

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH TEMPERATUR *AUTOTHERMAL FAST PYROLYSIS* PADA  
CAMPURAN LIMBAH KAYU DAN *HIGH DENSITY POLYETHYLENE*  
(HDPE) DALAM REAKTOR *CIRCULATING FLUIDIZED-BED***

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan untuk Mencapai Derajat Strata – 1 Prodi  
Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



**Disusun Oleh :**

**DAFFA RACHMAN SYAKHIR LUMBAN TOBING**

**20190130171**

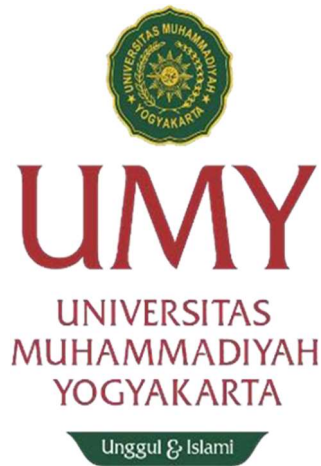
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**2024**

## **TUGAS AKHIR**

### **PENGARUH TEMPERATUR *AUTOTHERMAL FAST PYROLYSIS* PADA CAMPURAN LIMBAH KAYU DAN *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DALAM REAKTOR *CIRCULATING FLUIDIZED-BED***

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan untuk Mencapai Derajat Strata – 1 Prodi  
Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



**Disusun Oleh:**

**DAFFA RACHMAN SYAKIR LUMBAN TOBING**

**20190130171**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
2024**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya, Daffa Rachman S L T , mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan NIM 20190130171, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Pengaruh Temperatur *Autothermal Fast Pyrolysis* pada Campuran Limbah Kayu dan *High Density Polyethylene (HDPE)* dalam Reaktor *Circulating Fluidized-bed***" adalah karya orisinal saya sendiri. Saya menyadari bahwa tindakan plagiat adalah tindakan yang tidak etis dan dapat merugikan orang lain.

Saya menyatakan bahwa semua sumber informasi yang saya gunakan telah saya cantumkan dengan jelas dalam daftar pustaka skripsi ini. Saya memastikan bahwa semua kutipan dan referensi yang saya gunakan telah diakui dengan benar dan saya telah menghindari pengambilan kata-kata, ide, atau karya orang lain tanpa memberikan kredit atau pengakuan yang pantas.

Saya juga memastikan bahwa tidak ada bagian dari skripsi ini yang telah diajukan sebelumnya untuk memenuhi persyaratan akademik di Universitas atau Institusi pendidikan lainnya. Saya memahami bahwa tindakan plagiat dapat mengakibatkan skripsi saya dinyatakan tidak lulus atau bahkan dapat mempengaruhi reputasi Universitas.

Saya menegaskan bahwa saya telah mematuhi semua persyaratan akademik yang ditetapkan oleh Program Studi Teknik Mesin dan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, dan saya bersedia untuk memberikan klarifikasi atau keterangan tambahan terkait skripsi ini jika diminta oleh pihak yang berwenang.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan saya siap menanggung segala konsekuensi yang mungkin timbul jika pernyataan ini terbukti tidak benar.

Yogyakarta, 10 Agustus 2024

  
Daffa Rachman . S

## **MOTTO**

“Dunia hanya sementara, akhirat selamanya”

“Jadikan hari esok lebih baik daripada hari ini”

“Maka nikmat tuhan kamu manakah yang kamu dustakan?”

(Q.S Ar-rahman – 13)

## **PERSEMBAHAN**

Saya persembahkan Tugas Akhir ini untuk orang tua, Ibu Ratu Rinny. Terima kasih atas segala doa yang tidak pernah putus, usaha, perhatian, pengorbanan, kasih sayang, semangat, motivasi, dan dukungan. Terima kasih ku ucapkan kepada Ibu yang selalu berusaha memeberikan yang terbaik untuk saya. Saya persembahkan pula Tugas Akhir ini untuk teman – teman seperjuangan saya yaitu rekan UD.Djaya dan kelompok tugas akhir pirolisis yang selalu sedia membantu saya dikala saya membutuhkan bantuan. Terima kasih atas segala perhatian kecil yang tidak pernah ditunjukkan secara langsung

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyusun skripsi atau tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Temperatur *Autothermal Fast Pyrolysis* pada Campuran Limbah Kayu dan *High Density Polyethylene* (HDPE) dalam Reaktor *Circulating Fluidized-bed*”**. Tugas akhir ini membahas tentang pengolahan sampah dengan memanfaatkan sampah menjadi nilai yang lebih tinggi dengan mengubah limbah berupa biomassa dan plastik HDPE menjadi bahan bakar berupa liquid yang diharapkan dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan dan mengurangi ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil.

