

**PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK BIO (*BIO OIL*) DARI SAMPAH KOTA BANDAR LAMPUNG DENGAN METODE PIROLISIS SEBAGAI SOLUSI TERBAIK DALAM MANAJEMEN PENGELOLAAN SAMPAH DAN DIVERSIFIKASI ENERGI**

***BIO OIL PRODUCTION FROM BANDAR LAMPUNG CITY WASTES USING PYROLYSIS METHOD AS THE BEST SOLUTION IN WASTE MANAGEMENT AND ENERGY DIVERSIFICATION***

**Indra Mamad Gandidi, Ali Mustofa, Andicha Aulia Putra, Reno Raines**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

E-mail:

**ABSTRAK**

Beban sampah yang dihasilkan oleh masyarakat kota Bandarlampung sebanyak 3,083 m<sup>3</sup> per hari atau setara dengan 688 ton/hari sampah basah dengan kadar air lebih kurang 60 %. Dalam pengelolaannya, Pemkot Bandar Lampung menggunakan praktek *open dumping* yang sudah tidak relevan lagi. Disisi lain, sampah diketahui mempunyai energi tersimpan dalam bentuk ikatan kimia antara molekul karbon, hidrogen dan molekul oksigen. Ketika ikatan kimia itu dirusak, sampah akan melepaskan energi kimia dalam bentuk gas, cair dan padat yang biasa disebut *biofuel*. Penelitian yang telah dilakukan terhadap sampah riil kota Bandarlampung dengan teknik pirolisis menghasilkan bahan bakar cair dengan kualitas di atas minyak solar dan di bawah premium dengan *yield* atau rendamen sekitar 20,4 %. Dari total sampah kering 344 ton/hari, kota Bandar Lampung dapat menghasilkan bahan bakar cair (*bio-oil*) sekitar 68.8 ton/hari atau setara dengan 86.000 l/hari. Jika diasumsikan harga jual bahan bakar cair hasil pirolisis Rp3000/l, maka *payback* yang bisa diperoleh sekitar Rp258000000/hari. Perhitungan finansial pada penelitian ini menunjukkan bahwa bila mesin pirolisis ini dioperasikan pada tingkat kelurahan, BEP tercapai dalam waktu 8.5 bulan.

**Kata kunci:** bahan bakar bio, BEP, *bio oil*, pirolisis, sampah kota

***Abstract***

*The waste load produced by the community of Bandar Lampung city was 3.083 m<sup>3</sup> per day or equivalent to 688 tons/day of wet waste with moisture content of approximately 60 %. In its management, the City Government of Bandar Lampung was using open dumping practices that were no longer relevant. On the other hand, waste was known to have stored energy in the form of chemical bonds between carbon molecules, hydrogen and oxygen molecules. When chemical bonds disrupted, the waste released chemical energy in the form of gases, liquids and solids commonly called biofuel. The research done using Bandar Lampung city wastes with pyrolysis technique produced liquid fuel with quality above diesel oil and below premium with yield or rendement about 20.4 %. Of the total dry waste 344 ton/day, Bandar Lampung city could produce liquid fuel (bio-oil) around 68.8 ton/day or equal to 86.000 l/day. If it was assumed that the price of pyrolytic liquid fuel was Rp3000/l, then the return could be about Rp258000000/day. The financial calculations in this study indicated that if the pyrolysis machine is operated at the kelurahan level, the BEP was achieved within 8.5 months.*

**Keywords:** *bio fuel, BEP, bio oil, municipal waste, pyrolysis*

## A. LATAR BELAKANG

Sebagian besar kota-kota di Indonesia sekarang ini sedang dihadapi pada masalah produksi sampah masyarakat perkotaan. Penumpukan dan laju timbulan sampah di perkotaan cenderung meningkat dan tidak terkendali disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk yang cepat, ekonomi masyarakat yang semakin berkembang dan gaya hidup masyarakat perkotaan yang cenderung konsumneris serta arus urbanisasi yang tidak bisa dibendung. Misalnya, Kota Bandarlampung yang terletak di ujung pulau Sumatera telah menjadi kota yang cepat mengalami perubahan dan peningkatan dalam jumlah penduduk. Berdasarkan data dari Pokja AMPL Kota Bandarlampung, jumlah sampah yang dihasilkan oleh masyarakat kota Bandarlampung sebanyak 3,083 m<sup>3</sup> per hari atau setara dengan 688 Ton/hari [1] dengan kadar air sekitar 50%.

