

**PEMODELAN GASIFIKASI LIMBAH TANDAN KOSONG  
KELAPA SAWIT SEBAGAI POTENSI ENERGI BARU  
TERBARUKAN**

**TESIS**

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Dua  
(S-2) sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



**Disusun Oleh :**

**MUHAMMAD FARIZAN PRAEVIA**

**300000421410008**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2023**

## PERSETUJUAN UJIAN TESIS

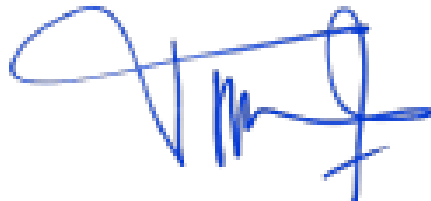
Yang bertanda tangan dibawah ini Dosen Pembimbing dari :

Mahasiswa : Muhammad Farizan Praevia  
NIM : 300000421410008  
Program Studi : Magister Energi  
Judul Tesis : Pemodelan Gasifikasi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Potensi Energi Baru Terbarukan

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah melaksanakan Ujian Proposal, Ujian Kemajuan Tesis dan Ujian Seminar Tesis sehingga menyetujui dan layak untuk melaksanakan Ujian Tesis.

Semarang, 02 Februari 2023

Pembimbing Pertama



Prof. Dr. Widayat, S.T., M.T.  
NIP. 197206091998031001

Pembimbing Kedua



Dr. Dra. Endang Kusdiyantini, DEA.  
NIP. 195911261988102001

### PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh oranglain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 02 Februari 2023



Muhammad Farizhan Praevia  
NIM. 300000421410008

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**TESIS**  
**PEMODELAN GASIFIKASI LIMBAH TANDAN KOSONG**  
**KELAPA SAWIT SEBAGAI POTENSI ENERGI BARU**  
**TERBARUKAN**

Disusun Oleh :  
**MUHAMMAD FARIZAN PRAEVIA**  
**300000421410008**

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji  
Pada tanggal 07 Februari 2023


Tim Penguji

**Pembimbing I**



Prof. Dr. Widayat, S.T., M.T.  
NIP. 197206091998031001

**Penguji I**



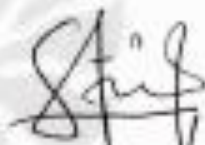
Dr. Sri Widodo Agung Suedy, S.SI., M.SI.  
NIP. 197302012000031001

**Pembimbing II**



Dr. Dra. Endang Kusdiyantini, DEA.  
NIP. 195911261988102001

**Penguji II**



Sutaryo, S.Pt., M.P., Ph.D.  
NIP. 197501312002121002

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Magister Energi

Tanggal 07 Februari 2023

**Dekan Sekolah Pascasarjana**

**Kaprodi Magister Energi**

Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum  
NIP. 196701011991031005

Dr. Ir. Jaka Windarta, MT  
NIP. 196405261989031002

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Farizan Praevia  
NIM : 300000421410008  
Program Studi : Magister Energi  
Sekolah : Program Pascasarjana  
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PEMODELAN GASIFIKASI LIMBAH TANDAN KOSONG  
KELAPA SAWIT SEBAGAI POTENSI ENERGI BARU  
TERBARUKAN**

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Semarang  
Pada tanggal : 02 Februari 2023  
Yang menyatakan



Muhammad Farizan Praevia  
NIM. 300000421410008

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tesis yang berjudul “*Pemodelan Gasifikasi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Potensi Energi Baru Terbarukan*”. Tesis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan proposal tesis ini kepada :

1. Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum selaku Dekan Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
2. Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro;
3. Prof. Dr. Widayat, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pertama atas waktu, tenaga, petunjuk dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis dalam penyusunan laporan tesis;
4. Dr. Endang Kusdiyantini, DEA selaku Dosen Pembimbing Kedua atas waktu, tenaga, petunjuk dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis dalam penyusunan laporan tesis;
5. Bapak dan Ibu Dosen Magister Energi yang telah memberikan pengajaran yang sangat luar biasa kepada penulis selama pembelajaran di kelas;
6. Dan seterusnya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tesis ini, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan. Semoga penulisan laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Semarang, Februari 2023

