

# KONVERSI CANGKANG SAWIT MENJADI *BIO-OIL* DENGAN METODE *PYROLYSIS* MENGGUNAKAN KATALIS CO/LEMPUNG

Gapurman, Syaiful Bahri, Sunarno

Laboratorium Teknik Reaksi Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik,  
Universitas Riau 28293

Email : [Government\\_boengsoe@yahoo.com](mailto:Government_boengsoe@yahoo.com)

HP : 082388889680

## ABSTRAK

*Bio-oil is a product of pyrolysis of biomass. Biomass conversion research has been done into the palm shell bio-oil by pyrolysis process using metal catalysts with Co content developing of 0%, 1%, 3%, and 5% w / w of the clays (clays). In this research, testing physical properties (density, viscosity, acid number, and flash point), the analysis of the chemical content of bio-oil, and the developing of the effect of metal Co / clays to yield bio-oil produced. Biomass shell oil 50 grams with a size of -40 +60 mesh, silinap 500 ml, and the catalyst Co / 1.5 gram clay slurry introduced into the reactor, and pyrolysis process performed on the operating conditions of temperature 320<sup>o</sup>C and stirring speed of 300 rpm with a flow of nitrogen gas (N<sub>2</sub>) as an inert gas. The results showed that the optimum yield obtained at the level of developing of a metal catalyst Co 1% of the clay that is equal to 56.4%. The test results obtained by the physical properties of density 1.036 g / ml, 11.42 cSt viscosity, acid number of 55.43 g NaOH / g sample, calorific value of 44.706 MJ / kg, and the flash point is 53 ° C. Results of analysis of chemical constituents by GC-MS, obtained the dominant chemical components of bio-oil are Acetic acid 31.87%, 23.70% Glycerol, Methyl acetate 10.42%, 18.88% 3-Butylcyclohexanone, Phenol 4, of 68%. The results obtained have characteristics approaching the characteristics of standard fuel oil and bio-oil.*

*Keywords: Biomass, Bio-oil, Catalyst Co / clay, Pyrolysis*

## 1.PENDAHULUAN

Krisis Bahan Bakar Minyak (BBM) yang melanda dunia akibat dari tingginya permintaan kebutuhan minyak dunia dan menipisnya cadangan minyak bumi memaksa seluruh negara di dunia, termasuk Indonesia untuk mengambil langkah dalam mengatasi hal tersebut. Berdasarkan data prediksi kebutuhan dan produksi minyak bumi dari [DESDM, 2010], cadangan minyak bumi Indonesia sebesar 8,4 miliar barel dan produksi 345 juta barel /tahun. Dengan asumsi tidak ada penemuan cadangan baru maka minyak Indonesia akan habis dalam waktu 24 tahun. Pada tahun 2003 Pemerintah telah mengeluarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN). Intinya, menghapus ketergantungan konsumsi energi bangsa kita dari minyak bumi ke energi alternatif [Warta Pertamina, 2008]. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan yaitu *bio-oil*. *Bio-oil* yang mengandung senyawa hidrokarbon dapat diolah menjadi bahan bakar minyak seperti solar dan lainnya. Oleh karena itu, untuk mengatasi

masalah defisit energy tersebut, sudah saatnya untuk mengembangkan berbagai energy alternatif yang dapat diperbaharui, yaitu dengan mengkonversikan biomassa menjadi *bio-oil*.

Industri kelapa sawit mempunyai potensi kontribusi yang sangat besar. Di Indonesia, luas perkebunan sawit di daerah Riau terluas dibandingkan daerah lainnya. Luas areal kelapa sawit di Riau hingga 2012 mencapai 2,1 juta Ha, dengan produksi kelapa sawit sebesar 7 juta ton pertahunnya [Riauterkini, 2012]. Masalah yang ditimbulkan pada industry kelapa sawit salah satunya adalah limbah. Pada industri minyak sawit setiap harinya dihasilkan limbah yang terdiri dari limbah padat berupa tandan kosong sawit, serabut, dan cangkang sawit, sedangkan limbah cair berupa *sludge oil*. Limbah cangkang sawit yang dihasilkan sebanyak 6,5% per ton tandan buah segar [Deptan, 2006]. Hal ini menunjukkan bahwa, di provinsi Riau akan menghasilkan 1246 ton/hari limbah cangkang sawit. Limbah cangkang sawit

yang dihasilkan akan bernilai ekonomis tinggi jika diolah lebih lanjut menjadi *bio-oil*.

