

**PENGARUH *PYROLYSIS NON-ISOTHERMAL* TERHADAP  
KUALITAS BIO-OIL DARI SAMPAH *REAL* KOTA BANDAR  
LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**A FADLY WIRAPUTRA KH**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF NON-ISOTHERMAL PYROLYSIS TOWARD THE QUALITY OF BIO-OIL COLLECTED BY THE REAL MUNICIPAL SOLID WASTE IN BANDAR LAMPUNG**

by

**A FADLY WIRAPUTRA KH**

Scrapheap has a negative impact on the environment and source of disease. On the other hand the waste has stored energy that can be converted into bio-oil by non-isothermal pyrolysis technique. Temperature of non-isothermal pyrolysis are 300°C, 400°C, 500°C, 600°C and 700°C. The material in this research used a variant of trash as much as 500 gram that consists of plastic, biomass, paper, textile, and rubber from TPA Bakung Bandar Lampung. This research used fixedbed with stainless steel material. This research is aimed to know the effect of temperature to bio-oil from non-isothermal pyrolysis and to know the quality of bio-oil from pyrolysis in Bandar Lampung. The result showed that the highest temperature of pyrolysis non-isothermal could reduce of the bio-oil production, it caused by discontinue of chemical chains at high temperature. The result of bio-oil pyrolysis test on the temperature of 400 ° C could produced bio-oil was 20.4 wt% and 57% hydrocarbon fraction into the premium class and similar with hydrocarbon in premium fuel, paraffin is 35.6%, olefin 29.13%, aromatics 13.73%, alcohol 11.7% so it has potential to be developed into a liquid fuel.

**Keywords:** pyrolysis, municipal solid waste, bio-oil

## ABSTRAK

### PENGARUH *PYROLYSIS NON-ISOTHERMAL* TERHADAP KUALITAS BIO-OIL DARI SAMPAH *REAL* KOTA BANDAR LAMPUNG

Oleh

**A FADLY WIRAPUTRA KH**

Tumpukan sampah memiliki dampak buruk bagi lingkungan sekitarnya dan menjadi sumber penyakit. Namun disisi lain sampah memiliki energi tersimpan yang dapat dikonversi menjadi bio-oil dengan menggunakan teknik pirolisis *non-isothermal*. Temperatur kerja pada pirolisis *non-isothermal* ini yaitu 300°C, 400°C, 500°C, 600°C dan, 700°C. Sedangkan bahan baku yang digunakan yaitu sampah kota sebanyak 500 gram pada setiap pengujian yang terdiri dari sampah plastik, biomassa, kertas, tekstil, dan karet yang diambil dari TPA Bakung Bandar Lampung. Reaktor yang digunakan adalah *fixedbed* dengan material stainless steel. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh temperatur terhadap bio-oil hasil dari pirolisis *non-isothermal* serta mengetahui kualitas bio-oil hasil pirolisis sampah kota Bandar Lampung. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil bahwa temperatur kerja pirolisis *non-isothermal* yang semakin tinggi dapat menurunkan produksi bio-oil akibat terjadinya pemutusan kembali rantai kimia pada temperatur tinggi. Bio-oil hasil pengujian pirolisis pada temperatur 400°C memproduksi bio-oil paling banyak yaitu sebesar 20,4 wt% dengan 57% fraksi hidrokarbonnya masuk dalam golongan premium dan memiliki kemiripan golongan hidrokarbon yang terdapat pada bahan bakar premium yaitu parafin sebesar 35.6%, olefin sebesar 29.13%, aromatik sebesar 13.73%, alkohol 11.7% sehingga berpotensi untuk dikembangkan menjadi suatu bahan bakar cair.

**Kata Kunci** : pirolisis, sampah kota, bio-oil

**PENGARUH *PYROLYSIS NON-ISOTHERMAL* TERHADAP  
KUALITAS BIO-OIL DARI SAMPAH *REAL* KOTA BANDAR  
LAMPUNG**

Oleh

**A Fadly Wiraputra KH**

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

Judul Skripsi : **PENGARUH PYROLYSIS NON-ISOTHERMAL TERHADAP KUALITAS BIO-OIL DARI SAMPAH REAL KOTA BANDAR LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **A Fadly Wiraputra KH**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1115021001**

Jurusan : **Teknik Mesin**

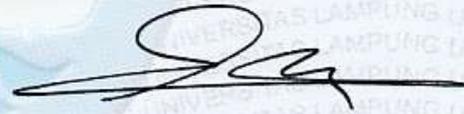
Fakultas : **Teknik**

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

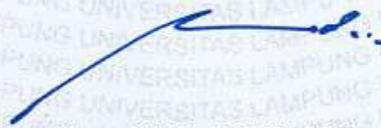


**Indra Mamad Gandidi, S.T., M.T.**  
NIP. 19700307 199903 1 002



**Dr. Amrul, S.T., M.T.**  
NIP. 19710331 199903 1 003

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**  
NIP. 19740816 200012 1 001

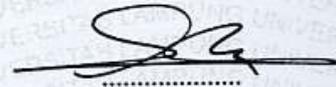
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

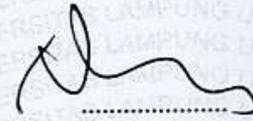
Ketua : **Indra Mamad Gandidi, S.T., M.T.**



Anggota Penguji : **Dr. Amrul, S.T., M.T.**



Penguji Utama : **Ir. Herry Wardono, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 9 Agustus 2017

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

### **PENGARUH *PYROLYSIS NON-ISOTHERMAL* TERHADAP KUALITAS BIO-OIL DARI SAMPAH *REAL* KOTA BANDAR LAMPUNG**

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang dipublikasikan dari perguruan tinggi atau instansi manapun, sebagaimana diatur dalam pasal 44 peraturan akademik Universitas Lampung dengan surat keputusan Rektor No. 159/H26/PP/2008, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.



**A Fadly Wiraputra KH**

**NPM. 1115021001**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi, Lampung, pada tanggal 13 Oktober tahun 1993, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Herman Hasan S.E dan Neti Heerawati S.Pd. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2006, SMP di SMP Al-Kautsar, Bandar Lampung pada tahun 2008, SMA Negeri 13 Bandar Lampung pada tahun 2011, dan pada tahun 2011 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Kemudian pada bidang akademik, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Dirgantara Indonesia, Bandung pada tahun 2014. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Lembaga Kemahasiswaan diantaranya ditingkat jurusan sebagai anggota divisi otomotiv dalam Himpunan Mahasiswa Teknik mesin (HIMATEM) Universitas Lampung periode 2013–2014 dan diamanahkan sebagai penanggung jawab bengkel TVS Unila Motor Tahun 2013. Penulis sempat mendapat kepercayaan sebagai asisten praktikum pemrograman komputer dan pengenalan komputer dilaboratorium terpadu Jurusan teknik Mesin Universitas Lampung. Pada skripsi ini penulis melakukan penelitian pada bidang konsentrasi konversi energi dengan judul **“Pengaruh Pirolisis *Non-Isothermal* Terhadap Kualitas Bio-Oil dari Sampah *Real* Kota Bandar Lampung”** di bawah bimbingan Bapak Indra Mamad Gandidi, S.T.,M.T. dan Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T.

## SANWACANA

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT, karena berkat karunia, rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyelesaikan Skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menghantarkan kita menuju zaman yang lebih baik seperti sekarang ini. Skripsi ini merupakan syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Skripsi ini disusun berdasarkan studi pustaka, berdiskusi bersama dosen pembimbing, dan eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Termodinamika, mengkaji proses pirolisis *non-isothermal* pada sampah kota Bandar Lampung dengan memvariasikan temperatur kerja pada proses pirolisis *non-isothermal*. Dalam skripsi ini menyajikan proses mengkonversi sampah kota Bandar Lampung menjadi *bio-oil*. Untuk proses semua sumber yang dirangkum dan dijadikan acuan, berasal dari jurnal nasional maupun internasional, dan juga berdasarkan literatur untuk menunjang dalam proses analisa. Hasil yang diperoleh dari penelitian baik berupa data *mass yield* (wt%), kandungan hidrokarbon dan sifat hidrokarbon yang dibandingkan dengan bahan bakar *gasoline* RON 88 dan *diesel* CN 48 di dalam skripsi ini.

Pada kesempatan ini, penulis ingin sampaikan rasa terima kasihnya kepada :

1. Kedua Orang Tua saya Bapak Herman Hasan dan Ibu Neti Herawati yang selalu memberikan kasih sayang, semangat motivasi, dan mendoakan atas harapan serta kesuksesan penulis.
2. Adik saya Atikah Mariah Ulfah dan M. Farhan Athola atas dukungan, motivasi, dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Ahmad Suudi, S.T.,M.T. selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Indra Mamad Gandidi, S.T, M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir, yang telah banyak meluangkan waktu, ide, perhatian dan sabar untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak mencurahkan waktu dan fikirannya bagi penulis serta motivasi yang diberikan.
6. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., selaku pembahas tugas akhir ini, yang telah banyak meberikan kritik dan saran yang sangat bermanfaat bagi penulis.
7. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. Mas marta selaku admin yang telah banyak membantu penulis dalam mengurus adminitrasi di jurusan.
9. Mas Dadang, mas Nanang yang telah banyak membantu penulis dalam menyiapkan ruang untuk seminar.

10. Sahabat-sahabat seperjuangan Teknik Mesin 2011 yang telah menemani penulis dari awal perkuliahan dan selalu ada baik susah maupun senang, tetap jaga kebersamaan kita kawan.
11. Livindita, yang telah memberikan semangat penulis agar segera menyelesaikan studi.
12. Tim TA Andicha Aulia Putra, Ahmad Syarif Fathurohman, Ali Mustofa, Dwi Andri Wibowo yang telah bersusah payah menyelesaikan proyek akhir ini.
13. Adik-adik tim PKM pirolisis sampah kota Adi, Jaseng, Imam, Danu, Bintu, Jaya yang selalu memberikan semangat dan membantu dalam penelitian.
14. Keluarga besar Teknik Mesin atas kerjasamanya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun Penulis memiliki harapan agar skripsi yang sederhana ini dapat memberi inspirasi dan berguna bagi semua kalangan civitas akademik.

***Wassalamu'alaikum Wr. Wb.***

Bandar Lampung, 9 Agustus 2017

Penulis

**A Fadly Wiraputra KH**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan.....	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Sistematika Penulisan.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Sampah.....	8
2.2. Biomassa .....	9
2.2.1. Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan .....	10
2.2.2. Sifat Dan Komposisi Biomassa.....	11
2.3. Konversi Biomassa .....	16
2.3.1. Konversi Biokimia .....	16
2.3.2. Konversi Termokimia .....	18
2.4. Metode Pirolisis .....	21
2.5. Jenis-Jenis Pirolisis .....	24
2.6. Pirolisis <i>Isothermal</i> dan Pirolisis <i>Non-Isothermal</i> .....	26
2.6.1. Pirolisis <i>Isothermal</i> .....	27
2.6.2. Pirolisis <i>Non-Isothermal</i> .....	27
2.7. Parameter Proses Pirolisis.....	28
2.8. Karakteristik Produk Pirolisis .....	31
2.9. Fraksi Hidrokarbon Bio-Oil.....	34

### III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan .....	36
3.2. Tahapan Penelitian .....	36
3.3. Alat dan Bahan .....	38
3.4. Rangkaian Unit Pirolizer .....	47
3.5. Metode Pengujian .....	48
3.6. Pengujian Laboratorium .....	49
3.7. Alur Pengambilan Data .....	51
3.8. Variabel Pengujian .....	51

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengaruh Temperatur Terhadap Produk Pirolisis <i>Non-Isothermal</i> .....	55
4.2. Hasil Pengujian GC-MS Bio Oil Dari Pirolisis <i>Non-Isothermal</i> .....	59
4.2.1. Produk Bio-oil Pada Temperatur 300°C .....	60
4.2.2. Produk Bio-oil Pada Temperatur 400°C .....	65
4.2.3. Produk pada Waktu Reaksi 25 Menit .....	71
4.3. Hasil Pengujian Karakteristik Bio-Oil Dari Pirolisis <i>Non-Isothermal</i> .....	78
4.4. Analisis Energi Yang Dibutuhkan Dan Didapatkan Pada Proses Pirolisis <i>Non- isothermal</i> .....	80
4.5. Perbandingan Bio-Oil Pirolisis Non-Isothermal Terhadap Bio-Oil Pirolisis Isothermal .....	83