Peningkatan tumpukan dan laju timbulan sampah akan menjadi masalah yang krusial kalau tidak dikelola dengan baik. Dalam pengelolaannya, Pemkot Bandarlampung melakukan praktek *open dumping* dimana sampah dikumpul di TPS dan diangkut untuk dibuang di tempat pembuangan akhir (TPA Bakung). Praktek *open dumping* ini sangat efektif untuk menangani sampah perkotaan tetapi praktek ini sudah tidak relevan berkaitan keterbatasan wilayah di perkotaan [2] dan praktek *open dumping* bisa menjadi habitat bagi serangga, hama, dan bakteri, yang menyebarkan penyakit di udara. Tumpukan sampah akan memproduksi air lindi yang akan mencemari air tanah dan air permukaan [3]. Lebih lanjut, tumpukan sampah di TPA akan terdegradasi secara biokimia dan melepas gas metan ke atmosfer dimana gas ini mempunyai daya pencemaran 20x lebih berbahaya dari pada gas CO<sub>2</sub> [4]. Selain itu, banyak kota yang terlibat dalam program pengelolaan banjir mengakui bahwa sampah padat yang tidak terkumpul akan menghambat saluran drainase dan merupakan faktor utama penyebab banjir [5]. Juga, perkotaan

merupakan kontributor utama terhadap peningkatan gas rumah kaca (GHG). Sekitar 80% emisi rumah kaca disumbangkan oleh daerah perkotaan dan diperkirakan 5% berasal dari sampah padat kota [6]. Dan yang lebih penting, penggunaan praktek *open dumping* membutuhkan biaya yang sangat tinggi untuk transportasi, perawatan dan operasional.

Disisi lain, sampah diketahui mempunyai energi tersimpan dalam bentuk ikatan kimia antara molekul karbon, hidrogen dan molekul oksigen. Ketika ikatan kimia itu dirusak, sampah akan melepaskan energi kimia dalam bentuk gas, cair dan padat yang biasa disebut Bio oil from municipal solid waste for the MSW sustainable management and energy future biofuel[7]. Sebagian sampah anorganik dapat juga dikonversikan menjadi bahan bakar gas dan cair [8].

Dengan jelas terlihat bahwa sampah jika tidak ditangani dengan baik akan menjadi bencana dan akan memberikan keuntungan yang menjanjikan jika dikelola dan dimanfaatkan dengan benar. Karenanya, solusi terbaik yang dapat menyelesaikan masalah sampah ini secara kontinu adalah melaksanakan **konsep waste to zero** dengan metode **waste to energy** melalui teknik **pirolisis** yaitu suatu metode yang dapat mengkonversikan sampah menjadi bahan bakar cair atau Bio Oil. Jika metode ini dilakukan, bukan hanya masalah sampah yang terselesaikan, tetapi sisi lingkungan dan ekonomi akan dapat dicapai oleh pemerintah dan dapat menyediakan lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat. Terutama untuk menyelamatkan APBD yang terserap untuk pengelolaan dan pengolahan sampah.

