

# **TESIS**

## **BIOFUEL DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) MELALUI PROSES *THERMAL CRACKING* ADSORBSI DAN DISTILASI**



**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Pendidikan pada  
Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan  
Politeknik Negeri Sriwijaya**

Oleh  
**DAYA WULANDARI**  
**062050442831**

**PROGRAM MAGISTER TERAPAN  
POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA  
PALEMBANG  
2022**

**HALAMAN  
PENGESAHAN TESIS**

**BIOFUEL DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS)  
MELALUI PROSES *THERMAL CRACKING*  
ADSORBSI DAN DISTILASI**

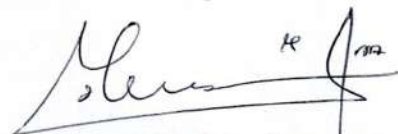
Oleh  
**DAYA WULANDARI**  
NPM. 062050442831

Palembang, Juli 2022  
Menyetujui,  
Pembimbing II,

Pembimbing I,



**Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., IPM**  
NIP.196711191993032003



**Dr. Ir. H. M. Yerizam, M.T**  
NIP.196107091989031002

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan  
Program Megister Terapan**

**Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., IPM**  
NIP.196711191993032003

## HALAMAN PERSETUJUAN

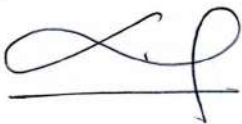
Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “Biofuel Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Melalui Proses *Thermal Cracking*, Absrobsi Dan Distilasi” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya pada tanggal 18 Juli 2022.

Palembang, 18 Juli 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Tesis

Ketua:

Dr. Ir. Leila Kalsum, M.T.  
NIP 196212071989032001

(  )

Anggota:

1. Dr. Ir. Abu Hasan, M.Si  
NIP 196410231992031001

(  )

2. Dr. Ir. Aida Syarif, M.T.  
NIP 196501111993032001

(  )

3. Dr. Indrayani, S.T., M.T.  
NIP 197402101997022001

(  )

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan  
Program Magister Terapan**

**Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., IPM  
NIP 196711191993032003**

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Daya Wulandari  
NPM : 062050442831  
Judul Tesis : Biofuel dari Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Proses *Thermal Cracking*, Adsorbsi dan Distilasi

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Politeknik Negeri Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 18 Juli 2022



Daya Wulandari

NIM. 062050442831

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Daya Wulandari  
NPM : 062050442831  
Judul Tesis : Biofuel dari Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Proses *Thermal Cracking*, Adsorpsi dan Distilasi

Memberikan izin kepada pembimbing dan Politeknik Negeri Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun

Palembang, 18 Juli 2022



Daya Wulandari

NIM. 062050442831

## SUMMARY

### Biofuel from Palm Empty Fruit Bunch (EFB) through Thermal Cracking, Adsorbtion and Distilation

Scientific Paper in the from of thesis, 18 July 2022

Daya Wulandari; Supervised by Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., IPM. dan Dr. Ir. H. M. Yerizam, M.T.

### Biofuel dari Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Proses *Thermal cracking*, Adsorbsi dan Distilasi

xxi + 160 pages, 12 table, 44 pictures, 4 attachments

The use of renewable energy sources in the form of biofuels needs to be increased. Given that the need for fossil fuel sources every year is increasing and these fuels are limited and expensive, it encourages various research and development to obtain cheaper, environmentally friendly, and natural materials that are renewable in nature. Empty fruit bunch a potential source of bioenergy because they contain lignocellulose (cellulose, hemicellulose and lignin) so that they can be converted into biofuels through thermal cracking, adsorbtion and distillation processes. Thermal cracking is the decomposition of biomass chemical content by heat utilization without any oxygen mixture at a temperature of 200°C–600°C. This study aims to obtain the characteristics of raw materials for empty fruit bunch in the form of proximate, ultimate, lignin and biofuels produced and how they impact the environment in terms of the Life Cycle Assessment. The study was conducted using a thermal cracking reactor designed so that the temperature can be controlled at the level of 300°C, 350°C, 400°C dan 450°C. The results of the study obtained the characteristics of empty fruit bunch from proximates have a moisture content of 13.66%, ash content of 8.74%, flying substances of 58.66% and fixed carbon of 18.90%. This moisture content is quite high. This is because the drying process on the material has not gone completely. Ultimate results show that empty fruit bunch have a C content of 54.45%, an H content of 5.00%, and an O content of 16.27% this shows that the ratio of C, H, O atoms owned by empty bunches meets to be used as bio-oil raw materials. The atomic ratio obtained from the results of ultimate analysis can be used to indicate the magnitude of the calorific value that can be used for a particular fuel. The smaller the value of the ratio of atoms contained, the more significant the calorific value contained in a particular fuel will be. Lignin levels, for the elimination of lignin levels were carried out by the Klason method through 4 stages, lignin levels without delignification were obtained 24.87%, the addition of aquadest 18.71%, the addition of HCl 5% 15.34% and HCl 10% 14.49%. The content of lignin in the raw material affects the bio-oil produced, where higher lignin levels can inhibit the conversion process into biofuels. 10% HCl delignification becomes the stage of the pretreatment process before the thermal cracking process. The thermal cracking process is formed steam, the steam is then condensed to obtain bio-oil. The bio-oil that is formed is deposited to be separated from tar, to obtain good quality bio-oil does not contain tar, adsorbtion is carried out with