### V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan .....	88
5.2. Saran .....	89

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	90
-----------------------------	----

### LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Karakteristik Bio-Oil Hasil Pirolisis.....	33
<b>Tabel 2.2</b> Komposisi Bio-Oil Hasil Pirolisis .....	33
<b>Tabel 3.1</b> Jadwal Kegiatan Penelitian.....	36
<b>Tabel 3.2</b> Variasi Percobaan .....	52
<b>Tabel 3.3</b> Tabel Percobaan Hasil Pengujian .....	52
<b>Tabel 4.1</b> Data Pengujian Pirolisis <i>Non-Isothermal</i> .....	54
<b>Tabel 4.2</b> <i>Mass Spectrometer</i> Kondisi 300°C.....	62
<b>Tabel 4.3</b> <i>Mass Spectrometer</i> Kondisi 400°C.....	67
<b>Tabel 4.4</b> <i>Mass Spectrometer</i> Kondisi 500°C.....	73
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan Karakteristik Bio-Oil Terhadap Bahan Bakar Konvensional.....	79
<b>Tabel 4.6</b> Energi yang dibutuhkan dan didapatkan pada pirolisis <i>non</i> <i>isothermal</i> .....	82
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan Karakteristik Bio-Oil Pirolisis Isothermal Terhadap Pirolisis Non-Isothermal.....	86

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Perbandingan Sistem Biomassa dan Fosil Pada Siklus Karbon .....	10
<b>Gambar 2.2</b> Komponen Secara Umum Pada Biomassa.....	12
<b>Gambar 2.3</b> Struktur Kimia Dari Selulosa.....	13
<b>Gambar 2.4</b> Komponen Utama Hemiselulosa .....	14
<b>Gambar 2.5</b> Struktur Lignin.....	15
<b>Gambar 2.6</b> Klasifikasi Konversi Biomassa .....	16
<b>Gambar 2.7</b> Produksi Termokimia.....	18
<b>Gambar 2.8</b> Reprntasi Sederhana Dari Proses Pirolisis .....	22
<b>Gambar 2.9</b> Proses Dekomposisi Hidrokarbon.....	23
<b>Gambar 2.10</b> Pirolisis <i>Isothermal</i> .....	27
<b>Gambar 2.11</b> Pirolisis <i>Non-Isothermal</i> .....	28
<b>Gamabr 3.1</b> Reaktor .....	39
<b>Gambar 3.2</b> Pemanas .....	39
<b>Gambar 3.3</b> Kondensor .....	40
<b>Gambar 3.4</b> Tabung Sampel Uji .....	40

<b>Gambar 3.5</b>	Kran ¼ Inchi .....	41
<b>Gambar 3.6</b>	<i>Thermocouple</i> .....	41
<b>Gambar 3.7</b>	Timbangan Digital .....	42
<b>Gambar 3.8</b>	Sarung Tangan .....	42
<b>Gambar 3.9</b>	Sarung Tangan .....	43
<b>Gambar 3.10</b>	Sampah Organik.....	44
<b>Gambar 3.11</b>	Sampah Plastik.....	45
<b>Gambar 3.12</b>	Sampah Kertas .....	45
<b>Gambar 3.13</b>	Ban Bekas .....	46
<b>Gambar 3.14</b>	Tekstil .....	46
<b>Gambar 3.15</b>	Desain Rangkaian Alat Uji .....	47
<b>Gambar 3.16</b>	Alur Pengambilan Data.....	51
<b>Gambar 4.1</b>	Sampah Kota Bandar Lampung .....	54
<b>Gambar 4.2</b>	Produk Bio-oil Hasil Pirolisis <i>Non Isothermal</i> .....	56
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Produk Pirolisis <i>Non-Isothermal</i> .....	56
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik <i>Gas Chromatograph</i> Pada Temperatur 300°C .....	61
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Perbandingan Fraksi Hidrokarbon Bio-oil Pada Temperatur 300°C, Bensin RON 88 dan Diesel 48.....	64
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik <i>Gas Chromatograph</i> Pada Temperatur 400°C .....	66
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Perbandingan Fraksi Hidrokarbon Bio-oil Pada Temperatur 400°C, Bensin RON 88 dan Diesel 48.....	70
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik <i>Gas Chromatograph</i> Pada Temperatur 500°C .....	72

<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Perbandingan Fraksi Hidrokarbon Bio-oil Pada Temperature 500°C, Bensin RON 88 dan Diesel 48 .....	75
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Perbandingan Bio-Oil Berdasarkan Golongan Hidrokarbonnya.....	76
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik Perbandingan Produk Pirolisis .....	83
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik Perbandingan Fraksi Hidrokarbon Bio-Oil Pirolisis ....	84
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik Perbandingan Golongan Hidrokarbon Bio-Oil Pirolisis.....	85

## DAFTAR SIMBOL

$C$	= Karbon	; mol
$H_2$	= Hidrogen	; mol
$HHV$	= <i>High Heating Valeu</i>	; joule
$HHV_{BO}$	= <i>High Heating Valeu Bio-oil</i>	; joule
$HHV_{BB}$	= <i>High Heating Valeu Bahan baku</i>	; joule
$O_2$	= Oksigen	; mol

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sampah adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari hasil aktivitas manusia maupun proses alam yang belum memiliki nilai ekonomis (Ecolink, 1996). Kota-kota besar di Indonesia sedang dihadapkan dengan masalah tumpukan sampah dari seluruh kegiatan aktivitas manusia yang dilakukan setiap harinya dan cenderung meningkat setiap harinya. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk yang sangat pesat, banyaknya perpindahan penduduk dari desa ke kota, kemudian gaya hidup masyarakat kota yang kurang peduli akan kenyamanan dan kebersihan kota.

Kota Bandar Lampung menjadi salah satu kota yang cepat mengalami peningkatan jumlah penduduk pada tahun 2014, jumlah penduduk kota Bandar Lampung sekitar 1.167.101 jiwa (BPS, 2014). Berdasarkan data Dinas Kebersihan Kota Bandar Lampung tahun 2015 setiap harinya kota Bandar Lampung menghasilkan sampah hingga 800 ton yang terdiri dari sampah plastik, biomasa, kertas, karet dan kain.

Semakin banyaknya tumpukan sampah setiap harinya akan berdampak kurang baik dan menjadi masalah yang serius apabila tidak cepat ditangani. Pengelolaan sampah yang dilakukan biasanya mengumpulkan menjadi satu keseluruhan yang nantinya dijadikan pada suatu tempat yang khusus digunakan untuk menampung seluruh sampah yang ada di Kota Bandar Lampung pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Pengelolaan praktek ini sangat efektif untuk menangani sampah perkotaan tetapi praktek ini sudah tidak relevan lagi dikarenakan keterbatasan wilayah di perkotaan yang semakin padat oleh pemukiman warga (Gandidi dkk, 2010). Tumpukan sampah akan memproduksi air lindi kotor dan beracun yang akan mencemari air tanah dan air permukaan (Alexandra,2012). Lebih lanjut, tumpukan sampah di TPA akan terdegradasi secara biokimia dan melepas gas metan ke atmosfer dimana diketahui gas ini mempunyai daya pencemaran 20x lebih berbahaya dari pada pencemaran yang disebabkan oleh gas CO<sub>2</sub> (DICLA, 2013).

Disisi lain, sampah merupakan material yang mempunyai energi tersimpan dalam bentuk ikatan kimia antara molekul karbon, hidrogen dan molekul oksigen. Ketika ikatan kimia itu dirusak, bahan organik akan melepaskan energi kimia dalam bentuk gas, cair dan padat yang biasa disebut biofuel (Akkaya, 2009). Melihat potensi yang dapat dihasilkan dari permasalahan yang ditimbulkan, dapat dilakukan suatu cara untuk merubah suatu sampah menjadi energi terbarukan yang berguna untuk memusnahkan tumpukan sampah di TPA dan

membuat kota menjadi lebih bersih, cara yang dilakukannya yaitu dengan teknik Pirolisis (McKendry, 2002).

Teknik pirolisis merupakan sebuah metode termokimia dimana sampah dikonversikan menjadi bahan bakar padat (*char*), produser gas (*syngas*), dan *liquid (bio-oil)* tanpa kehadiran oksigen dalam sebuah reaktor (Overend, 2012). Umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 3-4 jam, namun keadaan ini sangat tergantung dengan bahan baku dan cara pembuatannya (Demirbas, 2005). Dengan menghasilkan beberapa produk bahan bakar secara simultan, teknik pirolisis terlihat lebih efisien dan fleksibel dibandingkan dengan proses konversi termokimia yang lain. Sehingga metode pirolisis telah menarik minat banyak peneliti untuk menggunakan metode ini sebagai media konversi terhadap sampah kota untuk produksi bahan bakar.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Yuan Xue 2015 yaitu melihat pengaruh dari pirolisis campuran biomasa dan plastik pada rentang temperatur 525-675°C menunjukkan bahwa tidak hanya mengurangi jumlah produksi arang dari biomasa tetapi mengubahnya menjadi produk bio-gas yang akan terkondensasi menjadi bio-oil dengan hasil terbaik yaitu sebesar 57,6 wt% pada temperatur 625 °C (Xue, 2015).

Namun, efek dari temperatur dan waktu reaksi terhadap proses pirolisis sampah kota *real* sepenuhnya belum dibahas pada penelitian yang telah dilakukan. Lebih lanjut, tidak ada informasi yang tersedia secara detail tentang kuantitas dan kualitas *bio-oil* dari sampah kota riil yang dihubungkan dengan waktu reaksi dan temperatur terbaik pada kondisi optimal yang dikaitkan dengan komposisi serta karakteristik sampah riil yang tersedia di tempat pembuangan sampah, khususnya di TPA Bandar Lampung. Hal inilah yang melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian tentang Pengaruh Pirolisis *Non-Isothermal* Terhadap Kualitas Bio-Oil Dari Sampah *Real* Kota Bandar Lampung. Dengan melakukan variasi terhadap pengaruh temperatur dan waktu reaksi pada proses pirolisis sampah *real* kota dengan kondisi pirolisis *non isothermal*, maka akan didapatkan pengaruh hasil *Bio-Oil* yang akan didapat.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh temperatur terhadap bio-oil hasil dari proses pirolisis *non-isothermal*.
2. Mengetahui kualitas bio-oil hasil dari pirolisis sampah *real* kota bandar lampung.

### 1.3 Batasan Masalah

Kajian pada penelitian ini memfokuskan terhadap proses pirolisis sampah *real* kota Bandar Lampung untuk menghasilkan produk *bio-oil*. Beberapa batasan pada kajian ini sebagai berikut :

1. Bahan baku yang digunakan adalah sampah *real* kota Bandar Lampung yang di ambil secara acak tanpa adanya pengkondisian terhadap sampah dari TPA Bakung. Kemudian dipisahkan sesuai jenisnya yaitu terdiri dari sampah plastik, organik, kertas, tekstil dan karet .
2. Proses penelitian menggunakan metode pirolisis *non-ishothermal* pada temperatur 300-700°C dengan waktu reaksi 55-77 Menit.
3. Massa bahan baku yang digunakan sesuai dengan kapasitas alat uji, yaitu 500 gram dengan ukuran partikel antara 0,5 cm – 2 cm.
4. Penelitian ini tidak membahas reaksi kimia yang terjadi selama proses pirolisis.
5. Alat yang digunakan adalah reaktor pirolisis jenis *fixed bed*
6. Kondensor yang digunakan pada proses pendinginan gas pirolisis pada tiap pengujian tetap.

### 1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematis penulisan dari penelitian ini adalah sbagai berikut :

**BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini terdiri dari latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

**B AB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini memuat teori mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian.

**B AB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini terdiri atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan, dan prosedur pengujian.

**B AB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisikan hasil dan pembahasan dari data-data yang diperoleh saat pengujian dilaksanakan.

**B AB V : SIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini berisi hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin di sampaikan dari penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Memuat referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.

**LAMPIRAN**

Berisikan perlengkapan laporan penelitian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sampah

Azwar (1990) mengatakan bahwa sampah adalah sebagian dari sesuatu yang tidak terpakai, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang, umumnya berasal dari kegiatan manusia dan bersifat padat. Definisi lain dikemukakan oleh Hadiwijoto (1983), sampah adalah sisa-sisa bahan yang telah mengalami perlakuan baik telah diambil bagian utamanya, telah mengalami pengolahan, dan sudah tidak bermanfaat, dari segi ekonomi sudah tidak ada harganya serta dari segi lingkungan dapat menyebabkan pencemaran atau gangguan kelestarian alam.