Lempung alam mempunyai cadangan yang cukup besar di daerah Riau. Di Kecamatan Kuantan Mudik saja lempung jenis tanah liat mempunyai cadangan kira-kira 4.313.700 m<sup>3</sup> yang tersebar di beberapa lokasi yaitu Desa Toar, hulu sungai Batang Salo (Desa Cengar), kawasan hutan lindung Bukit Batabuh, Desa Kasang, Desa Telukberingin dan Desa Airbuluh. Untuk lempung kaolin cadangannya diperkirakan sekitar 562.500 m<sup>3</sup> yang tersebar di daerah Desa Airbuluh dan Desa Pangkalan [Bahri dan Rahmat, 2010]. Lempung alam sudah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, diantaranya sebagai adsorben, resin penukar ion, katalis, komposit, membrane dan bahan pembuat keramik. Metal berpengembangan lempung dapat dimanfaatkan sebagai katalis untuk menyempurnakan proses *pyrolysis* cangkang sawit menjadi *bio-oil*.

Pentingnya penelitian ini dikarenakan *bio-oil* merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. *Bio-oil* dapat digunakan untuk berbagai keperluan industri antara lain sebagai *combustion fuel* dan *power generation* untuk memproduksi bahan kimia serta dapat dicampur dengan minyak diesel sebagai bahan bakar mesin diesel.

Pada penelitian ini akan dilakukan *pyrolysis* cangkang sawit menjadi *biooil* menggunakan katalis Co/lempung. Kadar logam yang diembankan yaitu 0, 1, 3 dan 5% b/b. Pemilihan lempung sebagai katalis dikarenakan struktur lempung yang memiliki pori lebih besar dibandingkan zeolit, stabilitas termal tinggi, luas permukaan lebih luas, dan aktivitas katalitik yang baik. Didukung lagi logam Co yang diketahui mempunyai aktivitas hidreregang yang baik. Kombinasi antara logam Co dengan lempung dapat meningkatkan luas permukaan dan stabilitas termal yang tinggi. Dengan tujuan yang ingin dicapai yaitu, uji kinerja katalis Co/lempung (0%, 1%, 3%, dan 5% b/b) terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan melalui proses *pyrolysis* cangkang sawit menjadi *bio-oil* serta mengkarakterisasi sifat fisika dan kimia *bio-oil* yang dihasilkan.

## 2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lempung dari daerah Desa Cengar, Kecamatan Kuantan Mudik, Kabupaten Kuantan Singingi, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,2 M, Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, BaCl<sub>2</sub>, aquades, gas N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>, cangkang sawit dan silinap 280M (*thermo oil*). Sedangkan alat yang digunakan berupa lumpang porselin, pengayak 40, 60, 100 dan 200 mesh, reaktor alas datar ukuran 1 L, satu set motor pengaduk, oven, *furnace tube*, timbangan analitik, tabung serta regulator gas N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>, reactor pirolisis, *condenser*, *magnetic stirrer*, *thermocouple thermometer* (Barnant), piknometer, *viskometer* Oswald, gelas piala, pengaduk listrik (*Heidolph*), bom kalorimeter, dan Gas kromatografi-Spektroskopi Massa (GC-MS). Tahapan penelitian terdiri dari pembuatan katalis Co/lempung dan pembuatan *bio-oil*.