## B. LANDASAN TEORI

### 1. Karakteristik Sampah dan Potensi

Sampah perkotaan pada prinsipnya merupakan campuran sampah basah (*organic waste*) dan sampah kering (*anorganic waste*)

dengan komposisi terdiri dari sampah organik sebanyak 65%, sampah anorganik yang meliputi kertas dan plastik masing-masing 10%, kaca dan logam masing-masing 2% dan sisanya residu dari total sampah yang diproduksi setiap harinya [9] dan sampah Jumlah kandungan energi dalam sampah perkotaan sangat ditentukan oleh campuran sampah organik dan sampah anorganik. Dalam basis kering, sampah organik mempunyai LHV 1.820 kJ/kg, sampah kertas mempunyai LHV 3.780 kJ/kg, sampah plastik mempunyai LHV 3.430 kJ/kg dan sampah tekstil mempunyai LHV 330 kJ/kg [11]. Sampah kota Bandarlampung sebagian besar disusun oleh sampah organik dan sampah plastik yang umumnya berasal dari rumah tangga dan pasar sehingga layak untuk dipertimbangkan dijadikan bahan bakar cair atau bio oil. Selanjutnya, bio oil ini dapat dijadikan bahan bakar untuk pembangkit listrik, rumah tangga dan penggunaan lainnya [12] dan sebuah keputusan yang tepat untuk memanfaatkan sampah perkotaan sebagai sumber energi dalam gejolak krisis bahan bakar yang dihadapi Indonesia sekarang ini. Apalagi sampah dan biomasa telah mulai menjadi sumber utama energi bagi umat manusia dan saat ini diperkirakan

perkotaan ini sebagian besar berasal dari limbah rumah tangga, limbah pasar, limbah pembersihan jalan, limbah hotel dan restaurant, limbah rumah sakit, limbah hortikultura [10].

memberikan kontribusi sekitar 10-14% dari pasokan energi dunia [13].

## 2. Proses Pirolisis dan Produk

Pirolisis merupakan proses pemanasan sampah dalam reaktor pada temperatur antara 200 – 600 oC tanpa kehadiran oksigen dimana sampah dikonversikan menjadi bahan bakar cair (bio-oil), padat (bio-arang) dan syngas (bio-gas). Syngas merupakan gas permanen dan bio-oil merupakan produk liquid yang diperoleh dari hasil kondensasi produk *volatile* [14]. Biogas dan bio-oil dapat digunakan sebagai bahan bakar *electrical gas engine*, diintegrasikan dengan siklus turbin yang dapat mengubah energi bahan bakar menjadi listrik [15] dengan efisiensi pembakaran yang lebih baik dibandingkan pembakaran sampah [16] dan memberikan dampak pencemaran lingkungan yang sangat rendah [17].

**Tabel 1. Distribusi produk dalam proses pirolisis**

	<b>DISTRIBUSI PRODUK (wt%)</b>			
	<b>Torefaksi</b>	<b>Slow pyrolysis</b>	<b>Fast pyrolysis</b>	<b>Flash pyrolysis</b>
<b>Solid</b>	<b>75</b>	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>13</b>
<b>Bio-oil</b>	20	30	50	75
<b>Singas</b>	5	35	30	13

Produser gas dan bio-oil dapat juga diproses lanjut menjadi bahan kimia seperti methanol [18]. Persentase jumlah produk hasil proses pirolisis bergantung pada kondisi proses dan bahan baku yang digunakan (Tabel 1) [19].

Berdasarkan kondisi operasi pirolisis yang diinginkan, ada tiga jenis proses pirolisis yang dapat dilakukan. Jika pirolisis ditujukan untuk mendapatkan hasil maksimal dalam bentuk produk liquid, temperatur operasi yang rendah (425-600 oC) dengan laju pemanasan yang tinggi merupakan kondisi operasi pirolisis yang dibutuhkan (*fast pyrolysis*). Jika tujuan pirolisis untuk mendapatkan hasil maksimal pada bahan bakar gas, maka temperatur operasi yang tinggi (> 600 oC) dan laju pemanasan yang tinggi, merupakan kondisi operasi yang sesuai (*flash pyrolysis*). Untuk produksi bio-arang (solid) maksimal, bio-gas dan bio-oil secara simultan, maka dapat digunakan teknik *slow pyrolysis* dimana temperatur operasi yang rendah (400 oC) dan laju pemanasan yang rendah (5-10 oC/min) merupakan kondisi operasi yang memenuhi dan untuk mendapatkan bahan bakar padat dengan densitas energi yang tinggi dapat dilakukan dengan teknik pirolisis (*mild pyrolysis*) pada temperatur 200-300 oC dengan laju pemanasan yang rendah [20].

