

**SIMULASI PROSES PIROLISIS LIMBAH KELAPA
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ASPEN PLUS**

Tesis

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



Disusun Oleh:

MUHAMMAD SYUKRI HASAN

30000421410014

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

Mei, 2023

PERSETUJUAN UJIAN TESIS


Yang bertanda tangan dibawah ini Dosen Pembimbing dari :

Mahasiswa : Muhammad Syukri Hasan
NIM : 30000421410014
Program Studi : Magister Energi
Judul Tesis : Simulasi Proses Pirolisis Limbah Kelapa menggunakan
Perangkat Lunak Aspen Plus

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

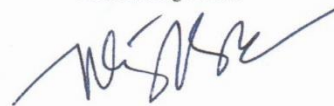
Semarang, 3 Mei 2023

Pembimbing Pertama



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

Pembimbing Kedua



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

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 orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Semarang, 3 Mei 2023

Muhammad Syukri Hasan

NIM. 30000421410014

HALAMAN PENGESAHAN
TESIS

SIMULASI PROSES PIROLISIS LIMBAH KELAPA
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ASPEN PLUS

Disusun Oleh :
MUHAMMAD SYUKRI HASAN
30000421410014

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal 6 Juni 2023

Tim Penguji,

Pembimbing I

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

Penguji I

Dr. Endang Kusdiyantini, DEA
NIP. 195911261988102001

Pembimbing II

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

Penguji II

Marcelinus Christwardana, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 199004152022041001

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister
Tanggal 6 Juni 2023



Dekan Pascasarjana
Universitas Diponegoro

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

Ketua Program Studi
Magister Energi

Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU
NIP. 196405261989031002

**PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Muhammad Syukri Hasan
NIM : 30000421410014
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 :

**SIMULASI PROSES PIROLISIS LIMBAH KELAPA
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ASPEN PLUS**

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 :



MUHAMMAD SYUKRI HASAN
30000421410014

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul yaitu “Simulasi Proses Pirolisis Limbah Kelapa Menggunakan Perangkat Lunak Aspen Plus”. Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Energi di Program Studi Magister Energi, Universitas Diponegoro.

Dalam penulisan tesis, tentunya tidak terlepas dari pihak-pihak yang membantu sehingga penulisan tesis ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, arahan dan saran dalam penyusunan tesis ini yaitu kepada :

1. Prof. Dr. Widayat, ST, MT selaku Dosen Pembimbing Pertama atas waktu, tenaga, sumbangsih ide, ilmu pengetahuan serta kesabarannya selama membimbing penulis dalam penyusunan tesis;
2. Dr. Sri Widodo Agung Suedi, MSI selaku Dosen Pembimbing Kedua atas waktu, tenaga, sumbangsih ide, ilmu pengetahuan serta kesabarannya selama membimbing penulis dalam penyusunan tesis;
3. Bapak/Ibu Dosen dan Staff Magister Energi yang telah memberikan pengajaran dan bantuannya kepada penulis selama proses perkuliahan;
4. Keluarga yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis.
5. Teman - teman Magister Energi yang telah mendukung dan memberikan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata penulis memohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan dan pengembangan tesis ini kearah yang lebih baik. Mudah-mudahan usaha penyusunan tesis ini bermanfaat dan memperoleh ridha dari Allah SWT. Amin

Semarang, 3 Mei 2023

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------------------------------|
| <u>PERSETUJUAN UJIAN TESIS</u> | i |
| <u>PERNYATAAN ORISINALITAS</u> | ii |
| <u>HALAMAN PENGESAHAN</u> | iii |
| <u>PERNYATAAN PERSETUJUAN</u> | iv |
| <u>KATA PENGANTAR</u> | v |
| <u>DAFTAR ISI</u> | vii |
| <u>DAFTAR TABEL</u> | ix |
| <u>DAFTAR GAMBAR</u> | x |
| <u>DAFTAR LAMPIRAN</u> | xi |
| <u>ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN</u> | xii |
| <u>INTISARI</u> | xiii |
| <u>ABSTRACT</u> | xiv |
| <u>BAB I PENDAHULUAN</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 1.1 <u>Latar Belakang</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 1.2 <u>Perumusan Masalah</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 1.3 <u>Tujuan Penelitian</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 1.4 <u>Manfaat Penelitian</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 1.5 <u>Orisinalitas Penelitian</u> | Error! Bookmark not defined. |
| <u>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.1. <u>Biomassa</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.2. <u>Biomassa Limbah Kelapa Sebagai Sumber Energi</u> Error! Bookmark not defined. | defined. |
| 2.3. <u>Analisis Karakteristik Biomassa</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.3.1. <u>Analisis Ultimat</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.3.2. <u>Analisis Proksimat</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.3.3. <u>Analisis Nilai Kalor</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.4. <u>Konversi Energi</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.5. <u>Proses Pirolisis</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.5.1. <u>Pirolisis Lambat</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.5.2. <u>Pirolisis Cepat</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.6. <u>Perangkat Lunak Aspen Plus</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.6.1. <u>Reaktor RYIELD</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 2.6.2. <u>Reaktor RGIBBS</u> | Error! Bookmark not defined. |
| <u>BAB III METODE PENELITIAN</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 3.1. <u>Lokasi Penelitian dan Jadwal Penelitian</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 3.2. <u>Jenis Penelitian</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 3.3. <u>Kerangka Pikir Penelitian</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 3.4. <u>Ruang Lingkup Penelitian</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 3.5. <u>Jenis dan Sumber Data</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 3.6. <u>Teknik Pengumpulan Data</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 3.7. <u>Teknik Analisa Data</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 3.7.1. <u>Pengujian Karakteristik Limbah Kelapa</u> | Error! Bookmark not defined. |
| 3.7.2. <u>Menentukan Variabel Proses</u> | Error! Bookmark not defined. |