zeolite adsorbents that have been activated with HCl. The comparison of the physical properties of bio-oil before and after adsorption has a difference in color from brownish black to yellow. The adsorbed bio-oil is distilled to separate the heavy and light fractions to become biofuels. The temperature of 450°C in thermal cracking is a condition close to optimum, this is because when the temperature is raised, the cracking process will be easier and occur optimally. The bio-oil produced in this study was tested for density (927-1086.68 Kg/m<sup>3</sup>), kinematic viscosity (1.17-1.43 mm<sup>2</sup>/s), and flash point (66.00-70.23 °C). The resulting biofuel products are dominated by C<sub>5</sub>-C<sub>15</sub> compounds (45.07%) according to the results of the GC-MS analysis. Based on the C atomic chain of biofuels belongs to the kerosene. The process of raw material preparation, pretreatment and thermal cracking is carried out Life Cycle Assessment. The results of the research showed that the production of biofuel from empty fruit bunches through the thermal cracking process using the Simapro V.9 application with the Impact 2002+ method has the greatest environmental impact of 131.10013 kg CO<sub>2</sub> eq. The thermal cracking process that becomes an environmental hotspot is the use of electricity from PLN and chemicals that come out of the process.

**Keywords:** Adsorption, Biofuel, Empty Fruit Bunch, *Thermal cracking*  
Citations: 44 (1977-2021)

## RINGKASAN

### Biofuel dari Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Proses *Thermal Cracking*, Adsorpsi dan Distilasi

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 18 Juli 2022

Daya Wulandari; Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., IPM. dan Dr. Ir. H. M. Yerizam, M.T.

### *Biofuel from Palm Empty Fruit Bunch (EFB) through Thermal Cracking, Adsorption and Distillation*

xxi+ 106 halaman, 12 tabel, 44 gambar, 4 lampiran

Penggunaan sumber energi terbarukan berupa bahan bakar nabati (BBN) perlu ditingkatkan. Mengingat kebutuhan akan sumber bahan bakar yang berasal dari fosil setiap tahun makin meningkat dan bahan bakar tersebut terbatas dan mahal, mendorong berbagai penelitian dan pengembangan untuk mendapatkan bahan bakar yang lebih murah, ramah lingkungan, dan dari bahan alam yang sifatnya terbarukan. Tandan kosong kelapa sawit merupakan sumber bioenergi yang berpotensi karena mengandung lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) sehingga dapat dikonversi menjadi biofuel melalui proses *thermal cracking*, adsorpsi dan distilasi. *Thermal cracking* adalah penguraian kandungan kimia biomassa dengan pemanfaatan panas tanpa ada campuran oksigen pada temperatur 200°C–600°C. Penelitian ini bertujuan mendapatkan karakteristik bahan baku tandan kosong kelapa sawit berupa proksimat, ultimat, lignin dan biofuel yang dihasilkan serta bagaimana dampaknya terhadap lingkungan ditinjau dari *Life Cycle Assessment (LCA)*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *thermal cracking reactor* yang didesain agar suhunya dapat dikendalikan pada level 300°C, 350°C, 400°C dan 450°C. Hasil penelitian didapatkan karakteristik bahan baku tandan kosong kelapa sawit dari proksimat memiliki kadar air 13,66 %, kadar abu 8,74 %, zat terbang 58,66% dan karbon tetap 18,90%. Kadar air ini tergolong cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena proses pengeringan pada bahan belum berjalan sempurna. Hasil ultimat menunjukkan bahwa tandan kosong memiliki kadar C sebesar 54,45%, kadar H sebesar 5,00%, dan kadar O sebesar 16,27% hal ini menunjukkan bahwa rasio atom C, H, O yang dimiliki oleh tandan kosong memenuhi untuk dijadikan bahan baku Bio-oil. Rasio atom yang diperoleh dari hasil analisa ultimat dapat digunakan untuk menunjukkan besarnya nilai kalor yang dapat digunakan untuk bahan bakar tertentu. Semakin kecil nilai rasio atom yang terkandung, maka nilai kalor yang terkandung dalam suatu bahan bakar tertentu akan semakin signifikan. Kadar lignin, untuk penghilangan kadar lignin dilakukan dengan metode Klason melalui 4 tahapan maka didapatkan kadar lignin tanpa delignifikasi 24,87%, penambahan aquadest 18,71%, penambahan HCl 5% 15,34% dan HCl 10% 14,49%. Kandung kadar lignin dalam bahan baku berpengaruh terhadap *bio-oil* yang dihasilkan, dimana semakin tinggi kadar lignin dapat menghambat proses konversi menjadi biofuel. Delignifikasi HCl 10% menjadi tahapan proses *pretreatment* sebelum