Murtadho dan Gumbira (1988) membedakan sampah atas sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik meliputi limbah padat semi basah berupa bahanbahan organik yang umumnya berasal dari limbah hasil pertanian. Sampah ini memiliki sifat mudah terurai oleh mikroorganisme dan mudah membusuk karena memiliki rantai karbon relatif pendek. Sedangkan sampah anorganik berupa sampah padat yang cukup kering dan sulit terurai oleh mikroorganisme karena memiliki rantai karbon yang panjang dan kompleks seperti kaca, besi,

plastik, dan lain-lain. Kategori sumber penghasil sampah yang sering digunakan adalah :

1. Sampah domestik, yaitu sampah yang berasal dari pemukiman;
2. Sampah komersial, yaitu sampah yang berasal dari lingkungan perdagangan atau jasa komersial berupa toko, pasar, rumah makan, dan kantor;
3. Sampah industri, yaitu sampah yang berasal dari suatu proses produksi; dan
4. Sampah yang berasal selain dari yang telah disebutkan diatas misalnya sampah dari pepohonan, sapuan jalan, dan bencana alam.

## **2.2 Biomassa**

Secara umum biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dimanfaatkan sebagai energi atau bahan dalam jumlah yang besar. Secara tidak langsung mengacu pada produk yang diperoleh melalui peternakan dan industri makanan. Biomassa disebut juga sebagai "*fittomassa*" dan sering kali diterjemahkan sebagai *bioresource* atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. Basis sumber daya meliputi ratusan dan ribuan spesies tanaman, daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan dan limbah residu dan limbah industri, limbah dan kotoran hewan. Tanaman energi yang membuat perkebunan energi skala besar akan menjadi salah satu biomassa menjanjikan walaupun belum dikomersialkan pada



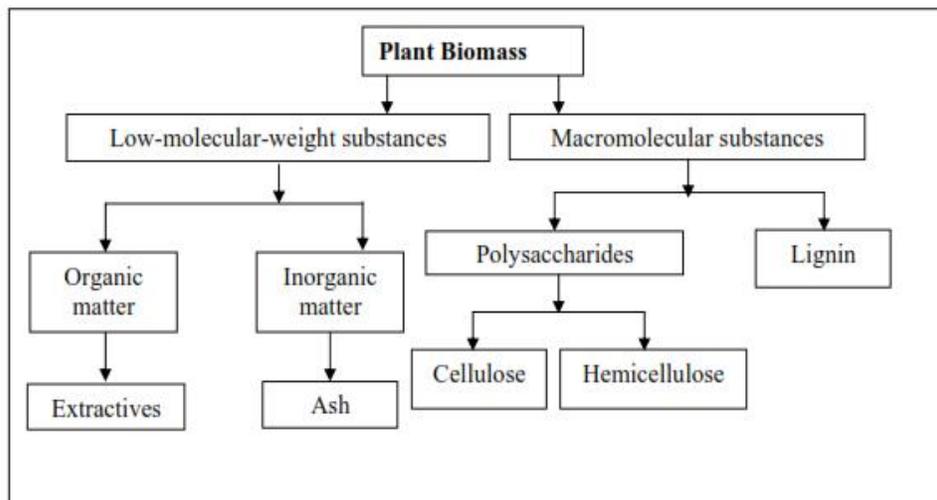
limbah kelapa sawit sebagai utama sumber biomassa termasuk tandan kosong buah (TKS), shell dan serat, yang tetap meningkat sebesar 5% per tahun (Yang et al., 2006).

Penggunaan energi dan industri biomassa menjadi lebih dan lebih teknologi dan menarik secara ekonomi. Penggunaan biomassa menawarkan keuntungan manfaat, seperti biomassa tersedia di setiap negara dalam berbagai bentuk. Dengan demikian, menjamin mengamankan pasokan bahan baku untuk sistem energi. Mempertahankan biomassa sebagai signifikan kontributor pasokan energi nasional bagi banyak negara, cara terbaik untuk memastikan otonomi yang lebih besar dan energi murah bagi industri. Dari manfaat lingkungan, pemanfaatan biomassa untuk energi alternatif untuk mengurangi lingkungan saat ini masalah seperti peningkatan CO<sub>2</sub> dalam suasana yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil (Li *et al.*, 2008). Selanjutnya, biofuel mengandung sulfur minimal, sehingga menghindari SO emisi. Untuk menjadi sukses, bahan bakar alternatif harus memberikan emisi rendah dan saingan bensin dan solar dalam hal biaya, pasokan, distribusi, pengiriman ke kendaraan, on-board penyimpanan dan kerapatan daya.

### 2.2.2. Sifat dan Komposisi Biomassa

Komposisi kimia dari biomassa sangat berbeda dari minyak batubara, minyak serpih dan lain-lain. Kehadiran sejumlah besar oksigen dalam

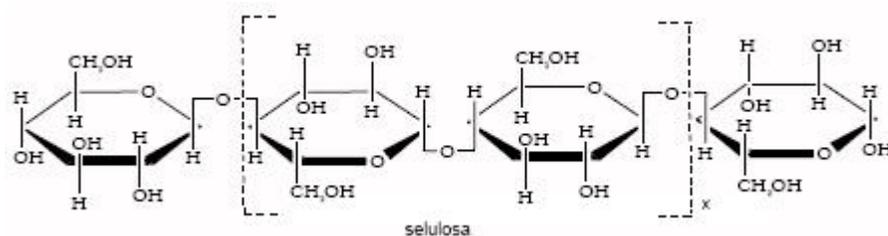
polimer karbohidrat tanaman berarti kimia pirolitik berbeda tajam dari bahan fosil lainnya. biomassa tanaman pada dasarnya adalah material komposit dibangun dari polimer yang mengandung oksigen organik. Komponen kimia struktural utama dengan massa molar tinggi karbohidrat polimer dan oligomer dan lignin. Bahan-rendah-molar massa kecil asing sebagian besar ekstraktif organik dan mineral anorganik juga hadir dalam biomassa. Bagian terbesar terdiri dari selulosa (glukosa polimer), hemiselulosa (juga disebut *Polycose*), lignin, ekstrak organik, dan mineral anorganik. Garis besar umum komponen dalam biomassa tanaman diberikan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Komponen secara umum pada biomassa

### 2.2.2.1 Selulosa

Selulosa ( $C_6H_{12}O_6$ )<sub>n</sub> adalah sebuah polisakarida yang tersusun dari D-glukosa yang terhubung secara seragam oleh ikatan  $\beta$ -glukosida. Derajat polimerisasi selulosa ditunjukkan oleh n dengan nilai kisaran yang lebar mulai dari beberapa ribu hingga puluhan ribu. Selulosa memiliki struktur kristal dan memiliki resistansi yang tinggi terhadap asam dan basa. Unit berulang dasar polimer selulosa terdiri dari dua unit anhydride glukosa, yang disebut unit selobiosa. Selulosa terdiri dari antara tahun 2000 dan 14000 residu yang kristal. Sebuah struktur kimia selulosa ditunjukkan pada Gambar 2.4.

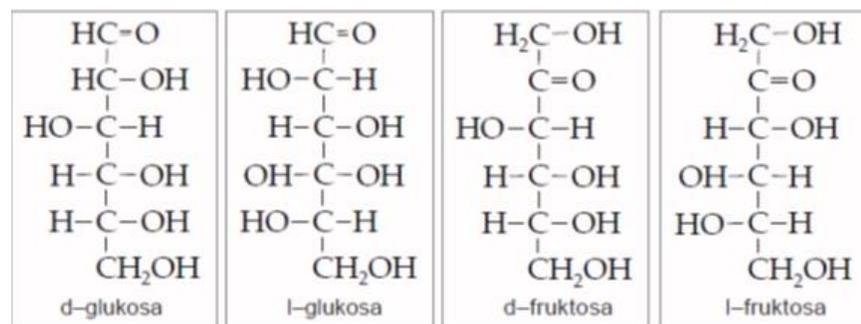


Gambar 2.3 Struktur kimia dari selulosa

### 2.2.2.2. Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah campuran berbagai monosakarida terpolimerisasi seperti glukosa, manosa, galaktosa, xilosa, arabinosa, asam glukuronat 4-O-metil dan residu asam galacturonic. Hemiselulosa menunjukkan berat molekul lebih

rendah dari selulosa. Jumlah monomer sakarida hanya 150, dibandingkan dengan jumlah selulosa (5000-10000). Selulosa hanya memiliki glukosa dalam struktur, sedangkan hemicellulose memiliki heteropolisakarida dan beberapa mengandung pendek rantai samping "cabang" liontin sepanjang rantai polimer utama. Komponen utama hemiselulosa diberikan pada Gambar 2.5.

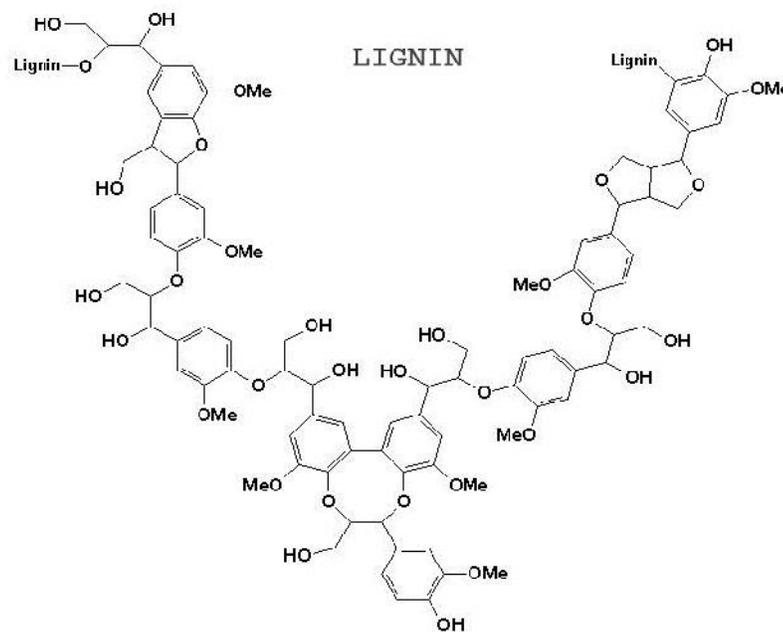


Gambar 2.4 Komponen utama hemiselulosa

### 2.2.2.3 Lignin

Lignin adalah yang paling melimpah polimer zat organik aromatik di dunia biomassa. Lignin terjadi bersama-sama dengan selulosa dan polisakarida lain dalam dinding sel pada biomassa. Struktur khas lignin ditunjukkan pada Gambar 2.6 yang paling umum. Lignin memiliki struktur amorf, yang menyebabkan sejumlah besar kemungkinan keterkaitan antar unit individu, karena reaksi radikal adalah kondensasi acak selektif. Sifat fisik dan kimia dari lignin berbeda, tergantung pada ekstraksi atau teknologi isolasi digunakan

untuk mengisolasi mereka. Lignin terurai ketika dipanaskan pada 280-500 °C. Lignin pada proses pirolisis menghasilkan fenol melalui pembelahan ikatan eter dan karbon-karbon. Lignin lebih sulit untuk dehidrasi dari selulosa atau hemiselulosa. Lignin pirolisis menghasilkan lebih arang sisa daripada pirolisis selulosa (Mohan et al., 2006).



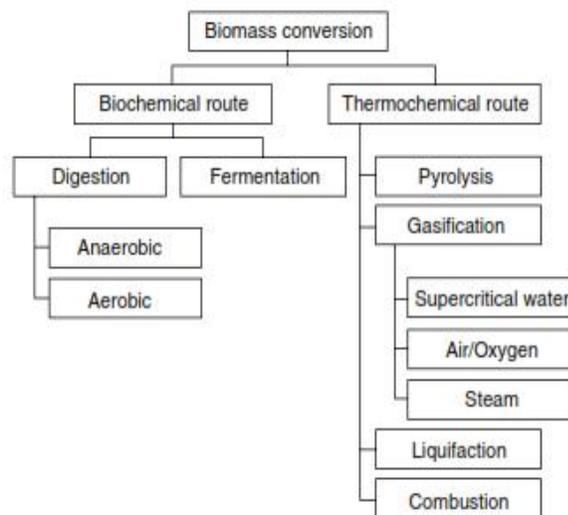
Gambar 2.5 Struktur Lignin

Dari tiga bagian besar yang terdapat di biomassa yaitu hemiselulosa, selulosa dan lignin memiliki temperatur degradasi atau perengkakan yang berbeda-beda dimana hemiselulosa akan terdegradasi mulai dari temperatur 200-300° C, selulosa akan terdegradasi mulai dari temperatur 300-400° C

dan lignin akan mulai terdegradasi mulai dari temperatur 250-500° C pada proses pirolisis (Johannes, 2011).