1) Pembuatan Katalis Co/lempung terdiri dari 4 tahap yaitu :

a. Perlakuan Awal Lempung

Lempung yang sudah membatu ditumbuk dan diayak dengan ukuran ayakan -100+200 mesh dengan ketentuan ukuran partikel yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 mesh dan tertahan pada pengayak 200 mesh.

b. Aktivasi Lempung dengan Perlakuan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
Aktivasi lempung dengan cara refluks lempung cengar sebanyak 150 gram dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,2 M sebanyak 600 ml selama 6 jam pada suhu 50oC sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar volume 1 liter, kemudian sampel tersebut didiamkan selama 16 jam yang selanjutnya disaring dan dicuci menggunakan akuades berulang kali sampai tidak ada ion SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> yang terdeteksi oleh larutan BaCl<sub>2</sub>, *cake* dikeringkan pada suhu 120oC selama 4 jam dalam oven.

c. Pengembangan (Impregnasi) Logam Co

Pengembangan (impregnasi) logam Co dengan cara sampel lempung yang telah diaktivasi dilarutkan dalam 500 ml Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O dan direfluks pada suhu 90oC selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 L, kemudian disaring dan dicuci. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120oC selama 3 jam (diperoleh sampel Co/lempung).

Larutan impregnasi divariasikan sebesar 0%, 1 %, 3 % dan 5% b/b terhadap sampel lempung.

#### d. Kalsinasi, Oksidasi dan Reduksi

Sampel katalis dimasukkan ke dalam tube sebanyak 10 gram. Sebelumnya ke dalam tube telah diisi dengan *porcelain bed* sebagai *heat carrier* dan penyeimbang unggun katalis, di antara *porcelain bed* dengan unggun katalis diselipkan *glass woll*. Tube ditempatkan dalam *tube furnace* secara vertikal, dikalsinasi pada suhu 500oC selama 7 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar ±400 ml/menit, dilanjutkan dengan oksidasi pada suhu 400 oC menggunakan gas oksigen

sebesar ±400 ml/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu 400 oC menggunakan gas hidrogen sebesar ±400 ml/menit selama 2 jam.

#### 2) Pembuatan *Bio-oil*

##### a. Tahap Persiapan Biomassa

Pada tahap ini, biomassa berupa cangkang yang diambil dari PTPN V Sei Galuh, dicuci kemudian dijemur sampai kering di bawah terik matahari setelah itu dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kadar airnya sampai beratnya konstan. Biomassa tersebut kemudian dihaluskan dan diayak (*screening*) untuk memperoleh ukuran - 40+60 mesh.

##### b. Tahap Penelitian

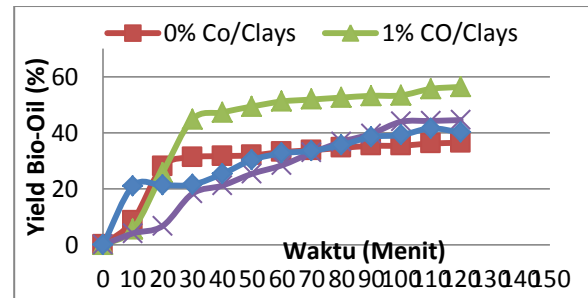
Biomassa yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermal oil* (silinap) dan katalis Co/lempung 1,5 gram, dimasukkan ke dalam reaktor *pyrolysis*. Pyrolysis dilakukan pada suhu 320oC tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen 1,35 mL/detik. Diaduk dengan pengaduk listrik (*Heidolph*) pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama waktu tertentu hingga tidak ada *bio-oil* yang menetes lagi, dan aliran air dengan menggunakan kondensor. *Bio-oil* yang dihasilkan ditampung dalam gelas piala. Selanjutnya *bio-oil* yang dihasilkan dianalisa sifat fisika seperti densitas, viskositas, angka keasaman, nilai kalor, dan titik nyala serta analisa kimia menggunakan alat GC-MS untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung pada *bio-oil*.