Temperatur operasi yang banyak digunakan dalam proses pirolisis cepat adalah antara 350 0C-500 0C dimana menghasilkan produk *liquid* maksimum [21]. Sebagai contoh, proses pirolisis cepat pada biomasa sekam padi dimana hasil liquid yang paling tinggi didapat pada temperatur 500 oC dengan ukuran partikel 1.18-1.80 mm dan laju pemanasan 60°C/min [22] dan biomasa kayu yang dipirolisis lambat memberikan hasil bio-arang maksimal pada 275 oC dan terjadi penurunan hasil tar [23].

Adisak Pattiya., et al, 2012, melakukan uji pirolisis cepat pada 350-450 oC dengan bahan baku limbah singkong dan mendapatkan bio-oil sebesar 75% [24]. Hasil bio-oil 49.5% dan 57% akan diperoleh jika menggunakan bahan baku limbah kelapa sawit dan sekam padi

pada temperatur 400-600 oC [25]. Jika proses pirolisis menggunakan bahan baku sebagian besar mengandung sampah, kertas dan karet mayoritas hasil yang didapat dalam bentuk singas dan bio-oil [26]. Ini mengindikasikan bahwa sampah, kertas dan karet mengandung fixed karbon yang rendah dan kaya dengan unsur *volatile*.

### 3. Mekanisme Proses Pirolisis

Secara prinsip, proses pirolisis terhadap sampah kota dimaksudkan untuk mendegradasi rantai hidrokarbon panjang yang ada dalam material sampah menjadi rantai yang lebih kecil dimana rantai polimer dihancurkan menjadi monomer-monomer. Sampah Bio oil from municipal solid waste for the MSW sustainable management and energy future organik yang mengandung sebagian besar komponen lignoselulosa didegradasi menjadi bahan bakar padat, gas dan cair sedangkan sampah plastik/karet didegradasi menjadi bahan bakar gas dan cair [27].

Mekanisme pirolisis pada material lignoselulosa dapat dibagi ke dalam empat stage individual yaitu evolusi kadar air, dekomposisi *hemicelluloses*, dekomposisi *cellulose* dan dekomposisi *lignin* yang terjadi pada kondisi proses endotermik dan menghasilkan 75-90% material yang mudah menguap dalam bentuk gas dan liquid hidrokarbon serta material yang tidak mudah menguap yang mengandung nilai karbon tinggi yang disebut dengan char. Formasi tar berasal dari hidrokarbon molekular tinggi [28].

### 4. Parameter Proses Pirolisis

Material polimer yang mengalami proses pirolisis akan mengalami perubahan sifat fisik dan sifat kimianya selama proses pirolisis berlangsung. Perubahan ini sangat ditentukan oleh berbagai parameter proses yang terlibat. Parameter tersebut meliputi temperatur operasi, laju pemanasan, waktu tinggal

material, kehadiran oksigen, kadar air dan ukuran partikel material organik.

Temperatur reaksi proses pirolisis berada pada kisaran 200-600 °C. Temperatur ini akan menentukan tingkat dekomposisi material sampah, waktu tinggal dalam reaktor, dan produk pirolisis. Laju dekomposisi dan kerusakan struktur penyusun material meningkat dengan meningkatnya temperatur reaksi pirolisis [29]. Tetapi, jika temperatur reaksi terlalu tinggi, tingkat dekomposisi akan sangat reaktif yang mengakibatkan komponen penyusun material akan banyak dikonversikan ke dalam bentuk gas. Konsekuensinya, produk padatan dan liquid hasil pirolisis menjadi berkurang walaupun waktu tinggal dalam reaktor yang lebih singkat [30].