## 2.3 Konversi Biomassa

Konversi biomassa didefinisikan suatu proses perubahan biomassa menjadi energi lain baik berbentuk cair, padat maupun gas. Secara umum konversi biomassa dapat dilakukan dengan cara biokimia (*biochemical*) dan termokimia (*thermochemical*) (Basu, 2010).



Gambar 2.6 Klasifikasi Konversi Biomassa

### 2.3.1. Konversi Biokimia

Dalam konversi biokimia, molekul biomassa dirubah menjadi molekul yang lebih kecil oleh bakteri maupun enzim. Pada proses *biochemical* membutuhkan waktu lebih lama jika dibandingkan dengan konversi

thermokimia. Tapi pada proses konversi biokimia tidak memerlukan banyak energi dari luar. Ada tiga alur proses pada konversi biokimia, yaitu :

#### 1. Penguraian (*Digestion*)

Produk utama dari pada penguraian berupa metana dan karbondioksida selain residu padat. Proses biokimia ini menggunakan bantuan bakteri yang digunakan untuk mengurai zat-zat yang terkandung didalam biomassa untuk menghasilkan metana maupun karbondioksida.

Penguraian terbagi menjadi atas dua proses, yaitu :

##### a. Penguraian anaerobik

Penguraian anaerobik (*anaerobic digestion*) adalah proses dimana produk biomassa diproses dan dipecah menjadi biogas oleh bakteri dengan tanpa kehadiran oksigen. Biogas ini terdiri dari unsur-unsur seperti metana dan karbon dioksida yang dapat digunakan untuk memproduksi listrik. Agar penguraian anaerobik terjadi, produk harus bebas oksigen dan harus berada pada kondisi tertentu seperti tingkat suhu, kelembaban dan pH yang sesuai. Suhu yang cocok untuk proses ini adalah antara 30-40 °C dan 60-80 °C

##### b. Penguraian aerobik

Penguraian aerobik (*aerobic digestion*) adalah proses dimana produk biomassa diproses dan dipecah menjadi biogas oleh bakteri dengan kehadiran oksigen mutlak. Agar penguraian aerobik terjadi, untuk

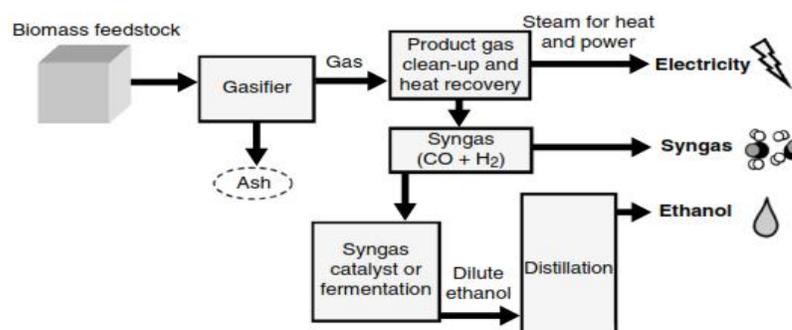
menghasilkan produk maka didalam tabung penguraian harus ada oksigen dan harus berada pada kondisi tertentu seperti tingkat suhu, kelembaban dan pH yang sesuai sekitar 6,5-8,5. Suhu yang cocok untuk proses ini harus lebih tinggi daripada proses anaerob.

## 2. Fermentasi

Dalam ilmu biologi, fermentasi diartikan proses konversi gula menjadi asam atau alkohol dengan bantuan bakteri atau ragi. Bakteri membantu gula menjadi asam dan sedangkan ragi digunakan untuk produksi alkohol. Fermentasi berlangsung dengan tanpa kehadiran oksigen (anaerob).

### 2.3.2. Konversi Termokimia

Metode termokimia merupakan sebuah metode konversi untuk memproduksi bahan bakar dari biomassa dimana metode ini mengkonversikan biomassa secara termal (McKendry, 2002). Dalam konversi termokimia, biomassa dirubah menjadi dalam bentuk padat, cair, dan gas yang kemudian disintetis melalui proses kimia ataupun dimanfaatkan langsung (gambar 2.2)



Gambar 2.7 Produksi Termokimia

Jenis bahan bakar hasil konversi termokimia bergantung pada jenis proses termokimia yang digunakan. Berdasarkan produk bahan bakar yang diinginkan, konversi termokimia dapat diklasifikasikan menjadi 3 metode yaitu metode pembakaran yang mengkonversi biomassa menjadi energi panas yang kemudian digunakan sebagai sumber energi pada pembangkit listrik, metode gasifikasi untuk mengkonversikan biomassa menjadi producer gas, dan metode pirolisis untuk mengkonversi biomassa menjadi bio-oil, producer gas, dan bio-arang (McKendry, 2002).

#### 1. Pembakaran

Pembakaran adalah proses kimia dengan kehadiran banyak oksigen (Air Fuel Ratio > 1) yang menghasilkan panas yang besar dan merupakan fenomena reaksi dapat berkelanjutan secara spontan melalui panas yang dihasilkan dari reaksi tersebut (Knoef, 2005). Metode pembakaran merupakan sebuah metode yang cukup efektif dan sudah terbukti dalam penanganan biomassa yang dilakukan di dalam *combustor*. Bila biomassa digunakan sebagai bahan bakar, reaksi oksidasi yang menghasilkan panas, dimana karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan unsur *combustible* lainnya yang ada dalam biomassa bereaksi dengan oksigen maka akan terjadi proses pembangkitan panas, karbondioksida dan air melalui reaksi oksidasi atau reaksi kimia eksotermis. Panas hasil pembakaran dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dalam siklus pembangkit uap yang dapat mengkonversikan energi panas menjadi energi kinetik menuju

turbin yang kemudian dikonversi menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran dan energi listrik dengan emisi polutan yang rendah (ZiaHaq, 2002). Alur proses pembakaran meliputi proses pengeringan, pirolisis, gasifikasi, pembakaran char, dan pembakaran gas hasil gasifikasi.

## 2. Gasifikasi

Gasifikasi merupakan proses termokimia untuk mengkonversi bahan baku biomassa padat menjadi bahan bakar gas mampu bakar dan bahan baku gas kimia (Knoef, 2005). Proses gasifikasi terjadi dalam sebuah gasifier dengan jumlah oksigen yang dikontrol (20%-40% udara stoikiometri) dimana komponen karbon yang ada dalam biomassa dikonversikan menjadi producer gas yang terdiri dari sebagian besar karbonmonoksida dan hidrogen serta sebagian kecil metan (Shunsheng, 2012). Selain itu, proses gasifikasi juga menghasilkan produk karbondioksida, tar dan senyawa hidrokarbon lainnya. Komposisi gas hasil gasifikasi sangat bergantung pada komposisi unsur dalam biomassa, bentuk dan partikel biomassa, serta kondisi-kondisi proses gasifikasi. Pada proses gasifikasi, mekanisme diawali dengan proses pengeringan atau proses penguapan air yang terkandung dalam sampah pada temperatur antara 100-200° C kemudian dilanjutkan proses pirolisis pada temperatur 200-800° C, reaksi oksidasi pada 1.100-1.200° C dan reaksi reduksi pada 600-700° C. Sebagai ilustrasi, komposisi gas hasil gasifikasi sekam padi bentuk jarum

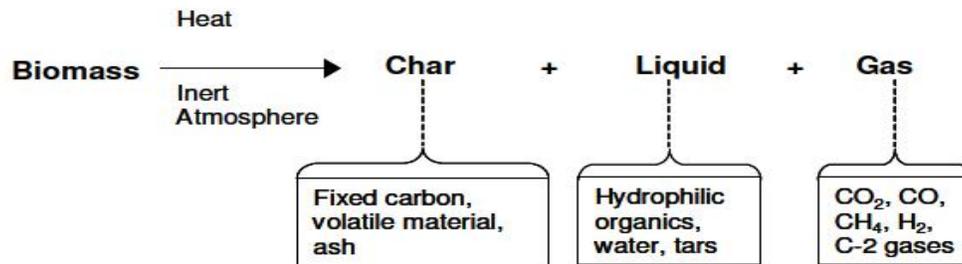
ukuran 1 cm adalah CO 20,1%, H<sub>2</sub> 11.3%, CH<sub>4</sub> 1,8%, CO<sub>2</sub> %, N<sub>2</sub> 55,4%, dan panas pembakaran 435 Kj/kg (Herry, 2005).

### 3. Pirolisis

Pirolisis merupakan metode konversi biomassa padat menjadi beberapa jenis bahan bakar yaitu cair, padat dan gas. Dalam proses pirolisis, biomassa padat dipanaskan dalam sebuah reaktor pada temperatur operasi dengan tanpa kehadiran oksigen. Hasil produk pirolisis sangat bersih sehingga merupakan alternatif energi fosil yang perlu adanya pengembangan lebih lanjut.

## 2.4 Metode Pirolisis

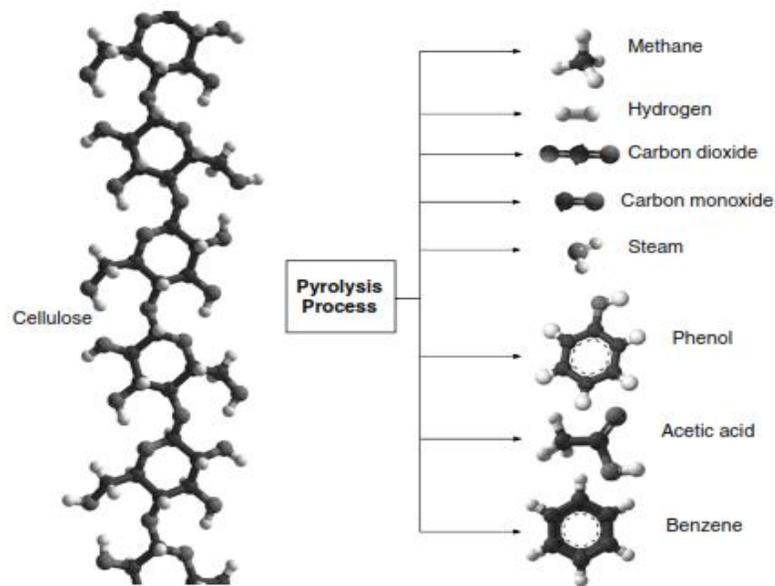
Pirolisis adalah proses dekomposisi thermo-kimia di mana bahan organik diubah menjadi kaya karbon padat dan stabil materi dengan pemanasan tanpa kehadiran oksigen (Demirbas dan Arin, 2002). Bahan padat tersebut disebut sebagai char, biochar, atau arang, dan umumnya dari kandungan karbon yang tinggi dan mungkin berisi sekitar setengah dari total karbon asli organik materi. Volatil sebagian dapat terkondensasi untuk memberikan fraksi cair meninggalkan campuran *socalled* 'Non-terkondensasi gas. Setiap tiga aliran produk dari pirolisis, padat, cair dan gas, dapat memiliki sifat dan memberikan nilai dari proses.



Gambar 2.8 Reprerentasi sederhana dari proses pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia pada biomassa dengan mengubah biomassa menjadi produk berguna. Pirolisis merupakan salah satu tahap dari beberapa tahap reaksi atau zona proses gasifikasi.

Selama proses pirolisis, molekul hidrokarbon yang kompleks dari biomassa hancur menjadi molekul lebih kecil dan menjadi syngas (bio-gas), *liquid* (bio-oil) dan car (bio-arang) (Basu, 2010). Pada prinsipnya, pirolisis hampir sama dengan proses cracking, devotalisasi, karbonisasi, destilasi dan thermolisis. Akan tetapi, pirolisis tidak sama dengan proses gasifikasi dimana proses gasifikasi melibatkan reaksi kimia dengan senyawa luar yang disebut media gasifikasi. Pirolisis biomassa bersifat relatif terhadap temperatur rendah yaitu sekitar 300-650° C dan beroperasi dalam reaktor tanpa kehadiran oksigen (Kumar, 2009). Sedangkan gasifikasi beroperasi pada temperatur 650-1000° C dan beroperasi dalam *gasifier* dengan kehadiran sedikit oksigen (Basu, 2010).