proses *thermal cracking*. Proses *thermal cracking* terbentuk uap, uap kemudian di kondensasi untuk mendapatkan bio-oil. Bio-oil yang terbentuk diendapkan agar terpisah dari tar, untuk mendapatkan kualitas bio-oil yang baik tidak mengandung tar dilakukan adsorpsi dengan adsorben zeolit yang telah diaktivasi dengan HCl. Perbandingan sifat fisik bio-oil sebelum dan sesudah adsorpsi memiliki perbedaan warna dari hitam kecoklatan menjadi kuning. Bio-oil yang telah diadsorpsi didistilasi untuk memisahkan fraksi berat dan ringan untuk menjadi biofuel. Temperatur 450°C pada *thermal cracking* merupakan kondisi mendekati optimum, hal ini dikarenakan ketika temperatur dinaikkan maka proses *cracking* akan lebih mudah dan terjadi secara optimal. Bio-oil yang dihasilkan pada penelitian ini dilakukan uji karakteristik densitas (927-1086,68Kg/m<sup>3</sup>), viskositas kinematik (1,17-1,43 mm<sup>2</sup>/s), dan titik nyala (66,00-70.23°C) dimana nilai-nilai ini mendekati dengan standar SNI 8220-2017. Produk biofuel yang dihasilkan didominasi oleh senyawa C<sub>5</sub>-C<sub>15</sub> (45,07%) menurut hasil analisa dengan GC-MS. Proses persiapan bahan baku, *pretreatment* dan *thermal cracking* dilakukan *Life Cycle Assessment*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi biofuel dari tandan kosong kelapa sawit melalui proses *thermal cracking* menggunakan aplikasi simapro V.9 dengan metode *Impact 2002+* memiliki dampak terhadap lingkungan yang paling besar yaitu 131,10013 kg CO<sub>2</sub> eq. Proses *thermal cracking* yang menjadi *environmental hotspot* adalah penggunaan listrik dari PLN dan zat kimia yang keluar dari proses.

**Kata Kunci:** Adsorpsi, Biofuel, Tandan Kosong Kelapa Sawit, *Thermal Cracking*  
Kepustakaan: 46 (1977-2021)

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sampai mereka mengubah apa yang ada pada dirinya mereka sendiri” – (QS. Ar-Rad Ayat 11)

*Give your best in every thing you do, and it will lead to greater things in your future*

Kupersembahkan laporan tesis ini untuk:

1. Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya laporan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Diriku sendiri, yang telah bekerja keras selama 2 tahun terima kasih telah kuat!
3. Kedua orang tuaku yang telah memberikan support dan doanya baik materil dan nonmateril.
4. Dosen Pembimbingku, Ibu Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., IPM dan bapak Dr. Ir. H. M. Yerizam, M.T. yang selalu membimbing dengan baik dan sabar.
5. PT. Carsurin Palembang tempat kerjaku yang telah memberikan support dan izinya untuk dapat melanjutkan pendidikan.
6. Rekan seperjuangan Leila Utarina dan Aria Yopianita yang selalu menjadi partner disetiap kesempatan dalam pengerjaan tesis ini.
7. Teman-teman EBT angkatan 2020 yang telah memberikan semangat dalam menyelesaikan laporan ini.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“Biofuel dari Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Proses *Thermal Cracking*, Adsorpsi dan Distilasi”**. Tesis ini disusun sebagai persyaratan menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama pelaksanaan penelitian, terutama kepada:

1. Dr. Ing. Ahmad Taqwa, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya
2. Carlos R.S., S.T., M.T., Selaku Pembantu Direktur I Politeknik Negeri Sriwijaya
3. Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., IPM, selaku Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Megister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya, dan juga selaku Pembimbing I di Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Megister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya,
4. Dr. Ir. H. M. Yerizam, M.T., selaku Dosen Pembimbing II di Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Megister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya,
6. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Megister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya angkatan 2020

Penulis sangat menyadari bahwa tesis ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran sangat dibutuhkan. Serta penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Palembang, Juli 2022



Daya Wulandari

## RIWAYAT HIDUP



Daya Wulandari adalah anak kedua dari lima bersaudara dari pasangan bapak Rusli dan ibu Ulyati, lahir di Palembang pada tanggal 23 Mei 1996. Pendidikan dimulai dari pendidikan dasar tahun 2000 di Taman Kanak-Kanak Yayasan Wanita Kereta Api (T.K. YWKA) dilanjutkan dengan pendidikan SD Negeri 31 Palembang pada tahun 2001-2007, pendidikan menengah di SMP Negeri 13 Palembang pada tahun 2007-2010, SMA Negeri 1 Palembang 2010-2013, kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di program studi Teknik Energi Diploma IV Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang pada tahun 2013-2017. Setelah menyelesaikan pendidikan Diploma IV, pada tahun 2017 penulis memulai karir di PT. Carsurin Palembang di bagian Analis pada awalnya, dengan berlangsungnya waktu pada tahun yang sama penulis pindah posisi menjadi Admin Laboratorium hingga Agustus 2021. September 2021 penulis mendapatkan amanah baru untuk pindah ke posisi *Site Quality Officer* (SQO) merangkap juga menjadi *Health Safety Environment* (HSE). Selama berkarir di PT. Carsurin penulis sering dilibatkan dalam kegiatan acara, survey ke lapangan, serta diikutsertakan beberapa pelatihan dan seminar mengenai laporan verifikasi admin minerba, ISO 17025:2017 laboratorium, ISO 17020 lingkungan dan sebagainya. Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata 2 Program Megister Terapan Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Sriwijaya.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
SUMMARY .....	vi
RINGKASAN .....	viii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
RIWAYAT HIDUP .....	xii
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GLOSARIUM .....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xviii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Hipotesa .....	3
1.6 Kebaruan (Novelty) .....	4
1.7 Kerangka Pikir Penelitian .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 <i>State of the Art</i> Penelitian .....	6
2.2 Biomassa .....	7
2.3 Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	8
2.4 <i>Thermal cracking</i> .....	8
2.4.1 Mekanisme Thermal Cracking .....	9
2.4.1.1 Mekanisme Primer .....	9
2.4.1.2 Mekanisme Sekunder .....	11
2.5 Perubahan Lignin .....	13
2.5.1 Perubahan Rantai Alkil dan Pemecahan Beberapa Sambungan antar Unit .....	14
2.5.2 Perubahan Subtituen Pendek Gugus Aromatik dan Proses Pembentukan Char .....	15
2.6 Perubahan Selulosa .....	18
2.6.1 Pembentukan Selulosa Aktif atau Andhiroselulosa .....	19
2.6.2 Depolimerisasi .....	19
2.6.3 Proses Pembentukan Char .....	21
2.7 Perubahan Hemiselulosa .....	22
2.7.1 Dehidrasi dan Pemecahan Sambungan Kurang Stabil .....	24
2.7.2 Depolimerisasi .....	24