Tugas akhir ini dikerjakan guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi strata S-1 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. terselesaikannya tugas akhir ini tak lepas dari dorongan dan bantuan berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada


1. Bapak Ir. Berli Paripurna Kamiel, S.T.,M.Eng.Sc.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
2. Bapak Thoharudin, S.T.,M.T.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terimakasih atas segala arahan, bimbingan, dan kebaikan bapak yang tak terhingga
3. Bapak Dr. Ir. Novi Caroko, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas akhir, terima kasih atas segala arahan dan bimbingan dan kebaikan bapak yang tak terhingga
4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta terimakasih atas segala ilmu yang telah diberikan dan nasehat serta pengalaman selama menjalani di bangku perkuliahan

5. Kepada keluarga besar tercinta, Terimakasih atas segala dukungan dan dorongan serta doa yang diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi atau Tugas akhir dengan baik
6. Teman teman satu kelompok Tugas Akhir penulis yang selalu saling membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
7. Seluruh keluarga besar Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta angkatan 2019 dan seluruh teman-teman seperjuangan yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan mereka dengan melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Semoga Skripsi atau Tugas Akhir ini dapat memberikan sumbangan bagi kemajuan ilmu pengetahuan, bermanfaat bagi pembaca, serta dinilai dihadapan Allah SWT.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 10 Agustus 2024  
Penulis



Daffa Rachman S L T

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERSEMBAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Tinjauan Pustaka .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Landasan Teori.....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Plastik.....	9
2.2.2 Jenis-jenis Plastik.....	10
2.2.3 Biomassa .....	11
2.2.4 Pirolisis .....	12
2.2.5 Jenis-jenis pirolisis.....	13
2.2.6 <i>Autothermal Pyrolysis</i> .....	15
2.2.7 Reaktor pirolisis .....	16
2.2.8 Pirolisis Plastik dan Biomassa .....	22
2.2.9 Reaktor Fluidized Bed .....	22
<b>2.3 Parameter Uji .....</b>	<b>22</b>
2.3.1 <i>Yield</i> (Kuantitas) .....	22
2.3.2 Kandungan Gas .....	23
2.3.3 Nilai Kalor.....	23
2.3.4 Energi Pirolisis dan Energi Proses .....	23



2.3.5	Efisiensi.....	24
<b>2.4</b>	<b>Fluidisasi.....</b>	<b>24</b>
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Bahan.....</b>	<b>27</b>
3.3.1	Plastik <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE).....	27
3.3.2	Biomassa .....	27
<b>3.2</b>	<b>Alat.....</b>	<b>28</b>
3.2.1	Reaktor .....	29
3.2.2	<i>Cyclone</i> .....	29
3.2.3	<i>Hopper</i> .....	29
3.2.4	<i>Screw Feeder</i> .....	30
3.2.5	Kondenser .....	30
3.2.6	<i>Wind Box</i> .....	31
3.2.7	Sambungan dari <i>Cyclone</i> ke Reaktor .....	31
3.2.8	<i>Reservoir</i> .....	32
3.2.9	<i>Flowmeter</i> .....	32
3.2.10	<i>Panel Control</i> .....	32
3.2.11	Motor Listrik.....	34
3.2.12	Mesin Pencacah .....	34
3.2.13	Kompresor.....	35
3.2.14	<i>Digital Scale</i> .....	35
3.2.15	<i>Proportional Integral Derivative Controller</i> .....	35
3.2.16	Pasir <i>Silica</i> .....	36
3.2.17	<i>Wired Power Monitor</i> .....	36
3.2.18	<i>Digital Clamp Meter</i> .....	37
3.2.19	Nitrogen Regulator .....	37
3.2.20	<i>Variable Frequency Drive</i> .....	38
<b>3.3</b>	<b>Metode .....</b>	<b>38</b>
3.3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	38
3.3.2	Diagram Alir .....	39
3.3.3	Proses Penelitian .....	41
3.3.4	Proses Pengolahan Data .....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Kuantitas Hasil Produk .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Dinamika Energi.....</b>	<b>47</b>
4.2.1	Temperatur.....	47