### 3.HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengaruh Variasi Katalis Co/Lempung terhadap *Yield Bio-oil* yang dihasilkan

Pengembanan logam Co/Lempung diharapkan mempengaruhi *yield bio-oil* yang

dihasilkan, pengaruh pengembanan logam diharapkan dapat meningkatkan *yield bio-oil*, proses pirolisis ini dilakukan pada suhu 320°C dengan menghitung massa *bio-oil* setiap 10 menit secara berkala, diperlukan waktu 120 menit sampai *bio-oil* tidak ada lagi menetes. Variasi kadar logam Co yang diembankan pada Lempung adalah 0; 1; 3 dan 5% b/b, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.1



**Gambar 3.1** Hubungan antara *Yield Bio-oil* terhadap Waktu pada Pengembanan logam Co (0; 1 ; 3 dan 5 % b/b) pada Lempung

Dari Gambar 4.1 kurva ini menunjukkan k hubungan variasi katalis terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan dapat dilihat pengaruh katalis terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan. Dari penelitian ini *yield bio-oil* yang diperoleh pada masing-masing pengembanan logam adalah 0% Co/Lempung dihasilkan *yield bio-oil* (36,4%) ; 1% Co/Lempung dihasilkan *yield bio-oil* (56,4%); 3% Co/Lempung dihasilkan *yield bio-oil* (44,5%), 5% Co/Lempung dihasilkan *yield bio-oil* (40,1%). Dari gambar 4.1 dapat dilihat *yield bio-oil* optimum didapatkan pada katalis 1% Co/lempung sebesar 56,4%. Dari kurva pengaruh variasi katalis terhadap *yield bio-oil* ini menunjukkan hubungan pengembanan logam dengan *yield bio-oil*, penggunaan katalis dengan logam pengembanan membuktikan peningkatan *yield bio-oil* dibandingkan dengan penggunaan katalis tanpa pengembanan, tetapi peningkatan kadar katalis Co/lempung berlebih menunjukkan penurunan *yield bio-oil* yang dihasilkan. Hal ini di sebabkan adanya distribusi logam Co yang tidak merata pada permukaan lempung yang menyebabkan keasaman dan aktifitas katalis mengalami penurunan. Berdasarkan penelitian sebelumnya disebabkan kenaikan pengembanan logam Co akan memberikan persentase jumlah

di rongga lempung akan semakin kecil di karenakan semakin banyak logam yang di impregnasikan maka, semakin besar jumlah logam yang diembankan maka semakin banyak pula yang tidak tertampung ke dalam lempung karena melebihi kapasitas lempung yang terbatas atau terjadinya akumulasi logam aktif pada pori - pori lempung sehingga menyebabkan dispersi logam-logam yang kurang baik yang akan berpengaruh pada keasaman dan kristalitasnya [Trisunaryanti, dkk., 2005]

### 3.2 Hasil Karakterisasi fisika *Bio-Oil*

Perbandingan Karakteristik Sifat Fisika *Bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1** Perbandingan Karakteristik Sifat Fisika *Bio-oil*

Peneliti	Sifat Fisika			
	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Angka Keasaman (gr NaOH/gr sampel)	Titik Nyala (°C)
Gapurman, 2012 1% Co/Lempung	1,036	11,42	55,43	53
Primaningtiyas, 2012 0.5% CoMo/NZA	0,951	8,21	85,12	51
Anugra, 2011 3% Ni/NZA	1,0323	25,85	97,42	50
Jusniwarlis, 2011 1% Co/Lempung	1,0468	27,34	79,699	55
Khor, 2009	1,031	13, 52	102,9	65
Sukiran, 2008	0,88-1	-	62,19-92,3	-
Yi, 2008	1,171	5,84-13,11	-	60

Dari Tabel 3.1, dapat dilihat sifat fisika bio-oil yang didapatkan masih berada pada range spesifikasi sifat fisika bio-oil.