Gambar 2.9 Proses dekomposisi hidrokarbon

Proses dekomposisi pirolisis melibatkan pemanasan biomassa dalam sebuah reaktor pada temperatur pirolisis tanpa kehadiran oksigen untuk menghasilkan produk baru yang berguna. Hasil produk pirolisis sangat dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan selama proses misalnya temperatur operasi dan laju pemanasan (Basu, 2010).

Proses pirolisis menghasilkan produk berguna berupa uap panas yang kemudian dikondensasi menjadi *liquid* (bio-oil), *syngas* (bio-gas) dan *char* (bio-arang). Bio-oil proses pirolisis merupakan hasil kondensasi uap panas hasil pirolisis, *syngas* merupakan gas permanen yang tidak dapat terkondensasi (*non condensable gases*), sedangkan bio-arang hasil proses pirolisis merupakan karbon aktif hasil sisa pemanasan biomassa yang berada didalam reaktor (Neves, 2011).

Bahan bakar hasil proses pirolisis dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Bio-oil dapat digunakan sebagai bahan bakar internal combustion engine, bio-arang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produser gas dengan teknik gasifikasi dan sebagai bahan bakar untuk proses *combustion* dan *co-combustion* untuk menghasilkan panas dan bio-gas dapat digunakan sebagai bahan bakar gas *engine* (Hossain, 2013). Bahan bakar pirolisis lebih efektif dibandingkan dengan pembakaran sampah karena memiliki efisiensi pembakaran yang lebih baik (Ziahaq, 2002) dan memberikan dampak pencemaran lingkungan yang sangat rendah (Agung dan Gandidi, 2012). Selain itu, bio-gas dan bio-oil pirolisis dapat juga digunakan sebagai bahan bakar untuk pengeringan hasil-hasil pertanian dan perkebunan (Gandidi dkk, 2011) dan juga bisa diproses lebih lanjut seperti diolah menjadi methanol (Verma, 2012).

## **2.5 Jenis-Jenis Pirolisis**

Berdasarkan tingkat pemanasannya, pirolisis secara luas dapat diklasifikasikan sebagai pirolisis lambat dan pirolisis cepat. Hal ini dianggap lambat jika waktu ( $t$ ), yang diperlukan untuk memanaskan bahan bakar untuk suhu pirolisis jauh lebih lama dari waktu reaksi pirolisis karakteristik, ( $t$ ) pemanasan, dan sebaliknya (Basu, 2010). Atau dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Slow Pyrolysis

Dalam pirolisis lambat, waktu tinggal uap berada di urutan menit atau lebih. Proses ini digunakan terutama untuk produksi arang dan dipecah menjadi dua jenis yaitu karbonisasi dan konvensional.

- Fast Pyrolysis

Dalam pirolisis cepat, waktu tinggal uap adalah pada urutan detik atau milidetik. Jenis pirolisis ini digunakan terutama untuk produksi bio-oil dan gas, adalah dua jenis utama yaitu flash dan ultra-cepat.

Adapun penjelasan dari masing-masing jenis pirolisis yang ada adalah sebagai berikut :

1. *Slow Pyrolysis*

*Slow pyrolysis* merupakan proses pirolisis pada temperatur sedang (350-400° C) dengan laju pemanasan yang lambat (5-7° C/menit) dimana produk utama yang dihasilkan adalah padatan, minyak, dan gas.

2. *Fast Pyrolysis*

Tujuan utama dari pirolisis cepat adalah untuk memaksimalkan produksi cairan atau bio-oil. Biomassa dipanaskan sangat cepat sehingga mencapai puncak (pirolisis) suhu sebelum terurai. Tingkat pemanasan bisa setinggi 1000 sampai 10.000° C / s, tetapi suhu puncak harus di bawah 650° C jika bio-oil adalah produk yang diinginkan. Namun, suhu puncak bisa sampai 1000° C

jika produksi gas adalah yang diinginkan. Empat hal penting dari proses pirolisis cepat yang membantu meningkatkan hasil cair adalah tingkat pemanasan yang sangat tinggi, suhu reaksi dalam kisaran 425-600° C, waktu tinggal pendek (< 3 detik) uap dalam reaktor dan pendinginan yang cepat dari gas produk.

### 3. *Flash Pyrolysis*

Kondisi operasi *flash pyrolysis* berada pada temperatur operasi yang tinggi yaitu > 600° C dan laju pemanasan yang tinggi (1000° C/menit). *Flash pyrolysis* ditujukan untuk mendapatkan hasil maksimal pada bahan bakar gas karena pada proses ini, semua komposisi biomassa akan menguap dan produk yang dihasilkan lebih ke gas yang tidak bisa terkondensasi. Operasi seperti meningkatkan hasil cair, akan mengurangi produksi arang. Sebuah hasil khas bio-oil pada flash pirolisis adalah 70-75% dari total produk pirolisis.

### 4. Terofaksi

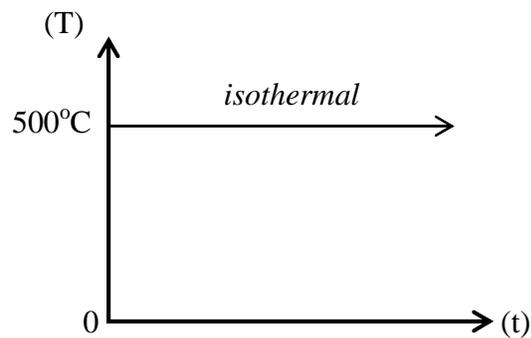
Terofaksi merupakan proses pirolisis pada temperatur 200-300° C dengan laju pemanasan yang lambat (5-7° C/menit) dimana produk utama yang dihasilkan adalah padatan yang kaya akan karbon.

## 2.6 **Pirolisis *Isothermal* Dan *Non Isothermal***

Pirolisis *isothermal* dan *non isothermal* sangatlah berbeda, perbedaan itu terdapat pada temperature kerja pirolisis. Berikut penjelasan *pirolisis isothermal* dan *non isothermal*:

### 2.6.1. Pirolisis Isothermal

Pirolisis isothermal adalah proses pemutusan rantai kimia dengan menggunakan temperatur yang konstan atau tetap tanpa kehadiran oksigen. Sehingga pada saat memasukkan bahan baku ke dalam reaktor pirolisis dilakukan setelah temperature kerja yang dituju telah tercapai.



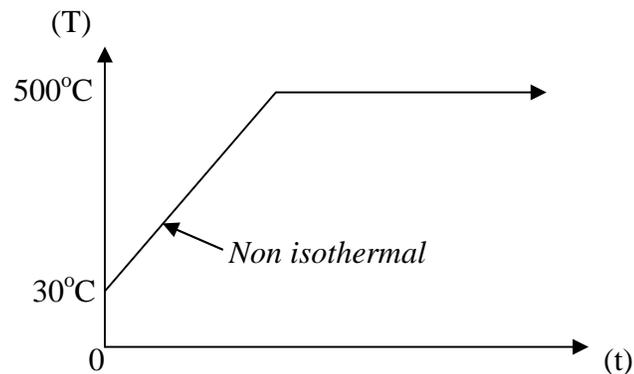
Gambar 2.10. Pirolisis *isothermal*

Berdasarkan grafik 2.2. bahan baku diumpankan ketika temperatur kerja pirolisis tercapai dan pada waktu itu juga waktu reaksi pirolisis dimulai. Pada proses pirolisis tentu tidak diperbolehkan adanya kehadiran oksigen agar tidak terjadinya pembakaran di dalam reaktor. Sehingga pada pirolisis isothermal diperlukan penghubung khusus untuk mengumpankan bahan baku ke reaktor agar tidak ada oksigen yang ikut kedalam reaktor.

### 2.6.2. Pirolisis *Non Isothermal*

Pirolisis *non isothermal* adalah proses pirolisis yang dilakukan dengan temperatur yang terus meningkat atau tidak konstan. Pengumpanan

bahanbaku dilakukan pada awal proses pirolisis kemudian reaktor dipanaskan dan waktu reaksi dimulai hingga temperatur kerja atau temperature yang dituju tercapai.



Gambar 2.11. Pirolisis *Non isothermal*

Berdasarkan grafik 2.2 bahan baku di umpankan ketika temperatur 30 °C atau temperature ruangan kemudian waktu reaksi baru dimulai hingga temperatur kerja tercapai. Penelitian sebelumnya tentang pirolisis non isothermal pernah dilakukan oleh Yongjiang, (2011) dimana terjadinya penurunan berat bahan baku sebesar 17,5 % antara temperatur 603°K dan 873°K akibat pelepasan hidrokarbon. Dari penelitian tersebut melaporkan bahwa seiring kenaikan temperatur degradasi yang terjadi pada minyak serpih semakin meningkat.

## 2.7 Parameter Proses Pirolisis

Komposisi penyusun biomassa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin akan mengalami perubahan sifat fisik dan sifat kimia selama proses pirolisis

berlangsung. Perubahan material biomassa sangat dipengaruhi berbagai faktor selama proses berlangsung. Faktor-faktor tersebut meliputi temperatur operasi, laju pemanasan, waktu tinggal material, kehadiran oksigen, kadar air dan ukuran partikel biomassa (Tumuluru, 2011).

#### 1. Temperatur

Temperatur pirolisis berada pada kisaran 300-650° C. Temperatur ini akan menentukan tingkat dekomposisi material sampah, waktu tinggal dalam reaktor, dan hasil pirolisis. Laju dekomposisi dan kerusakan struktur penyusun material meningkat dengan meningkatnya temperatur reaksi pirolisis (Bridgeman, 2008). Akibatnya, terjadipeningkatan kehilangan massa dan proses karbonisasi material. Akan tetapi, jika temperatur reaksi terlalu tinggi melebihi temperatur pirolisis, tingkat dekomposisi akan sangat reaktif yang mengakibatkan komponen penyusun material akan banyak dikonversikan ke dalam bentuk gas dan *liquid*. Konsekuensinya, produk padatan hasil pirolisis menjadi berkurang dengan waktu tinggal dalam reaktor yang lebih singkat (Sridhar, 2007).

#### 2. Waktu reaksi

Waktu reaksi berkaitan dengan lamanya waktu pemanasan material dalam reaktor. Variabel ini akan mempengaruhi proses depolimerisasi, dekomposisi, dan karbonisasi selama proses pirolisis berlangsung. Jika waktu tinggal cukup, proses pirolisis akan sempurna untuk mengkonversikan bahan baku menjadi gas dan *liquid*. Lamanya waktu tinggal proses pirolisis

pada dasarnya disesuaikan dengan material bahan baku yang digunakan dan setiap bahan baku mempunyai waktu tinggal yang proporsional (Basu, 2010).

### 3. Ukuran Partikel Sampah

Ukuran partikel memberikan pengaruh pada luas permukaan kontak perpindahan panas antara material dan sumber panas selama proses dekomposisi termal. Semakin kecil ukuran partikel, permukaan perpindahan panas semakin luas dan akan meningkatkan laju perpindahan panas ke permukaan material. Konsekuensinya akan meningkatkan laju dekomposisi pada material dan meningkatkan efisiensi pirolisis terutama pada kebutuhan waktu tinggal yang pendek (Ohliger, 2012). Namun begitu, pengaruh laju pemanasan terhadap ukuran partikel perlu diperhatikan karena ukuran partikel yang kecil akan mengalami laju pemanasan yang cepat dan akan berpengaruh pada hasil padatan pirolisis.

### 4. Laju Pemanasan

Laju pemanasan merupakan besarnya energi termal yang diberikan terhadap material per satuan waktu. Laju pemanasan ini akan menentukan komposisi produk yang dihasilkan. Jika laju pemanasan yang tinggi, kecendrungan produk dalam bentuk *liquid* dan gas (Luo, 2011).

### 5. Kehadiran Oksigen

Kehadiran oksigen dalam proses pirolisis akan mempengaruhi proses dekomposisi termal pada material biomassa. Kehadiran oksigen akan

memicu terjadinya proses pembakaran akibat reaksi oksidasi antara material organik dan oksigen (Klarsson, 2013).

