubahan fasa air.	II-15
Gambar II.11 Aliran panas keadaan stabil karena konduksi dalam batang seragam.	II-16
Gambar II.12 Pertukaran radiasi antara permukaan dengan sekelilingnya.....	II-17
Gambar II.13 Kehilangan panas pada boiler.....	II-21
Gambar II.14 A schematic representation of the key processes that comprise the Finite Element Method.....	II-24
Gambar II.15 Proses pengembangan produk Karl T. Ulrich	II-26
Gambar III.1 Proses Pengembangan Produk Karl T. Ulrich.....	III-1
Gambar III.2 Diagram alir proses perancangan steam boiler	III-2
Gambar III.3 Data UMKM Kota Bandung	III-7
Gambar III.4 Proses reverse identifikasi electricity generation	III-10
Gambar III.5 Blackbox diagram steam boiler.....	III-23
Gambar III.6 Glassbox diagram <i>steam boiler</i>	III-24
Gambar III.7 Flowsheets steam boiler	III-25
Gambar III.8 Skematik rancangan steam boiler.....	III-26
Gambar III.9 Diagram blok fungsi steam boiler	III-26
Gambar III.10 Vessel orientasi horizontal	III-33
Gambar III.11 Sketsa corrugated furnace	III-36
Gambar III.12 Sketsa rifled tube	III-39

Gambar III.13 Sketsa dryback chamber	III-42
Gambar III.14 Sketsa cylinder chimney	III-44
Gambar III.15 Sketsa flange fitting	III-47
Gambar III.16 Sketsa zigzag superheater	III-50
Gambar III.17 Sketsa cradle feet	III-53
Gambar III.18 Pengelompokkan elemen-elemen steam boiler menjadi bagian-bagian	III-56
Gambar III.19 Tata letak geometri steam boiler	III-57
Gambar III.20 Globe valve	III-63
Gambar III.21 Susunan perpipaan blowdown	III-63
Gambar III.22 Gate Valve STAAL 100 AKD/AKDS KSB	III-64
Gambar III.23 Sistem perpipaan feedwater	III-65
Gambar III.24 Swing check valve flange	III-66
Gambar III.25 globe valve	III-66
Gambar III.26 Reflex gauge	III-67
Gambar III.27 Transparent level gauge	III-68
Gambar III.28 Magnetic level gauge	III-68
Gambar III.29 Safety valve type SF02	III-70
Gambar III.30 Bourdon tube pressure gauge	III-71
Gambar III.31 Pigtail siphon WIKA	III-71
Gambar III.32 Bimetal termometer	III-72
Gambar III.33 Vessel pandangan isometri	III-75
Gambar III.34 Jarak bukaan lubang (stay tube) yang batasnya saling tumpang tindih	III-75
Gambar III.35 Tubesheet pandangan isometri	III-77
Gambar III.36 Morison furnace	III-78
Gambar III.37 Morison furnace pandangan isometri	III-79
Gambar III.38 Penampang potong rifled tube	III-80
Gambar III.39 Penampang potong rifled tube	III-81
Gambar III.40 Dry back reversal chamber pandangan isometri	III-81
Gambar III.41 Smokebox 1 pandangan isometri	III-82
Gambar III.42 Smokebox 2 pandangan isometri	III-83