Dalam proses pirolisis, kadar air memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap efisiensi proses pirolisis. Hal ini dikaitkan dengan kehilangan energi panas yang cukup besar untuk proses penguapan air sebelum proses pirolisis berlangsung dan akan membutuhkan waktu tinggal yang lama untuk mendapatkan proses pirolisis yang sempurna [31]. Selain mengganggu kebutuhan termal untuk proses pirolisis, kadar air yang tinggi dalam material akan memerlukan beban pendinginan dan peralatan pemisah uap air yang terkondensasi. Juga, kadar air yang tinggi dalam material organik selama proses pirolisis dapat mengalami reaksi kedua dengan gas dan padatan yang akan mengekstrak fraksi yang dapat larut dalam air dan berakibat produk padat dan liquid jadi berkurang. [32]. Bio oil from municipal solid waste for the MSW sustainable management and energy future.

Waktu tinggal berkaitan dengan lamanya waktu tahan material dalam reaktor. Variabel ini akan mempengaruhi proses depolimerisasi, dekomposisi, dan karbonisasi selama proses pirolisis berlangsung. Jika waktu tinggal cukup lama, 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 [33].

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 [34]. Namun perlu diperhatikan bahwa ukuran terlalu kecil akan menggiring produk utama pirolisis dalam bentuk gas.

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, kecenderungan produk dalam bentuk liquid dan gas [35].

Kehadiran oksigen dalam proses pirolisis akan mempengaruhi proses dekomposisi termal pada material lignoselulosa. Kehadiran oksigen akan memicu terjadinya proses pembakaran akibat reaksi oksidasi antara material organik dan oksigen dan akan mengurangi produk pirolisis [36].

## C. METODE PENELITIAN

### 1. Bahan Baku Pirolisis

Bahan baku yang digunakan adalah sampah riil yang diambil dari TPA Bakung, Kota Bandarlampung. Sampah ini sengaja diambil dari TPA Bakung untuk menjaga keaslian sampah untuk penelitian terutama yang berhubungan dengan komposisi. Sampah ini kemudian disiram dengan air untuk mengurangi kotoran dan pasir yang ada dalam sampah. Setelah dibersihkan, sampah selanjutnya dikeringkan selama 1-2 hari untuk mengurangi kadar air dalam sampah. Proses

pencacahan dilakukan sebelum sampah digunakan untuk bahan baku proses pirolisis agar proporsional dengan ukuran reaktor

pirolisis yang ada di laboratorium Termodinamika, Teknik Mesin Unila.



Gambar 2. Sampah yang digunakan dalam penelitian ini

## 2. Prinsip Kerja Proses Pirolisis

Sampah kering yang terdiri dari campuran sampah biomasa, plastik, tekstil, kertas dan lain-lain dimasukan ke dalam reaktor pirolisis tipe *fixed bed* dari bagian atas reaktor dan kemudian ditutup. Alirkan gas nitrogen ke dalam reaktor selama 3 menit untuk membuang oksigen yang ada dalam reaktor untuk menghindari terjadinya proses pembakaran selama proses pirolisis, kemudian tutup katup nitrogen dan nyalakan tombol pemanas yang ada disamping reaktor sesuai dengan set up temperatur pada 400 oC (proses ). Untuk proses isothermal, sampah diumpankan ke reaktor setelah temperatur 400°C dicapai.

Biarkan proses pirolisis ini berlangsung selama waktu reaksi yang kita tentukan. Dalam penelitian ini, temperatur reaksi

digunakan 1.5 – 2.0 jam diatur menggunakan *stopwatch* yang ada pada unit display temperatur.