## 2.8 Karakteristik Produk Pirolisis

Proses pirolisis melibatkan pemecahan molekul kompleks besar menjadi beberapa molekul yang lebih kecil. Produk yang diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu :

### 1. *Solid (mostly char or carbon)*

Char adalah hasil yang solid dari pirolisis. Hal ini terutama karbon (85%), tetapi bisa juga mengandung beberapa oksigen dan hidrogen. Tidak seperti bahan bakar fosil, biomassa mengandung sangat sedikit abu anorganik. Nilai kalor (LHV) arang adalah sekitar 32 MJ / kg (Diebold dan Bridgwater, 1997), yang secara substansial lebih tinggi dibandingkan dengan produk cair.

### 2. *Liquid (tars, heavier hydrocarbons, and water)*

Hasil cair, yang dikenal sebagai tar, *bio-oil*, atau *biocrude*, adalah cairan berwarna hitam yang berisi sampai dengan 20% air. Ini terutama terdiri dari senyawa fenolik homolog. Bio-minyak campuran hidrokarbon kompleks dengan jumlah besar oksigen dan air. Sementara biomassa induk memiliki LHV di kisaran 19,521 MJ / kg basis kering, hasil cairan yang memiliki LHV rendah, di kisaran 13 sampai 18 MJ / kg basis basah (Diebold et al., 1997). Bio-oil diproduksi cepat dan memecah-belah selulosa, hemiselulosa, dan

lignin komponen biomassa. Dalam operasi yang khas, biomassa dikenai kenaikan suhu yang cepat diikuti oleh pendinginan cepat untuk "membekukan" pirolisis menengah produk.

### 3. Gas

Dekomposisi utama biomassa menghasilkan baik gas terkondensasi (uap) dan gas non terkondensasi (gas primer). Uap yang terbuat dari molekul yang lebih berat, mengembun pada pendinginan, menambah hasil cair pirolisis. Campuran gas *noncondensable* mengandung gas yang lebih rendah berat molekul seperti karbon dioksida, karbon monoksida, metana, etana, dan etilena. Gas *noncondensable* tambahan dihasilkan melalui retak sekunder dari uap disebut gas sekunder. Produk gas *noncondensable* akhir demikian campuran primer dan gas sekunder. LHV gas primer biasanya  $11 \text{ MJ} / \text{Nm}^3$ , tetapi pirolisis gas yang terbentuk setelah terjadi retak sekunder uap jenuh yaitu sebesar :  $20 \text{ MJ} / \text{Nm}^3$  (Diebold dan Bridgwater, 1997).

Produk utama dari proses pirolisis berbentuk *liquid* masuk dalam kategori generasi bahan bakar bakar minyak (BBM) berbasis petroleum (minyak bumi) dan merupakan jenis bio-energi yang dapat dimanfaatkan sebagai substitusi bahan bakar fosil (Basu, 2010). Bentuk fisik bio-oil sangat berbeda dengan produk minyak dari fosil dan turunannya. Bio-oil hasil pirolisis biomassa seperti kayu akan menghasilkan minyak berwarna gelap pekat dan beraroma seperti asap (Kuhlmann et al., 1994). Bio-oil terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen

dengan sedikit sulfur. Komponen terbesar dalam bio-oil yaitu lignin, alkohol, asam organik, dan karbonil. Komposisi tersebut menjadikan bio-oil menjadi bahan bakar yang ramah lingkungan. Selain itu, bio-oil memiliki nilai kalor (*heating value*) 22,1 MJ/L yang lebih besar dibandingkan bahan bakar oksigenasi lainnya seperti metanol yaitu sekitar 17,5 MJ/L dan nilainya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan *diesel oil* (38,9 MJ/L) dan *fuel oil* lainnya seperti etanol (23,5 MJ/L) (Bergman, 2005). Adapun karakteristik serta komposisi bio-oil dari proses pirolisis dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 Karakteristik Bio-oil hasil pirolisis

Karakteristik Bio-oil	Nilai
Angka Setna	51
Titik Nyala	>110 °C
Specific Gravity (20 °C)	0,97
Sulfur (%)	<0,06
Densitas (gram/ml)	1,2
Viskositas (cp)	100-150 @ 50 °C

Tabel 2.2 Komposisi Bio-oil hasil pirolisis

No	Komponen	Rumus Molekul	% Berat
1	Hydroxyacetaldehyde	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	5,93
2	1-Hydroxy-2-propanone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	7,31
3	2-Methoxyphenol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0,61

4	2,6-Dimetyl Phenol	$C_8H_{10}O_3$	3,8
5	Asam Formiat	$CH_2O_2$	3,41
6	4-Vinyl-2,6-dimethoxyphenol	$C_{10}H_{12}O_3$	16,36
7	Toluen	$C_7H_8$	2,27
8	Furfural	$C_5H_4O_2$	18,98
9	Benzena	$C_6H_6$	0,77
10	Hydrogen	$H_2O$	10,8
11	Phenol	$C_6H_6O$	0,46

## 2.9. Fraksi Hidrokarbon Bio-Oil

Bio-oil adalah bahan bakar minyak yang berasal dari proses pirolisis akibat terjadinya pemutusan senyawa kimia C, H dan O dari makhluk hidup dengan menggunakan energy panas yang kemudian dikondensasi menjadi cair (Basu, 2010). Secara umum bio-oil terbentuk dari senyawa C, H yang membentuk ikatan  $C_xH_y$ . Pada fraksi hidrokarbon disusun oleh banyaknya senyawa-senyawa yang menentukan kualitas dari bio-oil tersebut. Berikut adalah 5 fraksi hidrokarbon berdasarkan rantai kimianya: (Riazi, 2010)

### 1. n-parafin

Parafin adalah hidrokarbon alkana dengan formula  $C_nH_{2n+2}$ . Parafin adalah fraksi utama dari bahan bakar minyak mentah yang dihasilkan dari proses *straight-distillation*, dimana nilai oktan yang dapat dihasilkan yaitu nilai oktan yang rendah. Salah satu contoh golongan dari parafin adalah senyawa metana ( $CH_4$ ). Parafin mempunyai karakteristik nilai setana yang cukup tinggi.

## 2. Nafta/nepthene

Nafta merupakan senyawa siklik yang jenuh (rantai alkana) dan tidak reaktif, yang merupakan senyawa kedua terbanyak dalam minyak bumi. Senyawa ini mempunyai berat molekul yang rendah dan digunakan sebagai bahan bakar. Sedangkan nafta yang mempunyai berat molekul tinggi terdapat pada fraksi gas oil dan minyak pelumas.

## 3. Iso-parafin

Iso-parafin adalah senyawa hidrokarbon alkana yang mempunyai rantai cabang sangat sedikit, namun jumlah iso-parafinnya dapat ditingkatkan melalui proses perengkahan katalitik, alkilasi, isomerasi, dan polimerasi.

## 4. Olefin

Senyawa olefin merupakan senyawa hidrokarbon rantai jenuh atau sering dijumpai dalam bentuk alkena. Senyawa olefin hampir tidak ada didalam minyak mentah tetapi proses perengkahan katalitik akan menghasilkan senyawa ini.

## 5. Aromatik

Aromatik merupakan senyawa yang sangat dibutuhkan bahan bakar bensin sebagai bahan anti *knocking*. Aromatik mempunyai bilangan oktana yang cukup tinggi. Akan tetapi kehadiran senyawa olefin dalam minyak mentah sangat sedikit.



	Sampel Uji																	
3	Persiapan Alat																	
4	Pengujian																	
5	Analisa Data																	
6	Penulisan Laporan																	

### 1. Studi Literatur

Pada penelitian ini dilakukan studi literatur tentang bahan biomassa (sampah padat perkotaan), teknologi konversi biomassa, metode pirolisis.

### 2. Pengolahan Sampel Uji

Sampel uji untuk bahan penelitian diambil dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Bakung yang berlokasi di kecamatan Teluk Betung Barat Kota Bandar Lampung. Kemudian sampel di keringkan dan di cacah dengan menggunakan mesin pencacah hingga sampel berukuran rata-rata 0.5 sampai 2 cm.

### 3. Persiapan Alat

Persiapan alat pirolisis yaitu reaktor *fixed bed* dan memasang komponen-komponen reaktor menjadi satu kesatuan.

### 4. Pengujian

Pengujian dilakukan berdasarkan pada perbandingan komposisi sampah dengan pengaruh temperatur.

## 5. Analisa Data

Data-data dari hasil pengujian selanjutnya akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis terhadap prestasi proses pirolisis sampah padat kota, baik dari waktu yang dicapai maupun produk yang dihasilkan.

## 6. Penulisan Laporan

Penulisan Laporan adalah tahap akhir dari penelitian ini.

### 3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam proses pirolisis adalah sebagai berikut:

##### a. Reaktor

Reaktor ini digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis. Reaktor terdiri dari sebuah tabung, tutup tabung, *pressure gauge*, *safety valve*, *thermocouple* dan pipa *output*. Tabung reaktor berfungsi sebagai tempat penampungan material uji yang akan dipanaskan. Tutup tabung berfungsi sebagai tutup yang memungkinkan tidak terjadinya pertukaran udara didalam tabung. *Pressure gauge* berfungsi sebagai pengukur tekanan yang ada didalam tabung. *Safety valve* berfungsi untuk mengatur tekanan berlebih yang ada di dalam tabung. *Thermocouple* berfungsi sebagai pembaca temperature di dalam tabung. Pipa *output* berfungsi sebagai jalan keluar uap atau gas produk pirolisis menuju kondensor.



Gambar 3.1 Reaktor

b. Pemanas (*Heater*)

Pemanas berfungsi sebagai sumber panas untuk memanaskan reaktor. Transfer energi pada pemanas terjadi dalam tahapan pembangkitan energi panas oleh element pemanas yang energinya disuplai dari energi listrik. Pemanas yang dibuat dapat menghasilkan kapasitas pemanasan mulai dari 30° C sampai 1000° C.



Gambar 3.2 Pemanas

c. Kondensor

Kondensor merupakan bagian dari alat pirolisis yang terdiri dari pipa tembaga, bak penampung air dan air. Kondensor berfungsi sebagai alat perubah fasa pada proses pirolisis dengan cara merubah fasa uap hasil pemanasan dalam reaktor menjadi fasa cair.



Gambar 3.3 Kondensor

d. Tabung Sampel Uji

Tabung sampel uji digunakan sebagai wadah produk pirolisis.



Gambar 3.4 Tabung sampel uji

e. Kran ¼ Inchi

Katup digunakan sebagai katup pemisah antara pipa keluaran uap pada tabung reaktor dengan kondesor, sehingga pada saat temperatur kondensasi belum mencapai temperatur yang diinginkan gas di dalam tabung reaktor tidak keluar.



Gambar 3.5 Kran ¼ inchi

f. *Thermocouple*

Dalam pengambilan data, *thermocouple* ini digunakan sebagai pengukur temperatur didalam reaktor untuk mengetahui temperatur kerja pada proses pirolisis sudah tercapai.



Gambar 3.6 *Thermocouple*

#### g. Timbangan Digital

Timbangan pada penelitian ini digunakan untuk mengukur berat dari bahan sampah yang digunakan untuk proses pirolisis serta untuk menimbang bio-oil hasil kondensasi.



Gambar 3.7 Timbangan digital

#### h. Sarung Tangan

Sarung tangan digunakan untuk peralatan keamanan operator saat melakukan pengambilan data.



Gambar 3.8 Sarung tangan

### i. Masker

Masker digunakan untuk keamanan operator dari gas-gas berbahaya hasil pirolisis.



Gambar 3.9 Masker

## 2. Bahan

Adapun bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah padat perkotaan. Sampah di ambil secara acak di TPA Bakung sebanyak satu truk sampah. Kemudian dipisahkan sesuai dengan jenis-jenis sampah tersebut lalu dikeringkan dan ditimbang untuk mendapatkan rasio bahan baku yang digunakan. Sampah tersebut terdiri dari lima jenis sampah yaitu sampah organik, sampah plastik, sampah kertas, sampah karet dan sampah tekstil. Untuk lebih jelas tentang bahan-bahan yang digunakan dapat dilihat deskripsi dibawah ini :

### a. Sampah Organik

Sampah organik yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa sayuran, daun ,sisa makanan dan rumput yang sering kita jumpai di pasar tradisional, rumah tangga maupun lingkungan sekitar. Untuk kayu dan ranting juga dapat ditemukan di lingkungan sekitar kita yaitu dari

penebangan pohon yang sudah mati. Sampah ini merupakan limbah biomassa, dimana kandungan bio-oil sangat berlimpah. Limbah ini tentunya sangat baik dimanfaatkan karena sudah banyak peneliti yang melakukan riset mengenai sampah ini. Selain itu ketersediannya yang berlimpah dan dapat kita temui menjadi alasan utama untuk dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif.