Gambar III.43 Cylinder chimney dengan flange pandangan isometri	III-83
Gambar III.44 Cradle feet	III-87
Gambar III.45 Konstruksi 3D RDF <i>steam boiler</i>	III-88
Gambar III.46 Draft rancangan RDF <i>steam boiler</i>	III-88
Gambar IV.1 Analisis kekuatan steam boiler	IV-1
Gambar IV.2 Analisis kekuatan <i>steam boiler</i> lanjut	IV-2
Gambar IV.3 Skematik analisis perpindahan termal.....	IV-3
Gambar IV.4 Temperatur di jalur aliran gas hasil pembakaran	IV-19
Gambar IV.5 Skematik perpindahan panas di <i>furnace</i>	IV-22
Gambar IV.6 Skematik perpindahan panas firetube 2 nd pass.....	IV-23
Gambar IV.7 Skematik perpindahan panas firetube 3 rd pass	IV-25
Gambar IV.8 Align dari pipa superheater	IV-38
Gambar IV.9 Model steam pipe dan superheater	IV-42
Gambar IV.10 Preprocessing steam pipe dan superheater	IV-42
Gambar IV.11 Hasil temperature fluida steam	IV-43
Gambar IV.12 Hasil pressure fluida steam	IV-44
Gambar IV.13 Hasil kecepatan fluida steam.....	IV-44
Gambar IV.14 Model simulasi steam boiler	IV-46
Gambar IV.15 <i>Boundry condition flow simulation steam boiler</i>	IV-46
Gambar IV.16 Hasil temperature fluida steam	IV-47
Gambar IV.17 Hasil pressure fluida steam	IV-48
Gambar IV.18 aliran <i>water inlet</i> dan <i>stema outlet</i>	IV-48
Gambar IV.19 Hasil analisis <i>flow design point</i> untuk temperatur dan <i>mass flowrate</i>	IV-49
Gambar IV.20 Ilustrasi DBB tegangan belah	IV-50
Gambar IV.21 Ilustrasi DBB tegangan putus	IV-50
Gambar IV.22 Model vessel dengan rangka support	IV-51
Gambar IV.23 Material komponen pembentuk badan boiler.....	IV-52
Gambar IV.24 <i>Boundry condition</i> tumpuan fix	IV-52
Gambar IV.25 Pembebanan tekanan internal pada simulasi vessel.....	IV-53
Gambar IV.26 pembebanan temperatur pada simulasi vessel	IV-53
Gambar IV.27 Mesh global simulasi vessel.....	IV-54

Gambar IV.28 Hasil simulasi tegangan pada vessel	IV-54
Gambar IV.29 Detil tegangan maksimum pada simulasi vessel.....	IV-55
Gambar IV.30 Titik weld joint tubesheet dan vessel	IV-56
Gambar IV.31 Konfigurasi sambungan las tubesheet dan vessel	IV-57
Gambar IV.32 Titik weld joint vessel dan adapter steam outlet	IV-59
Gambar IV.33 Titik weld joint vessel dan adapter safety valve	IV-61
Gambar IV.34 Titik weld joint vessel dan adapter blowdown.....	IV-63
Gambar IV.35 Titik weld joint vessel dan adapter pressure gauge.....	IV-66
Gambar IV.36 Titik weld joint vessel dan adapter feedwater.....	IV-68
Gambar IV.37 Titik weld joint tubesheet dan furnace.....	IV-70
Gambar IV.38 Titik weld joint tubesheet dan firetube	IV-72
Gambar IV.39 Steam boiler tampak samping	IV-74
Gambar IV.40 Diagram benda bebas boiler.....	IV-75
Gambar IV.41 Segmen-segmen pada DBB boiler	IV-76
Gambar IV.42 DBB pada segmen 1 (gaya geser)	IV-76
Gambar IV.43 DBB pada segmen 2 (gaya geser)	IV-77
Gambar IV.44 DBB pada segmen 3 (gaya geser)	IV-78
Gambar IV.45 Gaya geser pada boiler berdasarkan <i>software MD Soild</i>	IV-79
Gambar IV.46 Segmen-segmen pada DBB boiler	IV-79
Gambar IV.47 DBB pada segmen 1 (momen lentur).....	IV-80
Gambar IV.48 DBB pada segmen 2 (momen lentur).....	IV-80
Gambar IV.49 DBB pada segmen 3 (momen lentur).....	IV-82
Gambar IV.50 Momen lentur pada boiler berdasarkan <i>software MD Solid</i>	IV-83
Gambar IV.51 <i>Simply support beam slope and deflection</i> untuk segmen 1	IV-84
Gambar IV.52 <i>Simply support beam slope and deflection</i> untuk segmen 2	IV-84
Gambar IV.53 Rangka support vessel.....	IV-85
Gambar IV.54 Diagram benda bebas rangka support	IV-86
Gambar IV.55 DBB pada potongan rangka support	IV-87
Gambar IV.56 Diagram gaya geser dna momen lentur pada rangka support ..	IV-89
Gambar IV.57 <i>Simply support beam slope and deflection</i> untuk rangka support	IV-90
Gambar IV.58 Model simulasi <i>superheater</i>	IV-93