Muhammad Farizan Praevia

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERSETUJUAN UJIAN TESIS .....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS .....	iv
PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
INTISARI.....	xi
ABSTRACT.....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
1.5. Originalitas Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	10
2.2. Karakteristik Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	11
2.3. Gasifikasi Biomassa .....	13
2.4. Jenis <i>Gasifier</i> .....	15
2.4.1. <i>Fixed-Bed Gasifier</i> .....	16
2.4.2. <i>Fluidized Bed Gasifier</i> .....	16
2.4.3. <i>Entrained Bed Gasifier</i> .....	18
2.5. Pengaruh Kondisi Operasi Gasifikasi .....	20
2.6. Tinjauan Termodinamika Gasifikasi Tandan Kosong .....	22
2.7. Simulasi Gasifikasi dengan ASPEN Plus .....	29
2.7.1. Spesifikasi Flowsheet dalam ASPEN Plus .....	29
2.7.2. Pemilihan Reaktor yang Sesuai.....	30
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Jenis Penelitian.....	36
3.2. Kerangka Pikir Penelitian .....	36
3.3. Ruang Lingkup Penelitian.....	38
3.4. Variabel Penelitian .....	39
3.5. Teknik Pengumpulan Data.....	40
3.6. Teknik Analisa Data.....	40
3.7. Teknik Verifikasi Data Hasil Simulasi .....	42

3.8.	Analisis Teknik Ekonomi.....	42
3.8.1.	Pemilihan Teknologi Gasifikasi.....	43
3.8.2.	Teknik Analisis <i>Capital Budgeting</i> .....	43
3.9.	Perhitungan Potensi Penurunan Emisi .....	45
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1.	Validasi Pemodelan yang Digunakan .....	47
4.2.	Hasil Pemodelan Gasifikasi .....	48
4.3.	Analisa Teknik Ekonomi.....	52
4.3.1.	Analisis Teknik PLT Biomassa.....	52
4.3.2.	Biaya Pendirian dan Operasional PLT Biomassa .....	53
4.3.3.	Analisis Ekonomi .....	54
4.4.	Potensi Penurunan Emisi .....	57
4.4.	Kendala Teknologi Gasifikasi.....	58
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1.	Kesimpulan .....	60
5.2.	Saran.....	60
	DAFTAR PUSTAKA .....	61



## DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu .....	6
Tabel II.1 Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	12
Tabel II.2 Perbandingan Berdasarkan Teknologi Gasifikasi Biomassa.....	19
Tabel II.3 Koefisien a-d tekanan tetap, Entalpi dan Entropi Spesifik.....	25
Tabel III.1 Proses Blok Diagram dari Model Gasifikasi Tandan Kosong .....	39
Tabel III.2 Variabel Penelitian .....	40
Tabel IV.1 Validasi Hasil Simulasi.....	47
Tabel IV.2 Pengaruh Equivalent Ratio (ER) terhadap Komposisi Syn-gas.....	47
Tabel IV.3 Pengaruh Temperatur terhadap Komposisi Syn-gas.....	50
Tabel IV.4 Pengaruh Moisture terhadap Komposisi Syn-gas .....	51
Tabel IV.5 Fixed Capital Cost PLT Biomassa 152 MW .....	53
Tabel IV.6 Operating Cost PLT Biomassa 152 MW .....	54
Tabel IV.7 Pendapatan Produk PLT Biomassa.....	55
Tabel IV.8 Analisis NPV .....	56
Tabel IV.9 Payback Period .....	57
Tabel IV.10 Perbandingan Emisi CO <sub>2</sub> Pembangkit .....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Neraca Massa Pengolahan Kelapa Sawit .....	10
Gambar 2.2. Diagram Ternary C-H-O Proses Gasifikasi .....	14
Gambar 2.3. <i>Fixed-Bed Updraft Gasifier</i> .....	16
Gambar 2.4. <i>Fixed-Bed Downdraft Gasifier</i> .....	17
Gambar 2.5. <i>Fluidized Bed Gasifier</i> .....	17
Gambar 2.6. <i>Entrained Bed Gasifier</i> .....	18
Gambar 2.7. Contoh Diagram Alir Proses .....	30
Gambar 2.8. Analogi Reaktor .....	30
Gambar 3.1. Kerangka Pikir Penelitian.....	37
Gambar 3.2. Diagram Alir Pemodelan Gasifikasi Tandan Kosong .....	38
Gambar 3.3. Diagram Alir Analisis Teknik Ekonomi .....	44
Gambar 4.1. Process Flow Diagram PLT Biomassa.....	52
Gambar 4.2. Net Present Value.....	56

