

**PENINGKATAN KINERJA MESIN PEMBUAT PELET KAYU
(*PELLETIZING*) MELALUI PENYEMATAN *THERMAL* DAN
DUAL LAYER PADA *DIE***

Tugas Akhir

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

Oleh

Thoriq Hidayat

221411047



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MANUFAKTUR
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

PENINGKATAN KINERJA MESIN PEMBUAT PELET KAYU (PELLETIZING) MELALUI PENYEMATAN *THERMAL* DAN *DUAL LAYER* PADA *DIE*

Oleh:

Thoriq Hidayat

221411047

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

Bandung, 04 Juli 2025

Disetujui,

Pembimbing I,

Dr. Herman Budi Haria,

S.T.,M.T.,IPM

NIP.197902022008101001

Pembimbing II,

Dhion Khairul Nugraha,

S.T.,M.T.,

NIP.199003102022031002

Pembimbing III,

Novi Saksono Brodjo

Muhadi, S.T.,M.T.,

NIP.196711251992031002

Disahkan,

Penguji II,

Dr. Heri Setiawan,

ST.,MT

NIP.196707011992031001

Penguji III,

Nandang Rusmana,

ST.,MT

NIP.197206181998031003

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

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

Nama : Thoriq Hidayat
NIM : 221411047
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Peningkatan kinerja mesin pembuat pelet kayu
(*Pelletizing*) melalui penyematan *thermal* dan
dual layer pada *die*

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya 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 memublikasikan 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 : 27 – 02 – 2025
Yang Menyatakan,



Thoriq Hidayat
221411047

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Thoriq Hidayat
NIM : 221411047
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Peningkatan kinerja mesin pembuat pelet kayu
(*Pelletizing*) melalui penyematan *thermal* dan
dual layer pada *die*

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 simbol 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 yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 27 – 02 – 2025
Yang Menyatakan,



Thoriq Hidayat
221411247

MOTO PRIBADI

"Even the smallest person can change the course of the future."

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembahyan yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “ Peningkatan kinerja mesin pembuat pelet kayu (*Pelletizing*) melalui penyematan *thermal* dan *dual layer* pada *die*”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Kepada yang saya cintai dan sayangi kedua Orang Tua penulis Ibu Netti dan Bapak Yosimal yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, hingga pengorbanannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya.
2. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Darma Firmansyah U., S.ST.,M.T.
3. Ketua Jurusan Teknik Manufaktur, Bapak Dr. Herman Budi Harja, S.T.,M.T.,IPM
4. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Bapak Dr. Heri Setiawan, S.T.,M.T.

5. Para Pembimbing tugas akhir Bapak Dr. Herman Budi Harja, S.T.,M.T.,IPM, Bapak Dhion Khairul Nugraha, S.T.,M.T., dan Bapak Novi Saksono Brodjo Muhadi, S.T.,M.T.
6. Para Penguji sidang tugas akhir
7. Panitia tugas akhir jenjang studi Diploma IV Jurusan Teknik Manufaktur.
8. Untuk kakak,om dan tante saya yang telah memberikan dukungan penuh kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya.
9. Kepada teman-teman kelas 4MEE yang telah menjadi bagian dari perjalanan ini dan penulis anggap seperti keluarga.
10. Kepada rekan rekan satu tim peningkatan kinerja mesin pembuat pelet Ryan Haryo Y dan Muhammad Gursida Adi Purnama
11. Tidak lupa, saya mengucapkan terima kasih kepada diri saya sendiri yang telah berjuang, bertahan, dan tidak menyerah di tengah tantangan yang datang silih berganti selama proses ini berlangsung.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 27 Februari 2025