Gambar IV.59 Material pembentuk <i>superheater</i>	IV-93
Gambar IV.60 <i>Thermal load superheater</i>	IV-93
Gambar IV.61 <i>Meshing superheater</i>	IV-94
Gambar IV.62 Hasil analisis simulasi termal <i>superheater</i>	IV-94
Gambar IV.63 Model simulasi <i>superheater</i>	IV-95
Gambar IV.64 Material pembentuk <i>superheater</i>	IV-95
Gambar IV.65 <i>Load pada superheater</i> ditambah hasil analisis termal.....	IV-96
Gambar IV.66 <i>Meshing superheater</i>	IV-96
Gambar IV.67 Hasil analisis simulasi <i>superheater</i>	IV-97
Gambar IV.68 Konstruksi rancangan RDF <i>stema boiler</i>	IV-98
Gambar IV.69 Gambar kerja RDF <i>Steam Boiler</i>	IV-99
Gambar V.1 Hasil rancangan final mesin RDF <i>steam boiler</i>	V-1

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Data Riwayat Hidup Penulis
- Lampiran 2** Data Pendukung dan Pemilihan Konsep
- Lampiran 3** Perancangan, Perhitungan, dan Komponen standar
- Lampiran 4** Hasil Rancangan dan Gambar Kerja

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

RDF	=	<i>Refused Derived Fuel</i>
EBT	=	Energi Baru Terbarukan
ASTM	=	<i>American Standard Testing and Materials</i>
UMKM	=	Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah
kWH	=	Kilo-watt Hours
CAD	=	Computer Aided Design
DBB	=	Diagram Benda Bebas
MAWP	=	<i>Maximum Allowable Working Pressure</i>
ASME	=	<i>American Society Mechanical Engineers</i>
3D	=	3 Dimensi
HHV	=	<i>Higher Heating Value</i>
LHV	=	<i>Lower Heating Value</i>
FEM	=	<i>Finite Element Methods</i>

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

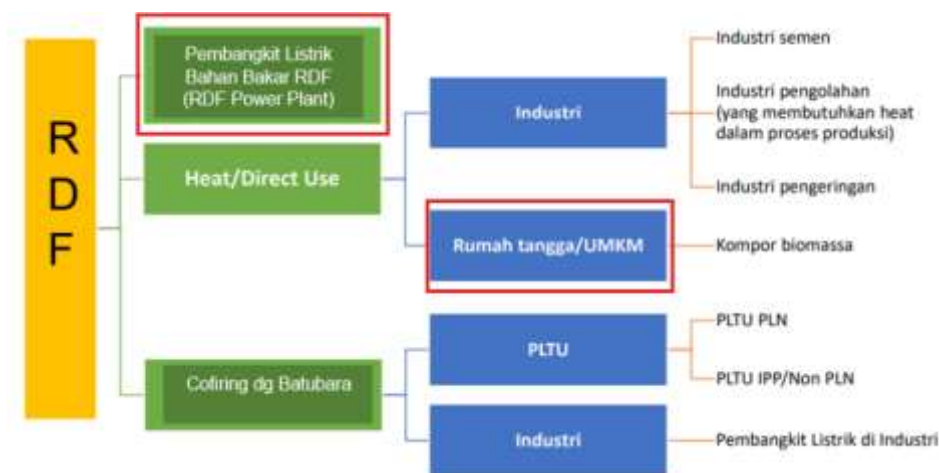
Beberapa tahun terakhir, permasalahan sampah di Kota Bandung masih menjadi isu lingkungan yang masih belum terselesaikan. Timbulan sampah terlihat menumpuk di berbagai sudut kota. Timbulan sampah ini menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, seperti merusak pandangan, tempat berkembang biaknya hama, menghasilkan bau yang tidak sedap, hingga mencememari air dan tanah [1]. Sampah yang tidak dikelola dengan baik juga dapat berdampak buruk pada kesehatan masyarakat, mulai dari sesak nafas, pneumonia, terganggunya siklus haid pada perempuan, gangguan pernafasan akibat bau yang tidak sedap, hingga mengancam kesehatan reproduksi pada perempuan [2].

Salah satu faktor penyebab permasalahan sampah di Kota Bandung ini adalah pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin pesat. Pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat dapat menyebabkan peningkatan jumlah volume sampah yang dihasilkan sehingga timbulan sampah akan terlihat di berbagai sudut kota karena tidak tertampungnya sampah tersebut di Tempat Penampungan Sementara (TPS) atau Tempat Penampungan Akhir (TPA) [3]. Jumlah timbulan sampah di Kota Bandung pada tahun 2023 mencapai 503.627,36 ton. Angka ini menjadikan Kota Bandung menduduki peringkat ketiga dengan jumlah timbulan sampah terbanyak setelah Kabupaten Bekasi sebesar 809.935ton dan Kota Bekasi sebesar 637.778,59 ton.