| | |
|--|-------------------------------------|
| 3.7.3. Perhitungan nilai kalor | Error! Bookmark not defined. |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | Error! Bookmark not defined. |
| 4.1. Hasil Pengujian Karakteristik Limbah Kelapa | Error! Bookmark not defined. |
| 4.2. Karakteristik Pencampuran Limbah Kelapa..... | Error! Bookmark not defined. |
| 4.3. Validasi Model Simulasi | Error! Bookmark not defined. |
| 4.4. Hasil Simulasi Pirolisis | Error! Bookmark not defined. |
| 4.5. Hasil Perhitungan nilai kalor | Error! Bookmark not defined. |
| BAB V KESIMPULAN | Error! Bookmark not defined. |
| 5.1. Kesimpulan..... | Error! Bookmark not defined. |
| 5.2. Saran | Error! Bookmark not defined. |
| DAFTAR PUSTAKA | Error! Bookmark not defined. |
| LAMPIRAN | 53 |

DAFTAR TABEL

- Tabel 1.1 Hasil Pengujian *Proximate*, *Ultimate* dan Nilai Kalor Tempurung Kelapa dan Cangkang Kelapa Sawit **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 1.2 Ringkasan penelitian sebelumnya..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2.1 Tipe biomassa dan sub-klasifikasinya (Basu, 2010)**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3.1 Tabel pengujian karakteristik limbah kelapa**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3.2 Karakteristik variasi komposisi limbah kelapa**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3.3 Respon simulasi pirolisis terhadap produk bio-arang dan syngas**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3.4 Respon simulasi pirolisis terhadap karakteristik bio-arang**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3.5 Respon simulasi pirolisis terhadap hasil syngas**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3.6 Hasil perhitungan nilai kalor bio-arang . **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.1 Hasil analisis karakteristik limbah kelapa**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.2 Karakteristik pencampuran limbah kelapa**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.3 Validasi Model **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.4 Hasil simulasi pirolisis Aspen Plus terhadap bio-arang dan gas**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.5 Hasil simulasi pirolisis Aspen Plus terhadap karakteristik bio-arang**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.6 Hasil simulasi pirolisis Aspen Plus terhadap konsentrasi gas**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4.7 Hasil perhitungan nilai kalor..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|-------------------------------------|
| <u>Gambar 2.1 Struktur utama biomassa (Basu, 2010)</u> | Error! Bookmark not defined. |
| <u>Gambar 2.2 Limbah kelapa di Kota Ternate</u> | Error! Bookmark not defined. |
| <u>Gambar 2.3 Contoh diagram alir proses</u> | Error! Bookmark not defined. |
| <u>Gambar 2.4 Analogi reaktor</u> | Error! Bookmark not defined. |
| <u>Gambar 3.1 Kerangka kerja penelitian</u> | Error! Bookmark not defined. |
| <u>Gambar 3.2 Diagram pemodelan proses pirolisis</u> .. | Error! Bookmark not defined. |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| LAMPIRAN I ALAT, BAHAN DAN PROSEDUR ANALISIS | 54 |
| I.1. Analisis Kadar Air Lembab..... | 54 |
| I.2. Analisis Kadar Abu | 55 |
| I.3. Analisis Kadar Zat Terbang | 56 |
| I.4. Penentuan Kadar Karbon Padat..... | 58 |
| I.5. Analisis Kadar Sulfur Total..... | 58 |
| I.6. Analisis Kadar Karbon, Hidrogen, Nitrogen Dan Oksigen..... | 60 |
| I.7. Analisis Nilai Kalor..... | 61 |
| LAMPIRAN II TAHAPAN PEMBUATAN SIMULASI PIROLISIS..... | 64 |
| LAMPIRAN III SERTIFIKAT HASIL ANALISIS | 73 |
| III.1. Sertifikat Hasil Analisis Proksimat..... | 73 |
| III.2. Sertifikat Hasil Analisis Ultimat | 75 |
| III.3. Sertifikat Hasil Analisis Nilai Kalor | 77 |