Penulis



Thoriq Hidayat

221411047

ABSTRAK

Pelet kayu merupakan bahan bakar padat berbasis biomassa yang diproses melalui teknik pemadatan serbuk kayu, dan banyak digunakan sebagai sumber energi terbarukan karena sifatnya yang ramah lingkungan serta efisien dalam penyimpanan dan transportasi. Namun, proses pembuatan pelet berkualitas masih menghadapi tantangan, khususnya pada mesin pelet kayu di UGM, di mana ditemukan kelemahan berupa hasil pelet yang tidak seragam serta membutuhkan waktu yang relatif lama untuk mencapai suhu optimal proses, yaitu minimal 100 °C yang diperlukan dalam proses *pelletizing* kayu sengon. Kondisi tersebut menyebabkan tingginya konsumsi energi serta kebutuhan gaya tekan yang besar, mengingat proses kompaksi kayu sengon secara teoritis memerlukan tekanan sebesar 30–100 MPa, sehingga kualitas pelet yang dihasilkan menjadi kurang konsisten., serta kualitas pelet yang tidak konsisten. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain *dual-layer die* pada mesin pelet kayu yang mampu mendistribusikan tekanan secara bertahap serta menurunkan gaya kompaksi. Proses perancangan dilakukan menggunakan pendekatan sistematis berdasarkan metode detail desain, yang terdiri dari tahap analisis kebutuhan, pengembangan konsep, perancangan teknis, hingga penyelesaian produk. Untuk mendukung efisiensi proses, sistem pemanas induksi juga dirancang sebagai bagian terintegrasi, dengan simulasi termal menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen. Hasil akhir dari penelitian ini adalah rancangan sistem *die* dua lapis dan pemanas induksi yang mampu meningkatkan efisiensi proses kompaksi biomassa, menurunkan tekanan yang dibutuhkan, dan menjadi dasar pengembangan lebih lanjut menuju proses peletisasi yang lebih efisien dan terstandarisasi.

Kata kunci: pelet kayu, mesin pelet, *dual layer die*, detail desain, tekanan kompaksi

ABSTRACT

Wood pellets are solid biomass fuels produced through the densification of wood particles and are widely used as renewable energy sources due to their environmental friendliness and efficiency in storage and transportation. However, the production of high-quality wood pellets still faces challenges, particularly on the wood pellet machine at UGM, where non uniform pellet quality and relatively long heating time to reach the optimal process temperature namely a minimum of 100 °C required for the pelletizing of sengon wood have been identified. These conditions result in high energy consumption and excessive compaction force requirements, considering that the compaction process of sengon wood theoretically requires a pressure in the range of 30–100 MPa, leading to inconsistent pellet quality. This study aims to develop a dual-layer die design for a wood pellet machine that is capable of distributing compaction pressure gradually while reducing the required compaction force. The design process is carried out using a systematic approach based on the detail design method, which includes the stages of requirement analysis, concept development, technical design, and product finalization. To support process efficiency, an induction heating system is also designed as an integrated component, accompanied by thermal simulation using finite element-based software. The final outcome of this study is a dual-layer die and induction heating system design that has the potential to improve biomass compaction efficiency, reduce the required pressure, and serve as a foundation for further development toward a more efficient and standardized pelletizing process.

Keywords: wood pellet, pellet machine, dual-layer die, detail design, compaction pressure

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvii
I BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-3
I.3 Batasan Masalah.....	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat	I-3
I.5 Sistematika Penulisan	I-4
II BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori.....	II-1
II.1.1 Pelet Kayu (<i>Wood Pelet</i>) Sebagai <i>Biomassa</i>	II-1
II.1.2 Proses <i>Pelletizing</i>	II-3
II.1.3 Prinsip Kerja Mesin Pelet Kayu.....	II-6
II.1.4 Jenis Mesin Pelet Kayu (<i>Wood Pelletizing</i>).....	II-7