Gambar 3.10 Sampah Organik

#### b. Sampah Plastik

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering menjumpai plastik sebagai kemasan berbagai produk dan merupakan bahan yang banyak digunakan untuk keperluan sehari-hari. Ketika plastik sudah tidak digunakan lagi, maka plastik akan dibuang oleh penggunanya. Sehingga keberadaan sampah plastik cukup banyak pada tumpukan sampah. Plastik yang digunakan pada percobaan ini yaitu *Low Density Poly Ethylene* (LDPE) dan *High Density Poly Ethylene* (HDPE). Dalam tumpukan sampah jenis plastik tersebut dapat dengan mudah kita jumpai. Dari plastik inilah

tersimpan kandungan bio-oil yang dapat kita konversikan sebagai bahan bakar.



Gambar 3.11 Sampah Plastik

c. Kertas

Kertas merupakan suatu bahan tipis yang dihasilkan dari kompresi serat yang berasal dari *pulp*. Serat yang digunakan adalah serat alami dan mengandung selulosa dan hemiselulosa. Kertas digunakan sebagai alat media tulis dan pembungkusan suatu produk. Sedangkan setelah penggunaannya, kertas hanya dibuang oleh konsumen. Kertas masih mengandung selulosa dan hemiselulosa sehingga limbah kertas masih dapat dimanfaatkan.



Gambar 3.12 Sampah kertas

#### d. Karet

Sampah karet merupakan salah satu jenis sampah yang masuk dalam kategori *Polistyrene* (PS). Sampah jenis ini bisanyan banyak dijumpai dalam bentuk ban bekas. Karet ban ini diproduksi dari hidrokarbon minyak bumi yang diturunkan, sehingga sampah jenis ini juga potensial apabila dikonversikan menjadi bahan bakar cair.



Gambar 3.13 Ban bekas

#### e. Tekstil

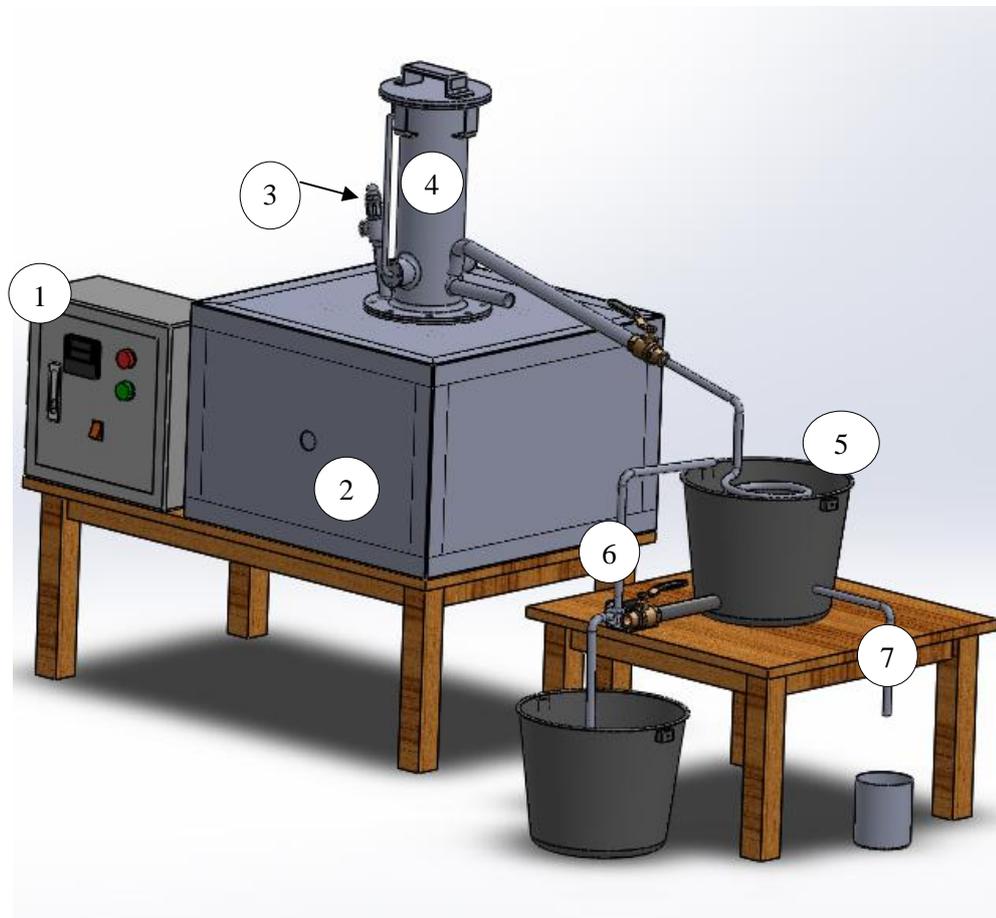
Istilah tekstil dalam pemakaiannya sehari-hari sering disamakan dengan istilah kain. Tekstil/kain digunakan untuk keperluan sandang oleh manusia. Limbah tekstil berasal dari sisa-sisa dari proses penjahitan suatu konveksi. Tekstil terdiri dari selulosa dan hemiselulosa sehingga bisa dikonversikan kedalam bahan bakar.



Gambar 3.14 Tekstil

### 3.4 Rangkaian Unit Pirolizer

Adapun rangkaian alat uji pirolisis adalah sebagai berikut:



Gambar 3.15 Desain rangkaian alat uji

Keterangan :

1. *Control Panel*

2. Pemanas (*heater*)

3. *Thermocouple*

4. Reaktor

5. Kondensor

6. Sirkulasi Air Kondensor

7. Keluaran Hasil Produk *Bio-oil*

### 3.5 Metode Pengujian

Adapun tahapan pengujian yang dilakukan adalah:

1. Menyiapkan reaktor pirolisis dan bahan yang akan digunakan.
2. Menimbang sampel sampah yang digunakan dengan timbangan pada berat total 500 gram.
3. Memasukkan sampel sampah yang telah di timbang ke dalam reaktor.
4. Menutup tabung reaktor pengumpan dengan rapat agar terhindar dari kebocoran.
5. Setelah semua tertutup rapat, menginjeksikan gas N<sub>2</sub> ke dalam reaktor untuk mendorong keluar O<sub>2</sub> yang masih terkandung didalam reaktor.
6. Menghidupkan *heater* dan mengatur temperatur yang ditentukan sesuai data tiap pengujian.
7. Menunggu proses pirolisis dan mencatat waktu reaksi.
8. Membuka keran kondensor agar uap hasil pirolisis dapat terkondensasi ke dalam botol penampungan.
9. Mencatat hasil *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis.
10. Mengulangi langkah 1 sampai 9 dengan variasi temperatur lainnya yang telah ditentukan.
11. Setelah mendapatkan data pengujian, kemudian melakukan pengujian karakteristik bio-oil terbaik penelitian meliputi pengujian nilai kalor, *fire point*, *flash point*, *pour point*, viskositas kinematic, *ash content* dan *water content* untuk melihat kualitas dari bio-oil.

### 3.6 Pengujian Laboratorium

Pengujian Laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan sifat kimia pada bi-oil yang dihasilkan. Berikut adalah pengujian Laboratorium yang digunakan untuk menganalisa hasil bio oil dari proses pirolisis yaitu :

1. Uji GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*)

Uji GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) dilakukan untuk mengetahui persentase komposisi kandungan bio-oil yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Universitas Gadjah Mada.

2. Uji *Flash Point*

Temperatur *Flash Point* adalah pengujian untuk melihat temperatur berapa bahan bakar akan menyala (terbakar) jika dikenai sumber api. Namun demikian, kondisi tersebut hanya bertahan beberapa saat saja. Setelah timbul api, maka api akan mati dalam waktu yang tidak lama kemudian. Hal ini disebabkan karena kondisi tersebut belum cukup untuk membuat bahan bakar bereaksi untuk menghasilkan api lagi (api yang kontinu). Uji ini menggunakan standar ASTM D-93. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi Universitas Trisakti.

3. Uji Viskositas Kinematik

Uji ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekentalan bio oil yang dihasilkan pada proses pirolisis. Uji ini dilakukan di Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi Universitas Trisakti. Uji ini menggunakan standar ASTM D 445.

#### 4. Uji *Water Content*

Uji ini dimaksudkan untuk melihat kadar air yang ada di dalam bio oil yang dihasilkan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti. Uji ini menggunakan standar ASTM D 95.

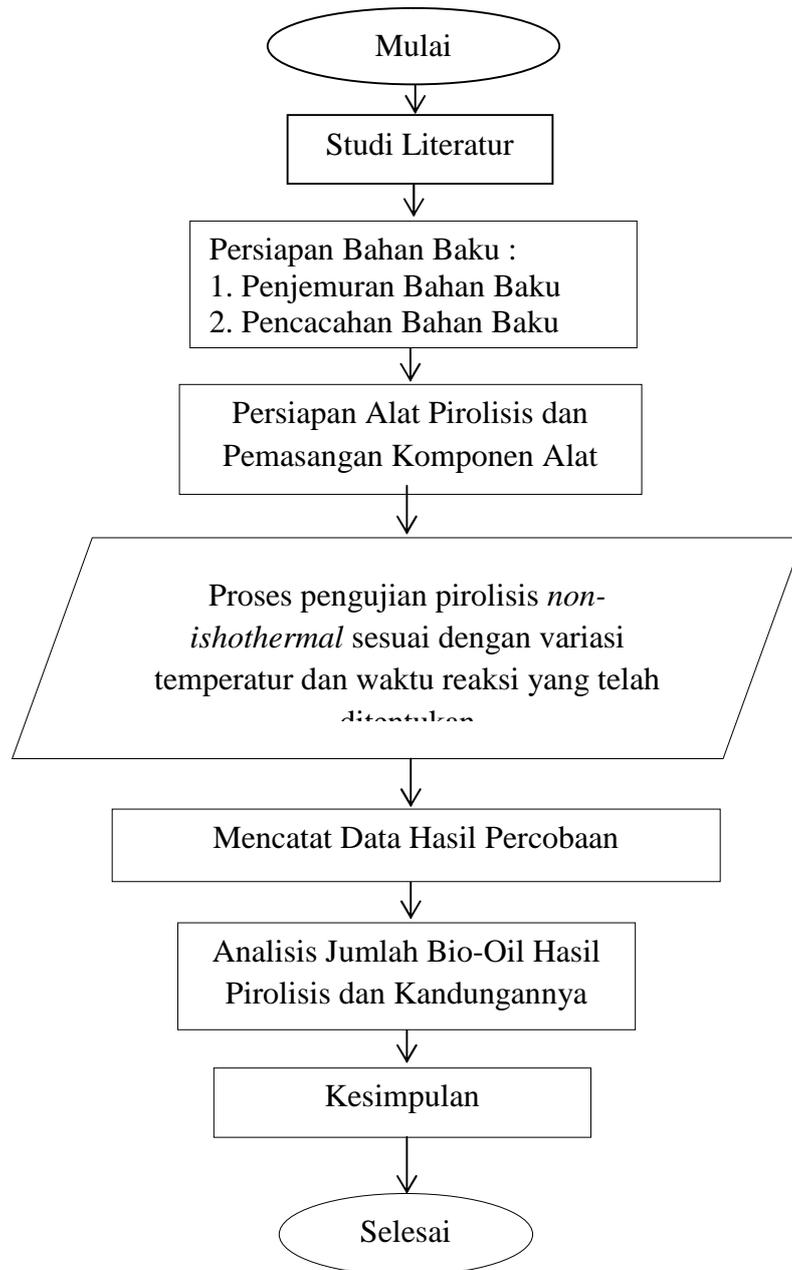
#### 5. Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui massa jenis dari bio-oil hasil pirolisis sampah kota. Pengujian densitas dilakukan di Laboratorium Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti.

#### 6. Uji *Ash Content*

Pengujian *ash content* dilakukan untuk mengetahui kadar abu yang terkandung dalam bio-oil hasil pirolisis. Abu yang terkandung tentunya dapat menurunkan kualitas bio-oil sebagai pengotor dari bio-oil tersebut sehingga perlunya dilakukan pengujian *ash content*. Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti.