Pemerintah Kota Bandung telah melakukan berbagai upaya dalam mengatasi permasalahan sampah ini. Pemerintah melakukan upaya-upaya dalam permasalahan sampah di berbagai Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) dengan berbagai metode. Metode yang pertama yaitu dengan metode tungku bakar (*incinerator*). *Incinerator* adalah metode untuk menghancurkan sampah baik organik maupun anorganik dengan cara dibakar dalam suatu sistem yang dapat dikontrol dan terisolir dari lingkungan sekitarnya [4]. Metode yang kedua yaitu mengolah sampah menjadi bentuk *Refuse Derived Fuel* (RDF). RDF umumnya merupakan sampah anorganik yang dihancurkan menjadi ukuran yang seragam sekitar 2—10 mm, kemudian dikeringkan untuk mengurangi kadar airnya hingga dibawah 25% [5]. Selanjutnya,

RDF ini akan dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil untuk berbagai industri, seperti batu-bara atau gas alam [6].

Saat ini, pemanfaatan bahan bakar RDF di Indonesia masih belum masif. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) pada tahun 2021 telah melakukan identifikasi potensi RDF sebagai substitusi bahan bakar industri pengguna batubara dan industri pengguna bahan bakar padat lainnya, seperti industri semen. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) memperkirakan potensi pemanfaatan RDF oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) mencapai 8000 ton/hari, sedangkan untuk industri semen berpotensi mencapai nilai 3000 ton/hari [7]. RDF digunakan sebagai *co-firing* batubara di PLTU. *Co-firing* merupakan proses penambahan biomassa dan bahan bakar alternatif (termasuk RDF) sebagai bahan bakar parsial ke dalam *boiler* batubara. Anak perusahaan PLN PT Pembangkit Jawa-Bali (PJB) dan PT PLN Indonesia Power telah melakukan pemanfaatan RDF sebagai *Co-firing* dengan kapasitas terbesarnya di PLTU Paiton 9 sebesar 660 MW. Selain itu, potensi RDF ini juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber Energi Baru Terbarukan (EBT). Berikut adalah skema industri yang berpotensi untuk memanfaatkan RDF di Indonesia ditunjukkan pada gambar I. 1.



Gambar I.1 Industri yang berpotensi memanfaatkan RDF¹

Energi Baru Terbarukan (EBT) merupakan salah satu pengelolaan energi dari proses alam yang berkelanjutan serta dapat dijadikan sebagai energi alternatif sehingga berkontribusi dalam mengatasi pemanasan global dan mengurangi emisi

¹ Sumber: Report Analisis off-taker RDF 2023 Kementerian PPN

karbondioksida [8]. Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan (EBT) yang sangat besar, yakni mencapai lebih dari 443 GW. Menurut Prisma Megantoro, S.T., dosen Departemen Teknologi Maju dan Kajian Interdisipliner Universitas Airlangga, Indonesia memiliki lima sumber energi terbarukan utama dan satu sumber energi terbarukan sampingan, yaitu energi surya, energi air, energi angin (*wind*), energi limbah biomassa, pembangkit listrik tenaga mikrohidro, dan pembangkit listrik tenaga sampah [9]. Akhir-akhir ini, Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) terus dikembangkan guna memenuhi Energi Baru Terbarukan Nasional (EBTN), mengurangi penumpukan sampah, serta mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan listrik.

Prinsip teknologi pengolahan sampah menjadi energi listrik relatif sederhana. Pertama, sampah dibakar sehingga menghasilkan energi panas (proses konversi termal). Kedua, energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran dimanfaatkan untuk mengubah air menjadi uap dengan bantuan *boiler*. Ketiga, uap yang dihasilkan memiliki tekanan yang tinggi sehingga dapat digunakan untuk memutar bilah turbin. Keempat, turbin dihubungkan ke generator dengan bantuan poros. Terakhir, generator tersebut menghasilkan listrik, kemudian listrik tersebut dapat dialirkan ke rumah-rumah atau industri [10]. Dari proses pengolahan sampah menjadi energi listrik, *boiler* memiliki peranan yang cukup penting.