II.1.5	<i>Flat Die</i> Pada Mesin Pelet Kayu	II-9
II.1.6	Sifat Fisis dan Mekanis Kayu Sengon	II-10
II.1.7	Kompaksi pada proses peletisasi.....	II-12
II.1.8	<i>Compression ratio</i>	II-15
II.1.9	<i>Countersink</i> pada lubang.....	II-17
II.1.10	Fitur Tirus pada Lubang <i>Die</i>	II-18
II.1.11	Modifikasi <i>Flat Die</i> : <i>Dual layer Die</i>	II-21
II.1.12	Verifikasi Keberfungsian <i>Dual Layer Die</i>	II-23
II.1.13	Penyematan <i>Thermal</i>	II-24
II.1.14	Lignin pada kayu.....	II-25
II.1.15	Induksi Sebagai Sistem Pemanas	II-26
II.1.16	Cara Kerja Pemanas Induksi	II-26
II.1.17	Arus <i>Eddy (Eddy Current)</i>	II-27
II.1.18	Perhitungan Daya Panas (<i>Heat Power</i>).....	II-28
II.1.19	Konduksi dari <i>die</i> ke material kayu	II-30
II.1.20	Material ST60 sebagai Bahan Uji Pemanas Induksi	II-32
II.1.21	SKD11 sebagai Material <i>Die Dual Layer</i>	II-33
II.1.22	Modul ZVS Sebagai Rangkaian Pemanas Induksi.....	II-34
II.2	Tinjauan Alat.....	II-35
II.2.1	<i>SolidWork</i>	II-35
II.2.2	Master CAM	II-36
II.2.3	<i>Coordinate Measuring Machine (CMM)</i>	II-36
II.3	Studi Penelitian Terdahulu	II-37
III	BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	III-1
III.1	Metodologi Penelitian	III-4
III.2	<i>Conceptual Design</i>	III-4

III.2.1	<i>Define Problem</i>	III-5
III.2.2	<i>Gathering Information</i>	III-5
III.2.3	<i>Concept Generation</i>	III-7
III.2.4	<i>Evaluation of Concepts</i>	III-9
III.3	<i>Embodiment Design</i>	III-11
III.3.1	<i>Product architecture</i>	III-11
III.3.2	<i>Configuration design</i>	III-12
III.3.3	<i>Parametic Design</i>	III-14
III.4	<i>Detail Design</i>	III-15
III.5	Ulasan biaya	III-15
IV	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1	Hasil Perancangan Sistem	IV-1
IV.1.1	<i>Flat Die</i> Mesin Pelet UGM.....	IV-1
IV.1.2	Variasi <i>Dual layer Flat Die</i>	IV-3
IV.1.3	Perhitungan sudut kemiringan tirus	IV-3
IV.1.4	Perhitungan <i>Compression ratio</i>	IV-5
IV.1.5	Perhitungan Tekanan Kompaksi (<i>Compaction Pressure</i>).....	IV-7
IV.1.6	Pola pada <i>die</i>	IV-18
IV.1.7	Analisis Temperatur Minimum Die	IV-20
IV.1.8	Perhitungan Daya Pemanas Induksi.....	IV-21
IV.1.9	Perhitungan Sistem Pemanas Induksi	IV-22
IV.1.10	Skema Sistem Pemanas Induksi.....	IV-24
IV.1.11	Desain <i>Pancake Coil</i>	IV-25
IV.2	Proses Fabrikasi dan Perakitan.....	IV-27
IV.2.1	Proses <i>Machining Die</i>	IV-27
IV.2.2	Hasil Pembuatan.....	IV-34

IV.2.3	Verifikasi Keberfungsian <i>Dual Layer Die</i>	IV-35
IV.2.4	QC (<i>Quality Control</i>)	IV-36
IV.2.5	Pengujian <i>Die</i> pada Mesin Pelet Kayu.....	IV-37
IV.2.6	Perakitan Sistem Pemanas	IV-40
IV.2.7	Pengujian Sistem Pemanas induksi.....	IV-42
V	BAB V PENUTUP	V-1
V.1	Kesimpulan	V-1
V.2	Saran.....	V-2
	DAFTAR PUSTAKA	ii
	LAMPIRAN	vi