Selama proses pirolisis berlangsung, gas hasil pirolisis akan keluar pada bagian *piroliser* yang menuju kondenser pertama untuk mengurangi jumlah senyawa hidrokarbon rantai panjang dan sisanya kemudian terus mengalir menuju kondenser kedua untuk proses kondensasi gas (pendinginan) menjadi bio oil. Bio oil yang keluar dari kondenser kedua ditampung dengan sebuah botol yang kemudian disimpan untuk pengujian laboratorium.

Beberapa pengujian laboratorium dilakukan terhadap bio oil yang dihasilkan. Data hasil pengujian laboratorium digunakan untuk melihat kualitas dari bio oil. Untuk mendapatkan informasi yang sesuai, data analisa laboratorium bio oil dibandingkan

dengan data laboratorium minyak solar dan premium yang ada sekarang ini. Hal ini dimaksudkan untuk mengkaji kemungkinan bio oil sebagai pengganti bahan bakar konvensional.

## D. HASIL PENELITIAN

### 1. Analisa Produk

Pada gambar 4. dapat dilihat hasil bio oil atau rendamen yang diperoleh selama satu periode pengujian pirolisis. Diantara dua model perlakuan, pirolisis non-isothermal menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding pirolisis isothermal. Perlakuan isothermal yang diberikan menyebabkan material mengalami proses tiba-tiba pada temperatur tinggi dan menggiring produk lebih dikonversikan menjadi bentuk *syngas* dan lebih banyak menyisakan produk padatan jika diperlakukan pada waktu reaksi yang sama.

Proses non-isothermal dan isothermal yang diterapkan dalam proses pirolisis sampah kota memberikan komposisi panjang rantai hidrokarbon yang berbeda. Sehingga ini akan memberikan nilai kualitas yang berbeda terhadap bio oil. Dari gambar 4. terlihat bio oil dari proses non isothermal mempunyai kualitas sedikit lebih baik dari bio oil proses isothermal. Tetapi jika dibandingkan dengan diesel-48 (minyak solar), bio oil mempunyai kualitas lebih. Hal ini disebabkan bio oil mengandung unsure gasoline lebih tinggi dibanding diesel-48. Namun begitu, bio oil perlu diberikan proses lanjut untuk mengurangi jumlah *heavy oil* yang masih lebih tinggi dibandingkan diesel-48.

Gambar 5. menampilkan grafik fraksi massa senyawa penyusun bio oil dan diesel-48. Terlihat dari gambar bahwa diesel-48 sebagian besar mengandung senyawa *paraffin* sedangkan bio oil mempunyai kesetimbangan nilai dalam *paraffin* dan *olefin*. Juga, bio oil mengandung *nepthenes* lebih tinggi dari diesel-48. Hal ini menunjukkan bahwa bio oil mempunyai nilai kalor lebih baik dari diesel-48. Terbukti dengan kemampuan bakar atau *flash point* bio oil lebih baik seperti terlihat

pada gambar dalam lampiran. Namun begitu, dalam bio oil masih terkandung unsure *aromatic* yang lebih tinggi dari diesel-48 dan dalam bio oil hasil pirolisis isothermal masih mengandung grup oksigenasi dalam bentuk asam dan *alcohol* yang menyebabkan bahwa bio oil ini mempunyai nilai kalor lebih rendah dari bio oil yang berasal dari proses non isothermal dan diesel. Proses upgrading sangat diperlukan untuk kedua jenis bio oil sebelum digunakan *internal combustion engine*.