2.7.3 Proses Pembentukan Char .....	24
2.8 Delignifikasi .....	25
2.9 Bio-oil.....	26
2.9.1 Pemurnian Bio-oil.....	27
2.9.1.1 Adsorpsi Menggunakan Zeolit Aktif.....	27
2.10 Distilasi .....	28
2.11 Biofuel .....	28
2.12 Pengujian Karakteristik Bahan Bakar Cair.....	29
2.12.1 Berat Jenis.....	29
2.12.2 Viskositas.....	30
2.12.3 Titik Nyala ( <i>Flash Point</i> ) .....	30
2.12.4 Analisa Senyawa Kimia dengan GC-MS .....	30
2.13 <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> .....	31
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	33
3.2 Alat dan Bahan .....	33
3.2.1 Alat Ukur dan <i>Tools</i> .....	33
3.2.2 Bahan dan <i>Supporting</i> Penelitian.....	34
3.3 Prosedur Penelitian dan Pengambilan Data.....	34
3.3.1 Prosedur Penelitian .....	34
3.3.1.1 Persiapan Bahan Baku .....	34
3.3.1.2 Delignifikasi Bahan Baku.....	34
3.3.1.3 Karakteristik Bahan Baku.....	35
3.3.1.4 Prosedur <i>Thermal Cracking</i> .....	35
3.3.1.5 Prosedur Aktivasi Zeolit.....	36
3.3.1.6 Prosedur Adsorpsi Bio-oil Hasil <i>Thermal Cracking</i> ..	36
3.3.1.7 Prosedur Distilasi Bio-oil Hasil Adsorpsi .....	37
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	37
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1 Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	38
4.1.1 Analisa Kadar Proksimat dan Ultimat .....	40
4.1.2 Analisa Kadar Lignin.....	41
4.2 Karakteristik Bio-oil dari Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	42
4.2.1 Hasil Analisa Sifat Fisik Bio-oil dari Proses <i>Thermal cracking</i>	42
4.2.2 Hasil Analisa Kuantitatif dan Kualitatif Bio-oil.....	43
4.2.2.1 Hubungan Penggunaan Adsorben dan Suhu	
<i>Thermal Cracking</i> terhadap Densitas Biofuel.....	45
4.2.2.2 Hubungan Penggunaan Adsorben dan Suhu	
<i>Thermal Cracking</i> terhadap Viskositas Biofuel.....	46
4.2.2.3 Hubungan Penggunaan Adsorben dan Suhu	
<i>Thermal Cracking</i> terhadap Titik Nyala Biofuel .....	47
4.2.2.4 Hubungan Penggunaan Adsorben dan Suhu	
<i>Thermal Cracking</i> terhadap Kadar Air Biofuel .....	48
4.2.3 Hasil Analisa GC-MS.....	49
4.3 <i>Life Cycle Assessment</i> .....	51
4.3.1 <i>Goal and Scope Definition</i> .....	52

4.3.2 <i>Life Cycle Inventory</i> .....	52
4.3.2.1 <i>Life Cycle Impact Assessment</i> .....	52
4.3.2.2 <i>Analisa Characterization</i> .....	54
4.3.2.3 <i>Analisa Weighting and Single Score</i> .....	55
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>62</b>

## DAFTAR GLOSARIUM

- *Acrolein*
- *Alkali*
- *Alcohol*
- *Asetaldehid*
- *Aseton*
- Berat Jenis
- Biofuel
- Biomassa
- Bio Char
- Bio-oil
- *Biogasoline*
- *Bleaching*
- *Butiraldehid*
- *Carbon Foot Print*
- *catalytic*
- *Cradle to Gate*
- *Cradle to Grave*
- *Crotonaldehid*
- *Cyclone*
- Dehidrasi
- Delignifikasi
- Dekomposisi
- Densitas
- Depolimerisasi
- Distilasi
- Eter
- Fenol
- *Fixed Carbon*
- *Gasoline*
- *Gate to Gate*
- *Guaiacol*
- GC-MS
- Hidroperoksida
- Hidrotermal
- Karbonil
- Karboksil
- Kondensasi
- *Life Cycle Assessment*
- *Life Cycle Inventory*
- *Life Cycle Impact Assessment*
- *Life Cycle Interpretation*
- Lignin



- *Moisture*
- Nafta
- Pertalite
- Pertamax
- Proksimat
- *Propion aldehid*
- *Renewable Energy*
- Selulosa
- Tandan Kosong Kelapa Sawit
- Tar
- Termografimetri
- Titik Nyala
- Ultimat
- *Volatile Matter*
- Viskositas
- Zeolit Alam
- Zeolit Sintesis