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Standarisasi pelet.....	II-3
Tabel II. 2 Perbandingan kayu sengon dan kayu pinus.....	II-11
Tabel II. 3 Parameter koefisien gesek dan <i>PNO</i> kayu jenis Beech dan Pinus...	II-12
Tabel II. 4 Studi Penelitian Terdahulu	II-37
Tabel III. 1 Penjelasan diagram alir	III-2
Tabel III. 2 RAB sistem pemanas induksi	III-16
Tabel III. 3 RAB <i>Raw material die</i>	III-17
Tabel IV. 1 Data hasil perhitungan gaya kompaksi	IV-16
Tabel IV. 2 Hasil <i>Quality Control</i>	IV-37
Tabel IV. 3 Data hasil pengujian sistem pemanas	IV-46

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Pelet Kayu[4].	II-2
Gambar II. 2 Tahapan pembuatan pelet[8].	II-4
Gambar II. 3 Skema proses <i>pelletizing</i> [8].	II-5
Gambar II. 4 Prinsip kerja mesin pellet kayu.	II-7
Gambar II. 5 Mesin pelet dengan <i>ring die</i> [5].	II-8
Gambar II. 6 Mesin pelet dengan <i>flat die</i> [5].	II-9
Gambar II. 7 <i>Flat die</i> mesin pelet kayu[4].	II-10
Gambar II. 8 Kayu sengon (<i>albazia chinensis</i>)[12].	II-11
Gambar II. 9 Ilustrasi gaya yang bekerja di dalam saluran tekan[15].	II-13
Gambar II. 10 <i>Compression ratio</i> pada saluran tekan <i>flat die</i> [11].	II-16
Gambar II. 11 <i>Densification cone</i> dan <i>densification channel</i> pada desain lubang tirus saluran tekan <i>die</i> [21].	II-20
Gambar II. 12 Ilustasi cara kerja pemanas induksi[27].	II-27
Gambar II. 13 <i>Eddy current</i> (arus <i>eddy</i>)[26].	II-28
Gambar II. 14 Material ST 60 (<i>Raw Material Flat Die</i>)	II-33
Gambar II. 15 Material SKD 11 (<i>Raw Material Flat Die</i>)	II-34
Gambar III. 1 Diagram alir.	III-1
Gambar III. 2 Metodologi perancangan detail design.	III-4
Gambar III. 3 Diagram alur fungsi mesin pellet kayu	III-8
Gambar III. 4 Sketsa awal desain <i>dual layer die</i> dan lubang tirus.	III-8
Gambar III. 5 Sketsa desain <i>pancake coil</i> .	III-9
Gambar IV. 1 Lintasan putar roller	IV-18
Gambar IV. 2 Pola lubang pada <i>flat die</i>	IV-19
Gambar IV. 3 Properties <i>die single layer</i> ST60 pada software SOLIDWORK.	IV-21
Gambar IV. 4 Skema sistem pemanas induksi pada <i>flat die</i>	IV-24
Gambar IV. 5 <i>Pancake coil</i> dengan material kawat tembaga	IV-26
Gambar IV. 6 Pipa tembaga	IV-26
Gambar IV. 7 Proses <i>Faching</i> permukaan di mesin CNC Plano mill.	IV-28
Gambar IV. 8 Proses <i>contour milling</i>	IV-29

Gambar IV. 9 Proses gerinda datar	IV-29
Gambar IV. 10 Proses pengeboran lubang di mesin CNC Plano mill	IV-30
Gambar IV. 11 <i>Single layer flat die</i>	IV-34
Gambar IV. 12 <i>Die layer</i> atas lubang Ø10.....	IV-34
Gambar IV. 13 <i>Die layer</i> bawah lubang Ø10-Ø9	IV-34
Gambar IV. 14 <i>Die layer</i> bawah lubang Ø10-Ø8	IV-35
Gambar IV. 15 <i>Die dual layer</i>	IV-35
Gambar IV. 16 Tampak atas <i>die dual layer</i>	IV-35
Gambar IV. 17 Dual layer die pada mesin pelet kayu UGM.....	IV-38
Gambar IV. 18 Pengecekan suhu pada die.....	IV-38
Gambar IV. 19 Pelet yang dihasilkan dengan menggunakan <i>dual layer die</i> ...	IV-39
Gambar IV. 20 Perakitan mosfet dan komponen lainnya pada PCB	IV-41
Gambar IV. 21 Gambar rangkaian yang sudah terpasang pada PCB	IV-41
Gambar IV. 22 Kondisi awal pengujian.....	IV-43
Gambar IV. 23 Hasil pengujian pada waktu 03:00 menit.....	IV-43
Gambar IV. 24 Hasil pengujian pada waktu 07:00 menit.....	IV-44
Gambar IV. 25 Hasil pengujian pada waktu 09:30 menit.....	IV-44
Gambar IV. 26 Hasil pengujian pada waktu 11:20 menit.....	IV-45
Gambar IV. 27 Pengukuran suhu menggunakan <i>thermal camera</i>	IV-45