### 2. Analisa Ekonomi

Dari analisa produk di atas, dapat dilihat bahwa bio oil yang berasal dari proses non-isothermal sangat layak dan memungkinkan untuk dijadikan bahan bakar pengganti diesel-48 karena mempunyai nilai kalor yang tinggi. Potensi ekonomi dan lingkungan sangat menjanjikan jika sampah kota diproses menjadi bio oil sebagai langkah dalam upaya konservasi lingkungan dan diversifikasi energi. Kalkulasi ekonomi dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Harga satu unit alat pirolisis = Rp.  
150.000.000 kapasitas 3 Ton/hari  
Operasional = Rp. 1.000.000/hari atau  
30.000.000/bulan  
Upah pekerja = @ 5 orang x Rp. 3.000.000 =  
15.000.000/bulan  
Produk sampah basah = 688 Ton/hari  
Produk sampah kering = 344 Ton/hari  
Jika dibagi dengan jumlah Kelurahan, sampah  
kering = 2.73 Ton/hari  
Rendamen = 20,4%  
Hasil bio oil = 20,4% x 2,73 Ton/hari = 559,9  
kg/hari atau 696 L/hari  
Asumsi harga jual Rp. 3.000/L, maka nilai  
penjualan = 3.000 x 696 = Rp. 2.088.000/hari  
Atau Rp. 62.653.500/bulan  
Nilai bersih di dapat = Rp. 62.653.500 –  
15.000.000 – 30.000.000 = Rp.  
17.653.500/bulan

Jika harga pengadaan satu unit teknologi pirolisis dibagi dengan nilai bersih yang di

dapat, maka nilai BEP akan dicapai sekitar 8,5 bulan.

## E. KESIMPULAN

Produksi bio oil dari sampah kota Bandarlampung dengan teknik pirolisis sangat menjanjikan dan layak untuk diperjuangkan sebagai metode untuk manajemen pengelolaan sampah kota Bandarlampung. Dengan metode ini, keuntungan secara ekonomi dan lingkungan sangat jelas terlihat. Lingkungan menjadi bersih dan lapangan kerja baru bisa tersedia. Yang paling penting adalah APBD yang dialokasikan untuk pengelolaan sampah kota Bandarlampung bisa diselamatkan.

## F. REFERENSI

- Pokja AMPL, 2012, "Buku Putih Sanitasi Kota Bandarlampung", Kota Bandarlampung
- LP Unila, 2010, "Studi dan Model Pengelolaan sampah Terpadu dalam Upaya Penanggulangan Kerentanan Terhadap Dampak Perubahan Iklim" Laporan Akhir, Universitas Lampung.
- 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](http://www.proparco.fr)
- DICLA, 2013, "Biogas", Training Centre, South Africa
- H. Arinal., 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
- Hari B. Dulal., et al, 2013, "Greenhouse gas emission reduction options for cities: Finding the Coincidence of Agendas between local priorities and climate change mitigation objectives", Habitat International, V. 38, P. 100-105
- I. S. Antonopoulos., et al, 2010, "Estimation of MSW Heating Value in Greece in the Frame of Formulating Appropriate Scenarios on Waste Treatment", Aristotle University, Dept. Mechanical Engineering, Greece
- M. Syamsiro, et all, 2011, "Co-production of liquid and gas fuels from waste plastiks", The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on New and Renewable Energy, Vietnam
- M. Hakim, dkk, 2006, "Mencari Solusi Penanganan Masalah Sampah Kota", Lokakarya Pengelolaan Sampah Kota Dalam Revitalisasi Pembangunan Hortikultura di Indonesia, Kerjasama Fakultas Pertanian UNPAD dan Direktorat Jenderal Hortikultura, DEPTAN RI
- ENVIS Centre, 2013, "Municipal Solid Waste", National Solid Waste Association of India
- Aryadi Suwono., et al, 2010, "Solid Fuel from Torrefied Municipal Solid Waste", Renewable Energy Proceedings, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan
- N. Agung P., I. M. Gandidi, 2012, "Emission Factor of Single Pellet Cake Seed *Jatropha Curcas* in a Fix Bed Reaktor" J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng
- S. Yokayama, dkk, 2008, "Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomasa", Buku Panduan Biomasa Asia, Proyek Bantuan untuk Pembangunan Kerjasama Asia untuk Pertanian Sadar Lingkungan, Kementrian Pertanian, Kehutan dan Perikanan
- A. Demirbas., et all, 2009, "Pyrolysis Mechanisms of Biomass Materials", Energy Sources, Part A, V. 31, P, 1186-119
- Zia Haq, 2002, "Biomass for Electricity Generation", Energy Information Administration, Annual Energy Outlook, Washington, DC
- Prabir Basu, 2010, "Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory", Academic Press, Elsevier
- Daniel Neves., et al, 2011, "Characterization and prediction of biomass pyrolysis products", Progress in Energy and Combustion Science, V. 37, P. 611-630