## INTISARI

Provinsi Riau merupakan provinsi dengan tingkat produksi kelapa sawit tertinggi di Indonesia, mencapai 10.270.149 ton dimana terbentang pada lahan 2,895 juta hektar. Limbah tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu produk samping perkebunan dan industri pengolahan yang belum termanfaatkan secara optimal. Tandan kosong kelapa sawit dapat dijadikan sebagai sumber energi baru terbarukan dengan teknologi gasifikasi. Gasifikasi adalah proses termokimia dimana bahan bakar karbon diubah menjadi gas yang mudah terbakar, dikenal sebagai *syn-gas*. Parameter utama gasifikasi disimulasikan dengan menggunakan *software* Aspen Plus, dimana terdiri dari temperatur gasifikasi: 800 °C; *Equivalent Ratio* (ER): 0,2; dan kadar air 30% menghasilkan gas produk dengan nilai kalor sebesar 20.53 MJ/kg. Pemodelan gasifikasi berbahan bakar tandan kosong kelapa sawit cacah mampu menghasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) dengan kapasitas 480 ton tandan kosong per hari. Dimana komposisi *syn-gas* yang dihasilkan terdiri dari gas H<sub>2</sub> 25.78%; CH<sub>4</sub> 8.31%; CO 20.25%; CO<sub>2</sub> 21.62%; H<sub>2</sub>O 16.47%. Pada analisa kelayakan ekonomi, dengan biaya investasi sebesar Rp 2,750,015,292,173 dan suku bunga 15%, biaya investasi dapat dikembalikan pada tahun ke – 3 dengan nilai *Internal Rate Return* (IRR) 47,68%. Pemanfaatan limbah biomassa sebagai pembangkit mampu menghasilkan penurunan emisi sebesar 927.661,77 ton CO<sub>2</sub>/tahun.

**Keywords:** *tandan kosong kelapa sawit, gasifikasi, syn-gas, pembangkit listrik tenaga biomassa*

## **ABSTRACT**

*Riau Province, the highest palm oil production in Indonesia has 10,270,149 tonnes of plantation, in 2.895 million hectares area. Empty fruit bunches (EFB) are one of the by-products of palm oil plantations and refineries that are not utilized massively. The Empty fruit Bunches can be utilized as a new renewable energy source with gasification technology. Gasification is a thermochemical process by which carbon in fuel is converted into a combustible gas, known as syn-gas. Modeling of gasification fueled by shredded empty fruit bunches can produce an electricity capacity of 152 MW. The operation parameters by simulation using Aspen Plus software, consist of gasification temperature: 800 °C; Equivalent Ratio (ER): 0.2; and moisture content: 30% producing syn-gas with a calorific value of 21.87 MJ/kg. The syn-gas consists of H<sub>2</sub> 25.78%; CH<sub>4</sub> 8.31%; CO 20.25%; CO<sub>2</sub> 21.62%; H<sub>2</sub>O 16.47%. By the feasibility analysis, the investment cost of the power plant is IDR 2,750,015,292,173, with an interest rate of 15%, the investment cost can be returned in 3 years with IRR value of 47.68%. The production of biomass waste power plant will reduce the emission by 927.661,77 ton CO<sub>2</sub> per year.*

**Keywords:** *empty fruit bunches, gasification, syn-gas, biomass power plant*