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1** *Drafting single layer die*
- LAMPIRAN 2** *Drafting dual layer die*
- LAMPIRAN 3** *Drafting Pancake Coil*
- LAMPIRAN 4** *Flat die mesin pelet kayu UGM*
- LAMPIRAN 5** Rangkaian sistem pemanas induksi
- LAMPIRAN 6** Hasil *quality control*
- LAMPIRAN 7** Dokumentasi *Quality Control*

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

P_x	= Tekanan kompaksi pada posisi x di dalam saluran tekan <i>die</i>
P_{N0}	= Tekanan awal saat material memasuki <i>inlet die</i> (tekanan awal kompaksi)
ν_{LR}	= <i>Poisson's ratio</i> yang menyatakan rasio antara regangan longitudinal terhadap regangan radial pada material kayu
μ	= Koefisien gesek antara bahan dan dinding <i>die</i>
e	= Bilangan <i>Euler</i> (2.71828)
x/r	= Panjang saluran tekan/Radius lubang
P_x	= Tekanan lokal pada jarak x dari <i>inlet</i>
P_p	= Tekanan peletisasi total pada titik keluaran
D	= Diameter awal saluran tekan (<i>inlet</i>)
x	= Jarak dari titik masuk ke posisi yang dihitung
β	= Sudut kerucut saluran tekan (cone angle)
μ	= Koefisien gesek antara material dan dinding
n	= Faktor eksponensial yang menentukan laju pertambahan tekanan
k	= Rasio tegangan aksial terhadap radial
P	= Daya panas (Watt)
Q	= Energi panas (Joule)
m	= Massa benda kerja (kg)
c	= Kapasitas panas jenis material (J/kg·K)
ΔT	= Perubahan suhu (K atau °C)
t	= Waktu pemanasan (detik)
ρ	= Densitas pelet (g/cm ³)
m	= Massa pelet (gram)
V	= Volume pelet (cm ³)
$T(x, t)$	= Suhu pada kedalaman x dan waktu t (°C)
T_s	= Suhu permukaan logam (°C)
T_i	= Suhu awal kayu (°C)
erf	= Fungsi error
α	= Difusivitas termal (m ² /s)

x	= Kedalaman dari permukaan (m)
t	= Waktu pemanasan (s)
k	= Konduktivitas termal (W/m·K)
ρ	= Densitas bahan (kg/m ³)
C_p	= Kapasitas panas jenis (J/kg·K)
ε	= GGL (V)
N	= Jumlah lilitan
Φ	= Fluks magnetik (Wb)
A	= Luas penampang yang dialiri fluks (m ²)
B	= Induksi magnetik (T)
μ_0	= Permeabilitas vakum = $4\pi \times 10^{-7}$ H/m
N	= Jumlah lilitan
I	= Arus (A)
R	= Radius kumparan (m)
P_e	= Daya hilang akibat arus eddy (W)
k_e	= Konstanta material (untuk baja, sekitar 0,50{,}50,5)
B	= Induksi magnetik (T)
f	= Frekuensi (Hz)
t	= Ketebalan material (m)
V	= Volume logam (m ³)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Ketergantungan Indonesia terhadap energi fosil masih tergolong tinggi, sementara cadangan energi tak terbarukan semakin menipis dan berdampak buruk terhadap lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah mendorong pemanfaatan energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, salah satunya adalah energi *biomassa*. *Biomassa* merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari material organik berlignoselulosa, seperti limbah pertanian, limbah kehutanan, dan limbah industri kayu. Energi ini dapat dimanfaatkan secara langsung maupun melalui proses pengolahan, seperti dikonversi menjadi pelet kayu.