- Ronsse, F., et al, 2013, "Biomass pyrolysis and biochar characterization", 1st Forebiom Workshop, Department Of Biosystems Engineering, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Belgium
- K. El harfi., et al, 2000, "Yields and composition of oil obtained by isothermal pyrolysis of the Moroccan (Tarfaya) oil shales with steam or nitrogen as carrier gas", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, V. 56, P. 207–218
- Rafael Luque., et al, 2011, "Handbook of biofuels production- Processes and technologies", Woodhead Publishing Series in Energy: Number 15
- M. Verma., et all, 2012, "Biofuels Production from Biomass by Thermochemical Conversion Technologies: a Review Article, *International Journal of Chemical Engineering*, 18 pages
- Natarajan. E., Ganapathy Sundaram. E, 2009, "Pyrolysis of Rice Husk in a Fixed Bed Reaktor", *World Academy of Science, Engineering and Technology*
- Janewit Wannapeera., et all, 2011, "Effects of temperatur and holding time during torrefaction on the pyrolysis behaviors of woody biomass", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, V. 92, P. 99–105
- Adisak Pattiya., et al, 2012, "Fast pyrolysis of sugarcane and cassava residues in a free-fall reaktor", *Energy*, V. 44, P. 1067-1077
- Thanh-An Ngo., et al, 2012, "Fast pyrolysis of palm kernel cake using a fluidized bed reaktor: Design of experiment and characteristics of bio-oil", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*
- Mochamad Syamsiro., et al, 2014, "Fuel Oil Production from Municipal Plastik Wastes in Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reaktors", *Energy Procedia*, V. 47, P. 180 – 188
- J. Aguado., et al, 2007, "Feedstock recycling of polyethylene in a two-step thermo-catalytic reaction system", *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, V. 79, P. 415–423
- Xun Luo, 2011, "Torrefaction of biomass – a comparative and kinetic study of thermal decomposition for Norway spruce stump, poplar and fuel tree chips", SLU, Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Natural Resources and Agricultural
- T.G. Bridgeman., et al, 2008, "Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties", *Fuel*, V. 87, P. 844–856
- G. Sridhar., et all, 2007, "Torrefaction of Bamboo", 15th European Biomass Conference & Exhibition, Berlin, Germany
- Samy Sadaka., et al, 2009, "Improvements of Biomass Physical and Thermochemical Characteristics via Torrefaction Process", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, V. 28, No. 3
- Daniel Ciolkosz, 2011, "A review of torrefaction for bioenergy feedstock production", Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd
- K. El harfi., et al, 2000, "Yields and composition of oil obtained by isothermal pyrolysis of the Moroccan (Tarfaya) oil shales with steam or nitrogen as carrier gas", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, V. 56, P. 207–218
- Siyi Luo., et al, 2010, "Influence of particle size on pyrolysis and gasification performance of municipal solid waste in a fixed bed reaktor", *Bioresource Technology*, V. 101, P. 6517–6520
- Seung-Soo Kim., et al, 2012, "pyrolysis of the mixtures of waste automobile lubricating oil and polystyrene in a stirred batch reaktor", *Renewable Energy*, V. 54, P. 241-247
- Josefine Karlsson, 2013, "Evaluation of Torrefaction Pilot Plant in Klintehamn, Gotland", Department of Chemical Engineering, Lund University, Sweden