### 3.7 Alur Pengambilan Data



Gambar 3.16 Alur pengambilan data

### 3.8 Variabel Pengujian

variabel pengujian adalah sampel pengujian yang akan dilaksanakan dengan beberapa variabel dan beberapa variasi untuk mendapatkan prestasi pirolisis

terbaik proses pirolisis non isothermal. Variasi tersebut dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Variasi Percobaan

No	Variabel	Variasi Proses
1	Temperatur ( $^{\circ}$ C)	300-700 $^{\circ}$ C
2	Waktu Tinggal (Menit)	55-82 Menit.
3	Ukuran Partikel Sampah	0,5-2 mm

Tabel 3.3 Tabel Percobaan Hasil Pengujian

No	Temperatur ( $^{\circ}$ C)	Waktu Reaksi	MBB	MBO
1	300	-	500 gr	
2	400	-	500 gr	
3	500	-	500 gr	
4	600	-	500 gr	
5	700	-	500 gr	

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada sampah *real* kota Bandar Lampung dengan melihat hasil pengambilan data dan pengujian laboratorium. Dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pirolisis *non-isothermal* pada sampah *real* kota Bandar Lampung dengan temperatur rendah akan mempengaruhi fisik dari bio-oil dimana secara visual akan terlihat banyaknya *heavy oil* yang menempel pada botol penampungan .
2. Semakin tingginya temperatur pirolisis *non-isothermal* memberikan dampak menurunnya produksi bio-oil akibat terjadinya pemutusan rantai kimia kembali pada senyawa hidrokarbon sehingga senyawa hidrokarbon yang terbentuk adalah senyawa rantai pendek dimana tidak dapat terkondensasi menjadi bio-oil.
3. Hasil pengujian menunjukkan pada bio-oil pirolisis *non-isothermal* temperatur 400° C dapat memproduksi bio-oil lebih banyak yaitu sebesar 20,4 wt% dengan 57% fraksi hidrokarbonnya tergolong dalam golongan premium dan memiliki kemiripan golongan hidrokarbon yang terdapat pada bahan bakar

premium yaitu parafin sebesar 35.6%, olefin sebesar 29.13%, aromatik sebesar 13.73%, alkohol 11.7% sehingga berpotensi untuk dikembangkan menjadi suatu bahan bakar cair.

### **3.2. Saran**

Untuk memaksimalkan produk bio-oil hasil pirolisis non-isothermal dengan kualitas yang lebih baik berikut adalah saran-saran yang dapat diberikan :

1. Disarankan untuk dilakukannya pengujian dengan menggunakan katalis untuk mempercepat terjadinya reaksi agar didapatkan hasil bio-oil lebih baik.
2. Perlunya dilakukan destilasi pada bio-oil untuk memisahkan bio-oil berdasarkan fraksi-fraksinya.
3. Perlunya dilakukan pengujian terhadap bahan baku seperti nilai kalor atau proksimat dan ultimat untuk mendapatkan informasi lebih spesifik yang dapat mendukung penelitian.
4. Perlunya dilakukan pengujian dengan variasi kadar air sampah untuk melihat pengaruh kadar air terhadap bio-oil hasil pirolisis.

## DAFTAR PUSTAKA

Agung P., Gandidi, I. M. 2012, “*Emission Factor of Single Pellet Cake Seed Jatropha Curcas in a Fix Bed Reactor*” J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.

Alexandra Le Courtois, 2012, “Municipal Solid Waste: turning a problem into resource”, Waste: the challenges facing developing countries, Urban Specialist, World Bank, *www.proparco.fr*

Ari D. Pasek., dkk, 2007, “Laporan Akhir Studi Kelayakan Pembangkit Listrik dengan Bahan Bakar Sampah di Kota Bandung”, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Arinal, H., Harmen. B., **I. M. Gandidi**, 2010, “Sistem Pengelolaan Terpadu Sampah Kota Bandarlampung Sebagai Upaya Konservasi lingkungan dan Produksi Bioenergi”, Laporan Penelitian Hibah Strategis, Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Basu, Prabir. 2010, “*Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*”, Academic Press, Elsevier.

BPS, 2014, “Penduduk dan Tenaga Kerja”, Bandar Lampung.

Bergman., et al, 2005, “*Torrefaction for biomass upgrading*”, Published at 14<sup>th</sup> European Biomass Conference & Exhibition, Paris.

Bridgwater, A.V., Meier, D., and Radlein, D. (1999). An Overview of Fast Pyrolysis of Biomass. *Journal of Organic Geochemistry*, 30. 1479-1493. Birmingham.

BSNI 3242, 2008, “Pengelolaan Sampah Pemukiman” Badan Standardisasi Nasional Indonesia. Jakarta.

Ciolkosz, D. 2011, “*A review of torrefaction for bioenergy feedstock production*”, Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd.

Demirbas, A. 2005. Pyrolysis of ground beech wood in irregular heating rate conditions. *Journal of Analytical Applied and Pyrolysis* 73:39-43. Trabzon.

Demirbas, A. (2002). Carbonization ranking of selected biomass for charcoal, liquid and gaseous products. *Energy Conversion and Management*. 42, 1229-1238. Trabzon.

Di Blasi, C.2008. *Modeling Chemical And Physical Processes Of Wood And Biomass Pyrolysis. Progress In Energy And Combustion Science* 34.47-90. Napoli.

Diebold, J.P., Bridgwater, A.V., 1997. Overview of fast pyrolysis of biomass for the production of liquid fuels. In: Bridgwater, A.V., Boocock, D.G.B. (Eds.), *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*. Blackie Academic & Professional, pp. 5–27. Lakewood.

Ebru Akkaya., et al, 2009, “Energy Content Estimation of Municipal Solid Waste by Multiple Regression Analysis”, 5<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium. Karabuk.

Ecolink, 1996. *Tentang Nilai Ekonomis Sampah, Istilah lingkungan untuk manajemen*.

DICLA, 2013, “Biogas”, Training Centre. Pretoria.

Domínguez, A, J.A. Menéndez, M. Inguanzo, J.J. Pis, Production of bio fuels by high temperature pyrolysis of sewage sludge using conventional and microwave heating, *Bioresource Technology* 97 (2006) 1185–1193. Oviedo.

Gandidi, I. M., dkk, 2011, “*Biodryer untuk Pengeringan Hasil Pertanian dan Perkebunan*”, *Jurnal Mekanikal, Jurusan Mesin, Unila. Bandar Lampung*.

Hadiwijoto, S. 1983. *Penanganan dan Pemanfaatan Sampah*. Penerbit Yayasan Idayu. Jakarta.

Itsbat,M,S., Wijayanti Widia., Sasongko Nur Mega., 2013. “Pengaruh Variasi Kadar Air Sampah Rumah Tangga Organik Terhadap Produksi Char dan Tar Hasil Pirolisis”. *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang*.

Jenkins, B.M., Jones, A.D., Turn, S.Q., Williams, R.B., 1996. Emission factors for polycyclic aromatic hydrocarbons from biomass burning. *Environmental Science Technology* 30 (8), 2462–2469. California.

Johannes Paulus De Wild, 2011, *Biomass Pyrolysis For Chemicals*, Rijksuniversiteit Groningen. Groningen.

Karlsson, J., 2013, “*Evaluation of Torrefaction Pilot Plant in Klintehamn, Gotland*”, Department of Chemical Engineering, Lund University. Lund.

Knoef, H. Ed., 2005, “*Handbook Biomass Gasification*”, BTG Biomass Technology Group.

Kumar. A., et all, 2009, “*Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the Current Status of the Technology*”, *Energies*, V. 2, P. 556-581. Oklahoma.

Li, J., Wu, L., and Yang, Z. (2008). Analysis and Upgrading of Bio-petroleum from Biomass by Direct Deoxy-liquefaction. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 81. 199-204.

Mohan, D., Pittman Jr, C.U., and Steele, P.H. (2006). Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Journal of Fuel*, 20. 848-889. Mississippi.

Murtadho, D., dan S. E. Gumbira. 1988. Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Padat. PT. Melton Putra. Jakarta.

Neves. Daniel., et al, 2011, “*Characterization and prediction of biomass pyrolysis products*”, *Progress in Energy and Combustion Science*, V. 37, P. 611-630. Aveiro.

Ohliger, A., et al, 2012, “*Torrefaction of beechwood: A parametric study including heat of reaction and grindability*”, Fuel Journal. Aachen.

Panda, achyut K., dan singh, R.,K. 2013, *Experimental Optimization of Procces for The Thermo-catalytic Degradation of Waste polypropylene to Liquid fuel. Centurion University of Technology and Management, Departement of Chemistry. Odisha.*

Paris, O., C. Zollfrank, and G. A. Zickler. 2005. Decomposition and carbonization of wood biopolymer microstructural study of wood pyrolysis. Carbon 43:53-66. Munchen.

Peter McKendry, 2002, “Energy production from biomass (part 2): conversion technologies”, Bioresource Technology, V. 83, P. 47–54. Colchester.

Piskorz, J., Scott, D.S., Radlien, D., 1988. Composition of oils obtained by fast pyrolysis of different woods (Chapter 16). In: Soltes, J., Milne, T.A. (Eds.), Pyrolysis Oils from Biomass: Producing, Analyzing and Upgrading. American Chemical Society, pp. 167–178. Ontario.

Ralph P. Overend, 2012, *Thermochemical Conversion of Biomass*, Renewable Energy Sources Charged with Energy from the Sun and Originated from Earth-Moon Interaction, Volume I. Colorado.

Riazi, M., R. 2005. *Characterization and Properties of Petroleum fraction first Edition*. Philadelphia, Pennsylvania.

Sadaka. S., et al, 2009, "Improvements of Biomass Physical and Thermochemical Characteristics via Torrefaction Process", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, V. 28, No. 3. Arkansas.

Salvato, J. A. 1982. *Environmental Engineering And Sanitation – Third Edition*. John Wiley and Sons. New York.

Sano, H. in "Biomass Handbook", Japan Institute of Energy Ed., Ohm-sha, 2002, pp.331-323. Tokyo.

Shusheng Pang, 2012, "Overview of Up-To-Date, Progresses and Challenges in Biomass Gasification", Wood Technology Research Centre, Department of Chemical and Process Engineering, University of Canterbury, Christchurch.

Sidik, M. A., D. Herumartono, dan H. Sutanto – Direktorat Riset Operasi dan Manajemen, Deputi Bidang Analisa Sistem, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 1985. Teknologi Pemusnahan Sampah dengan Incenerator dan Landfill. Makalah disampaikan pada Lokakarya Pengelolaan Sampah Model Padang.

Susanto, Herry., 2005, Pengujian PLTD Gasifikasi Sekam 100kW di Haurgeolis Indramayu, Program Studi Teknik Kimia, FTI-ITB. Bandung.

Tchobanoglous, G. Theisen, H. dan Vigil, S. 1993. *Integrated Solid Waste Management : Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill, Inc.Singapore.

Tumuluru, J. S., et al, 2011, Review on *“Biomass Torrefaction Process and Product properties and Design of Moving Bed Torrefaction System Model Development”*, ASABE Annual International Meeting, Louisville, Kentucky.

UN Energi “Sustainable Bioenergi : A Framework for Decision Maker”, 2007.

Verma. M., et all, 2012, “*Biofuels Production from Biomass by Thermochemical Conversion Technologies*: a Review Article, International Journal of Chemical Engineering, 18 pages.

Wibowo, Aji Suryo Adityo. 2011. Studi Sifat Minyak Pirolisis Campuran Sampah Biomassa dan Sampah Plastik Polypropylene (PP). Jurusan Teknik Mesin. Universitas Sebelas Maret. Solo.

Xiong, S, et al., *Effect of moisture content on the characterization of products from the pyrolysis of sewage sludge*, J. Anal. Appl. Pyrol. (2013). Wuhan.

Xue, Yuan., et al, 2015. *Fast Pyrolysis Of Biomass And Plastic In a Fluidized Bed Reacto. Department of Mechanical Engineering Iowa state Universit. Ames.*

Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H., Liang, D.T., and Zheng, C. (2006). Mechanism of Palm Oil Waste Pyrolysis in a Packed Bed. *Journal of Energy and Fuels*, 20. 1321-1328. Wuhan.

Yongjiang, Xia., 2011. Kinetics Of Isothermal And Non Isothermal Pyrolysis Of Oil Shale. China University of Geosciences. Wuhan.

Zabaleta, imanol., 2016, *Slow Pyrolysis Of Urban Biowaste In Tanzania-an Analysis Of The Technical And Socio-Economic Potential, Proceedings Venice2016, Sixth International Symposium On Energy From Biomass And Waste, Venice. Italy.*

ZiaHaq, 2002, "*Biomass for Electricity Generation*", Energy Information Administration, Annual Energy Outlook, Washington, DC.