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Penelitian Pirolisis Terdahulu.....	6
2. Karakteristik Bio-oil.....	16
3. Hasil Analisa Proksimat dan Ultimat TKKS.....	38
4. Hasil Kadar Lignin pada 1gram serbuk TKKS .....	41
5. Analisa Sifat Fisik Bio-oil Sebelum Adsorbsi dan Sesudah Adsrobsi .....	42
6. Volume Bio-oil dari Proses <i>Thermal cracking</i> .....	43
7. Sifat Fisik Biofuel.....	44
8. Fraksi dan Komposisi senyawa Kimia Biofuel .....	50
9. Hasil Nilai <i>Weighting and Single Score Category</i> proses Produksi Bio-oil dari TKKS .....	55
10. Data Hasil Perhitungan Densitas .....	63
11. Data Hasil Perhitungan Viskositas .....	64
12. Data Hasil Perhitungan Air.....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pikir Penelitian.....	5
2. Representasi Jalur Reaksi <i>Thermal Cracking</i> dengan Biomassa Kayu.....	9
3. Jalur Reaksi <i>Thermal Cracking</i> Primer .....	10
4. Senyawa Penyusun Lignin .....	13
5. Analisis <i>thermogravimetric</i> Reaksi Pada Lignin.....	13
6. Reaksi Utama Perubahan dan Evolusi dari Struktur Kimia Gugus Aromatik.....	14
7. Fragmentasi pada Metoksi (A) menghasilkan methanol (B) menghasilkan CH <sub>4</sub> .....	15
8. Atom Hidrogen yang dibawah oleh Gugus Aromatik lain dan menghasilkan metanol .....	16
9. Mekanisme dimetilasi yang menghasilkan CH <sub>4</sub> pada temperature 550-580°C.....	16
10. Reaksi H <sub>2</sub> O Bereaksi dengan char menghasilkan CO dan H <sub>2</sub> .....	17
11. Reaksi Penyusunan kembali Gugus Aromatik dalam Struktur Polisiklik	17
12. Struktur Selulosa .....	18
13. Analisis <i>thermogravimetric</i> dari Selulosa .....	18
14. Reaksi utama dan Perbuhan Stuktur Kimia Selulosa terhadap Kenaikkan Temperatur.....	19
15. Pembentukan Levoglukosan.....	20
16. Gugus Furan dalam Residu .....	20
17. Senyawa Volatil yang Memproduksi H <sub>2</sub> O, CO dan CO <sub>2</sub> .....	21
18. Struktur Parsial dari Cylan .....	22
19. Struktur Parsial Glukoman .....	22
20. Analisis Umum Termogravimetrik Lignin.....	23
21. Reaksi Utama yang terjadi dan perbuahan pada struktur pada gugus Terhadap peningkatan temperatur .....	23
22. Sekma Proses Delignifikasi .....	26
23. Reaktor <i>Thermal cracking</i> .....	36
24. Diagram Alir Penelitian.....	37
25. Perbandingan Analisa Kadar Proksimat TKKS dengan Literatur .....	39
26. a & b Perbandingan Analisa Kadar Ultimat TKKS dengan Literatur .....	40
27. Grafik Hubungan Penggunaan Adsorben dan Suhu <i>Thermal cracking</i> ...	43
28. Grafik Hubungan Penggunaan Adsorben dan Suhu <i>Thermal cracking</i> terhadap Densitas Biofuel.....	45
29. Grafik Hubungan Penggunaan Adsorben dan Suhu <i>Thermal cracking</i> terhadap Viskositas Biofuel.....	47
30. Grafik Hubungan Penggunaan Adsorben dan Suhu <i>Thermal cracking</i> terhadap Titik Nyala Biofuel .....	48
31. Grafik Hubungan Penggunaan Adsorben dan Suhu <i>Thermal cracking</i> terhadap Kadar Air Biofuel .....	49
32. Grafik GCMS Biofuel dari TKKS.....	50
33. <i>Network</i> Proses Produksi Bio-oil.....	53
34. <i>Characterization Chart</i> Produksi Bio-oil.....	54

35. Grafik <i>Single Score</i> Produksi Bio-oil .....	55
36. <i>Thermal Cracking Reactor</i> .....	73
37. Preparasi Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	74
38. Proses Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	75
39. Pengujian Kadar Lignin Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	76
40. Tahapan <i>Thermal Cracking</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	77
41. Tahapan Aktivasi Zeolit Sintesis .....	78
42. Tahapan Adsorpsi Bio-Oil Menggunakan Zeolit Sintesis.....	78
43. Tahapan Distilasi Bio-Oil.....	79
44. Analisa Produk Biofuel .....	79

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
I. Perhitungan.....	62
II. Desain Alat .....	66
III. Dokumentasi Penelitian.....	74
IV. Surat-Menyurat.....	80