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah rancangan *steam boiler*. *Steam boiler* adalah sebuah bejana tertutup yang didalamnya berisi air kemudian air tersebut dipanaskan sehingga dapat menghasilkan uap atau *steam*. *Steam* dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. *Steam turbine generator* dapat mengubah uap menjadi energi listrik kemudian listrik ini dapat digunakan untuk berbagai tujuan di industri. Bahan bakar *steam boiler* umumnya menggunakan gas atau diesel (solar). Namun, *steam boiler* yang akan dirancang rencananya akan menggunakan bahan bakar *Refuse Derived Fuel* (RDF). Seperti yang terlihat pada gambar I. 1, Alat ini rencananya akan digunakan oleh para pelaku UMKM sehingga alat yang akan dirancang memiliki kapasitas yang kecil hingga menengah.

Perancangan *steam boiler* dengan bahan bakar RDF ini merupakan Langkah awal dalam kajian yang lebih mendalam mengenai perancangan *steam boiler* berbahan

bakar RDF. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan konsep dasar serta merancang *steam boiler* yang efisien dan ramah lingkungan. Sebagai penelitian awal, hasil dari rancangan ini diharapkan dapat memberikan gambaran teknis mengenai potensi dalam penggunaan RDF untuk kebutuhan energi pada sektor industri, khususnya bagi UMKM.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan diangkat penulis dalam dalam Perancangan *Boiler* Dengan Bahan Bakar RDF Skala UMKM adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan konstruksi *steam boiler* dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel* (RDF)?
2. Bagaimana analisa perhitungan kekuatan *steam boiler* sesuai dengan kapasitas, *steam temperature*, dan *steam pressure*?

I.3 Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini, Batasan masalah yang difokuskan dalam Perancangan *Steam Boiler* Dengan Bahan Bakar RDF Skala UMKM adalah sebagai berikut.

1. Rancangan konstruksi *steam boiler* ini hanya melingkupi badan boiler dan superheater. Terkait dengan sistem pemasok bahan bakar RDF, sistem kontrol, sistem *feedwater*, dan sistem output steam ke steam generator tidak dipertimbangkan.
2. Rancangan konstruksi *steam boiler* dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel* (RDF) tidak mempertimbangkan *treatment* terhadap *output* gas emisi yang terbuang.
3. Analisa perhitungan manual dilakukan pada badan boiler saja.
4. Analisa menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dilakukan pada bagian yang dianggap kritis.
5. Pasokan dan pembakaran bahan bakar diasumsikan secara kontinu.
6. Perancangan dilakukan pada kondisi tunak (*steady state*).

I.4 Tujuan

Adapun tujuan Perancangan *Steam Boiler* Dengan Bahan Bakar RDF Skala UMKM adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan rancangan konstruksi *steam boiler* dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel* (RDF).
2. Menghasilkan analisa perhitungan kekuatan *steam boiler* sesuai dengan kapasitas, *steam temperature*, dan *steam pressure*.

I.5 Manfaat

Adapun manfaat Perancangan *Boiler* Dengan Bahan Bakar RDF Skala UMKM adalah sebagai berikut.

1. Menjadi penelitian awal untuk kajian perancangan *steam boiler* berbahan bakar *Refuse Derived Fuel* (RDF) Skala UMKM.
2. Menjadi inisiasi awal untuk solusi permasalahan sampah dan memenuhi kebutuhan Energi Baru Terbarukan Nasional.

I.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir (TA) ini terdiri dari lima bab, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. BAB I PENDAHULUAN, bagian ini berisi latar belakang masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat, dan sistematika penulisan.
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA, bagian ini berisi uraian berbagai teori yang disusun secara sistematis untuk memecahkan masalah dalam menganalisis data.
3. BAB III PROSES PERANCANGAN, bagian ini berisi uraian secara rinci tentang metode dan Langkah-langkah penyelesaian masalah dalam penelitian Tugas Akhir (TA) melalui proses perancangan, seperti penjelasan mengenai daftar tuntutan, konsep perancangan, pemilihan alternatif konsep, serta perancangan terhadap setiap fungsi.
4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, bagian ini berisi kajian dari lebih lanjut dari proses perancangan yang dilakukan termasuk perhitungan, desain, dan analisis kinerja.
5. BAB V PENUTUP, bagian ini berisi kesimpulan dari penelitian dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.