Pelet kayu umumnya dihasilkan dari limbah seperti serbuk gergaji atau limbah veneer. Dibandingkan dengan briket *biomassa*, biopelet memiliki ukuran yang lebih kecil, densitas yang lebih tinggi, serta keseragaman bentuk yang lebih baik. Namun, agar pelet kayu dapat digunakan secara luas, kualitas produk harus memenuhi standar mutu, salah satunya adalah SNI 8951, yang mengatur spesifikasi teknis terkait densitas, kadar air, kekuatan tekan, dan durabilitas pellet [2].

Untuk memenuhi standar tersebut, dibutuhkan mesin *pelletizing* yang mampu bekerja secara efisien dan menghasilkan pelet berkualitas. Salah satu inovasi yang telah dikembangkan oleh Sekolah Vokasi UGM adalah mesin pembuat pelet berbasis *flat die*. Namun demikian, mesin tersebut masih memiliki keterbatasan, terutama pada desain konstruksi *die* yang masih menggunakan konfigurasi satu *layer*, yang menyebabkan tekanan kompaksi kurang merata dan kualitas pelet belum sepenuhnya memenuhi standar SNI.

Permasalahan utama tersebut mendorong perlunya rekayasa ulang pada desain *die*. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah penerapan desain *dual layer die*, yaitu penambahan satu lapisan *die* dengan ukuran lubang berbeda untuk meningkatkan proses kompaksi dan densitas pelet. Konfigurasi ini diharapkan mampu menghasilkan tekanan bertahap yang lebih merata dan efisien dalam proses *pelletizing*.

Selain dari sisi mekanis, proses pemanasan pada *die* juga memiliki peran penting dalam menentukan keberhasilan proses *pelletizing*. Saat ini, proses pemanasan pada

mesin pelet kayu masih mengandalkan panas gesek antara roller dan die selama mesin beroperasi. Mekanisme ini bertujuan untuk meningkatkan suhu material hingga lignin yang terkandung dalam kayu melunak dan keluar, sehingga dapat berfungsi sebagai perekat alami antar partikel biomassa. Namun, metode pemanasan berbasis gesekan tersebut cenderung kurang efisien, membutuhkan waktu pemanasan yang relatif lama, serta berpotensi mempercepat keausan komponen mesin akibat kontak mekanis yang terus-menerus.

Lignin mulai melunak dan berperan efektif sebagai perekat alami pada suhu proses minimal sekitar 100 °C, sehingga pengendalian suhu pada *die* menjadi aspek krusial dalam menghasilkan pelet dengan kualitas yang baik dan konsisten. Oleh karena itu, diperlukan inovasi berupa penyematan sistem pemanas langsung (*thermal embedding*) pada bagian *die* agar suhu proses dapat dikendalikan secara lebih presisi dan stabil. Dengan pengendalian suhu yang lebih baik, efisiensi energi dapat ditingkatkan, proses *pelletizing* menjadi lebih konsisten, serta umur pakai komponen mesin dapat diperpanjang.