4.2.2	Energi.....	51
4.2.3	Komposisi Gas.....	52
4.2.4	Nilai Kalor.....	53
<b>4.3</b>	<b>Hasil analisis unjuk kerja pada proses pirolisis .....</b>	<b>55</b>
4.3.1	Energi Pirolisis dan Energi Proses .....	55
4.3.2	Efisiensi.....	56
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>57</b>
5.1	<b>Kesimpulan .....</b>	<b>57</b>
5.2	<b>Saran.....</b>	<b>57</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>59</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Dekomposisi (Csukás dkk., 2013).....	9
Gambar 2.2 Polimerisasi Biomassa (Thoharudin dkk., 2020).....	12
Gambar 2.3 Skematik <i>allothermal pyrolysis</i> dan <i>autothermal pyrolysis</i> (Huang dkk., 2020) .....	15
Gambar 2.4 Reaktor <i>fixed moving bed</i> (Senthilkumar & Sankaranarayanan, 2016). .....	17
Gambar 2.5 Reaktor <i>bubbling fluidized bed</i> (Basu, 2013).....	17
Gambar 2.6 Reaktor <i>circulating fluidized bed</i> (Basu, 2013). .....	18
Gambar 2.7 Reaktor <i>ultra-rapid pyrolyzer</i> (Basu, 2013).....	19
Gambar 2.8 Reaktor <i>rotating cone</i> (Basu, 2013). .....	20
Gambar 2.9 Reaktor <i>ablative pyrolyzer</i> (Basu, 2013). .....	20
Gambar 2.10 Reaktor <i>vacuum pyrolyzer</i> (Basu, 2013).....	21
Gambar 3.1 Biji Plastik HDPE .....	27
Gambar 3.2 Kayu Pelet .....	27
Gambar 3.3 <i>Circulating fluidized bed reactor</i> .....	28
Gambar 3.4 Reaktor .....	29
Gambar 3.5 <i>Cyclone</i> .....	29
Gambar 3.6 <i>Hopper</i> .....	30
Gambar 3.7 <i>Screw feeder</i> .....	30
Gambar 3.8 Kondenser .....	31
Gambar 3.9 <i>Wind box</i> .....	31
Gambar 3.10 Sambungan dari <i>cyclone</i> ke reaktor .....	31
Gambar 3.11 Reservoir .....	32
Gambar 3.12 <i>Flowmeter</i> .....	32
Gambar 3.13 <i>Thermoreader</i> dan <i>Thermocouple</i> .....	33
Gambar 3.14 Letak <i>thermocouple</i> .....	33
Gambar 3.15 Motor listrik .....	34
Gambar 3.16 Mesin pencacah.....	34
Gambar 3.17 Kompresor .....	35

Gambar 3.18 <i>Digital scale</i> .....	35
Gambar 3.19 <i>Proportional integral derivative controller</i> .....	36
Gambar 3.20 Pasir silica .....	36
Gambar 3.21 <i>Wired Power Monitor</i> .....	37
Gambar 3.22 <i>Digital Clamp Meter</i> .....	37
Gambar 3.23 Nitrogen Regulator.....	38
Gambar 3.24 <i>Variable Frequency Drive</i> .....	38
Gambar 3. 25 Diagram Alir Penelitian .....	39
Gambar 3. 26 Lanjutan Diagram Alir Penelitian .....	40
Gambar 3.27 Lanjutan Diagram Alir Penelitian .....	41
Gambar 4.1 Produk <i>yield</i> pirolisis.....	47
Gambar 4.2 Grafik (a) Temperatur 400°C, Grafik (b) Temperatur 450°C, Grafik (c) Temperatur 500°C, Grafik (d) Temperatur 550°C, Grafik (e) Temperatur 600°C. ....	49
Gambar 4. 3 Grafik energi yang digunakan.....	51
Gambar 4.4 Grafik komposisi gas .....	52
Gambar 4.5 Nilai kalor produk pirolisis .....	54
Gambar 4.6 Grafik Energi pirolisis dan Energi proses .....	55
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi .....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis-Jenis Plastik .....	11
Tabel 2. 2 Macam-macam pirolisis .....	14
Tabel 4. 1 Rata rata Temperatur.....	50

## DAFTAR NOTASI

HDPE	: <i>High Density Polyethylene</i>
kJ	: Kilojoule
HHV	: <i>Higher Heating Value</i>
kWh	: kiloWatt-hour
<i>hp</i>	: Nilai kalor pirolisis
<i>hpr</i>	: Nilai kalor proses
%	: Persentase
wt	: <i>Weight</i>
g	: Gram
Kg	: Kilogram
°C	: Derajat Celcius
$\eta_{en}$	: Efisiensi Energi
NCG	: <i>Non-Condensable Gas</i>
R	: <i>Char</i>
T	: <i>Thermocouple</i>
CH <sub>4</sub>	: Metana
CO	: <i>Carbon Monoxide</i>
CO <sub>2</sub>	: <i>Carbon Dioxide</i>
H <sub>2</sub>	: Hidrogen