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

1. C_p : Specific heat 4,186 kJ/kg °C
2. Q : Panas yang diserap
3. m : Massa air di dalam bomb calorimeter
4. ΔT : Perbedaan temperature
5. m_{bio} : Massa biomassa
6. n_{io} : Reaktan
7. n_i : Produk
8. Yield : Rendemen
9. K : Konstanta kesetimbangan
10. HHV : Highest heating value
11. LHV : Lowest heating value
12. f_i : Fugacity
13. G : Energi gibbs
14. X_{CO} : Mole Fraction CO
15. X_{CH_4} : Mole Fraction CH₄
16. X_{H_2} : Mole Fraction H₂
17. C : Mass Fraction Carbon
18. H : Mass Fraction Hydrogen
19. S : Mass Fraction Sulfur
20. O : Mass Fraction Oxygen
21. MTOE: Million tonnes of equivalent
22. NPHR : Net plant heat rate
23. RUEN : Rencana umum energi nasional
24. EBT : Energi baru terbarukan
25. SK : Sabut kelapa
26. TK : Tempurung kelapa
27. PLTU : Pembangkit Listrik Tenaga Uap

ABSTRAK

Luas area pekebunan kelapa di Provinsi Maluku Utara yaitu sebesar 202.796 Ha. Total limbah kelapa tempurung kelapa (TK) dan sabut kelapa (SK) yang dihasilkan kurang lebih 811.184 Ton/ Tahun sehingga menjadi pertimbangan untuk diteliti karakteristiknya sebagai sumber energi PLTU dalam rangka mendukung program pemerintah yaitu bauran energi serta reduksi Gas Rumah Kaca (GRK). PLTU komersial menggunakan batubara sebagai sumber energi namun menghasilkan emisi yang tinggi khususnya CO₂. Untuk mengatasi hal tersebut maka limbah kelapa dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk substitusi batubara 100% atau secara parsial (*co-firing*). Karakteristik TK dan SK diperoleh dari hasil analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor. Metode neraca massa digunakan untuk memprediksi karakteristik dari variasi komposisi TK dan SK yang dijadikan sebagai umpan pada proses pirolisis. Perangkat lunak Aspen Plus digunakan untuk memodelkan proses pirolisis untuk memprediksi produk bio-arang dan gas yang dihasilkan dari beberapa variasi umpan. Model proses pirolisis divalidasi dengan penelitian sebelumnya dengan perolehan selisih ketidaksesuaiannya yaitu 6%. Berdasarkan hasil simulasi dengan umpan TK 100% menghasilkan produk bio-arang 29.29% dengan nilai kalor 29.41 MJ/kg dan produk gas 70.71% dengan nilai kalor gas 185,253 kJ/Nm³ dengan konsentrasi gas 49.35% CH₄, 0.06% CO, 43.03% CO₂, dan 7.56% H₂. Sedangkan hasil simulasi dengan umpan SK 100% menghasilkan produk bio-arang 27.86% dengan nilai kalor 24.14 MJ/kg dan produk gas 72.14% dengan nilai kalor gas 171.559 kJ/Nm³ dengan konsentrasi 45.62% CH₄, 0.06% CO, 47.04% CO₂, dan 7.28% H₂.

Kata Kunci: *Limbah Kelapa, Pirolisis, Aspen Plus, Bio-arang, Gas.*

ABSTRACT

The area of coconut plantations in North Maluku Province is 202,796 Ha. The total waste of coconut shell (TK) and coconut husk (SK) produced is approximately 811,184 tons/year so that it becomes a consideration for the characteristics being researched as a PLTU energy source in order to support government programs in the energy mixing and reduction of Greenhouse Gases (GHG). commercial power plants use coal as an energy source but produce high emissions, especially CO₂. To overcome this, coconut waste is used as an energy source for 100% or partial coal substitution (co-firing). The characteristics of TK and SK were obtained from the proximate, ultimate and calorific value analysis. The mass balance method is used to predict the characteristics of the variations in the composition of TK and SK which are used as feed in the pyrolysis process. Aspen Plus software is used to model the pyrolysis process to predict the product of bio-charcoal and gas produced from several feed variations. The pyrolysis process model was validated by previous studies with the differences 6%. Based on the simulation results with 100% TK feed yielded 29.29% bio-charcoal product with a calorific value of 29.41 MJ/kg and 70.71% gas product with a gas calorific value of 185.253 kJ/Nm³ with a gas concentration of 49.35% CH₄, 0.06% CO, 43.03% CO₂, and 7.56% H₂. While the simulation results with 100% SK feed produce 27.86% bio-charcoal product with a calorific value of 24.14 MJ/kg and 72.14% gas product with a gas calorific value of 171.559 kJ/Nm³ with a concentration of 45.62% CH₄, 0.06 % CO, 47.04% CO₂, and 7.28% H₂.

Keywords: Coconut Waste, Pyrolysis, Aspen Plus, Bio-charcoal, Gas.