Selain pengendalian suhu, desain geometri lubang *die* juga berpengaruh signifikan terhadap proses kompaksi. Penggunaan geometri lubang tirus bertujuan untuk mendistribusikan tekanan secara bertahap selama material bergerak dari bagian masuk menuju keluaran *die*. Desain ini membantu mengurangi lonjakan tekanan awal, meningkatkan densifikasi material secara progresif, serta memfasilitasi aliran *lignin* yang telah melunak agar dapat menyelimuti partikel kayu secara lebih merata. Dengan demikian, kombinasi antara penyematan sistem pemanas dan penerapan geometri lubang tirus diharapkan mampu menurunkan kebutuhan gaya kompaksi, meningkatkan kualitas pelet, dan mendukung proses *pelletizing* yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Berdasarkan paparan di atas, maka penelitian yang berjudul “Peningkatan Kinerja Mesin Pembuat Pelet Kayu (*Pelletizing*) Melalui Penyematan *Thermal* dan *Dual layer* pada *Die*” ini bertujuan untuk mengkaji dan mengembangkan desain *die dual layer* guna meningkatkan efisiensi produksi pelet kayu. Diharapkan hasil pelet yang dihasilkan dapat memiliki kualitas yang lebih baik serta sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang memunculkan gagasan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Bagaimana merancang desain *die* tipe *single layer* dan *dual layer* untuk proses *pelletizing* dengan mempertimbangkan kebutuhan kompaksi serta penerapan fitur geometri lubang tirus?
- 2) Bagaimana proses fabrikasi *die* dengan spesifikasi dimensi dan material sesuai rancangan teknis?
- 3) Bagaimana metode verifikasi kesatu sumbu dan gap antar *layer* pada *dual layer die*
- 4) Bagaimana merancang sistem pemanas induksi untuk mendukung proses *pelletizing* dalam memenuhi kebutuhan suhu aktivasi lignin sebagai perekat alami?
- 5) Bagaimana mengevaluasi keberfungsian sistem pemanas terhadap suhu kerja yang ditargetkan?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

- 1) Penggunaan *dual layer die* yang akan dimodifikasi mengacu pada mesin pembuat pelet kayu yang ada di Sekolah Vokasi UGM, Departemen Teknologi Hayati dan Veteriner, Prodi Pengelolaan Hutan.
- 2) Modifikasi yang dilakukan terbatas pada desain *die* dan penyematan *thermal*, yaitu mengubah konfigurasi dari satu *layer* menjadi *dual layer*. Selain itu, penyematan *thermal* hanya diterapkan pada salah satu bagian *die* untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil pelet.
- 3) Penelitian ini mengacu pada serbuk kayu sengon sebagai bahan baku utama yang digunakan
- 4) Rancang bangun sistem pemanas hanya melihat keberhasilan *die* yang dipanaskan hingga temperature 120°C

I.4 Tujuan dan Manfaat

Dari masalah yang telah dipaparkan diatas, penelitian ini bertujuan untuk

- 1) Merancang desain die dengan konfigurasi *single layer* dan *dual layer* untuk proses *pelletizing* serbuk kayu sengon dengan mempertimbangkan kebutuhan kompaksi serta penerapan geometri lubang tirus.
- 2) Membuat prototipe *die* sesuai desain yang telah dirancang, baik untuk konfigurasi satu lapis maupun dua lapis.
- 3) Melakukan verifikasi fungsi *dual layer die*, khususnya dalam hal kesetsumbuan dan keseragaman jarak antar *layer*.
- 4) Merancang dan mengintegrasikan sistem pemanas induksi sebagai pemanas langsung pada *die* guna mencapai dan mempertahankan suhu kerja yang diperlukan untuk aktivasi lignin sebagai perekat alami.
- 5) Menguji keberfungsian sistem pemanas, dengan menilai keberhasilan pemanasan *die* hingga suhu 120 °C dalam rentang waktu 15 menit.

Adapun manfaat yang diharapkan dengan adanya penelitian ini.

- 1) Memberikan solusi teknis dalam meningkatkan efisiensi proses produksi dan kualitas pelet kayu, khususnya melalui modifikasi desain *die* dan penerapan sistem pemanas *thermal*.
- 2) Mendukung tercapainya standar mutu pelet kayu berdasarkan SNI 8951, sehingga produk yang dihasilkan lebih layak digunakan sebagai sumber energi alternatif.
- 3) Berperan dalam pengembangan energi terbarukan, khususnya *biomassa* yang ramah lingkungan dan berpotensi menjadi sumber energi berkelanjutan di masa depan.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi mengenai hasil dari penelitian dan pengujian terkait pelaksanaan tugas akhir yang dibuat.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dari tujuan yang dicapai beserta saran mengenai tugas akhir yang dibuat.