Densitas bio-oil diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 0,954-1,038 gr/ml. Adapun densitas tertinggi didapatkan dari bio-oil menggunakan katalis Co/Lempung 1% (1,036 gr/ml), sedangkan densitas terendah didapatkan dari bio-oil dengan katalis Co/Lempung 3% (0,954 gr/ml). Nilai densitas yang didapatkan pada penelitian ini telah mendekati densitas bio-oil penelitian [sukiran,2008],[khor,2009],[jusniwarlis,2011],[narasta,2011]. Dengan massa jenis yang kecil, penggunaan *bio-oil* sebagai bahan bakar akan menguntungkan karena lebih ringan (Yi,2008).

Densitas *bio-oil* yang diperoleh pada setiap kadar pengembunan logam, dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2** Densitas *Bio-oil* dari Cangkang Sawit

Katalis		Densitas (gr/ml)
Support	Logam Co	
Clays	0%	0,976
Clays	1%	1,036
Clays	3%	0,954
Clays	5%	0,968

Pengujian viskositas bio-oil dilakukan dengan viskometer ostwald. Nilai viskositas yang didapatkan berkisar 10,31-17,65 cSt. Nilai viskositas terendah didapatkan pada katalis Co/Lempung 3% (10,31 cSt) sedangkan nilai viskositas tertinggi didapatkan pada katalis Co/Lempung 5% (17,65 cSt). Prinsip dari viskositas ini sebenarnya menentukan viskositas cairan bio-oil yang diukur pada suhu tertentu dengan menggunakan viskometer ostwald dan sebagai cairan pembandingnya digunakan air. Viskositas yang rendah juga memudahkan *bio-oil* mengalir dari tangki bahan bakar ke mesin pembakaran (Yi,2008)

**Tabel 3.3** Viskositas *Bio-oil* dari Cangkang Sawit

Katalis		Viskositas (cSt)
Support	Logam Co	
Clays	0%	11,39
Clays	1%	11,42
Clays	3%	10,31
Clays	5%	20,65

Nilai angka keasaman bio-oil pada penelitian ini berkisar 38,868 – 86,475 (gr NaOH/gr Sampel) Nilai angka keasaman tertinggi pada katalis Co/Lempung 1% (86,475 gr NaOH/gr sampel) sedangkan angka keasaman terendah pada katalis 3% (gr NaOH/gr sampel). Angka keasaman yang tinggi selain akan merusak peralatan penyimpanan juga akan menurunkan kualitas bio-oil. Semakin rendah angka keasaman pada *bio-oil*, maka semakin sedikit asam-asam organik yang terkandung pada *bio-oil* maka akan semakin baik pula kualitas bio-oil yang dihasilkan.

Angka keasaman *bio-oil* yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4** Angka Keasaman *Bio-oil* dari Cangkang Sawit

Katalis		Angka Keasaman (gr NaOH/gr Sampel)
Support	Logam Co	
Clays	0%	42,07
Clays	1%	55,43
Clays	3%	38,86
Clays	5%	58,25

Titik nyala *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 52-60 °C, Titik nyala tertinggi pada katalis 3% dan 5% yaitu 60 °C, sedangkan titik

nyala terendah pada katalis 0% yaitu 52 °C. Semakin besar persentase logam yang diembankan titik nyala yang didapatkan semakin tinggi. Titik nyala merupakan suhu saat terlihat nyala singkat pada suhu tertentu. Diharapkan titik nyala *bio-oil* cukup tinggi, karena semakin rendah titik nyala dari *bio-oil* maka memiliki resiko yang besar untuk menimbulkan api dan terbakar. [Yi, 2008].

Data Titik nyala yang diperoleh pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5** Titik Nyala *Bio-oil* dari Cangkang Sawit

Katalis		Titik nyala (°C)
Support	Logam Co	
Clays	0%	52,0
Clays	1%	53,0
Clays	3%	60,0
Clays	5%	60,0

Nilai kalor merupakan ukuran panas atau energi yang dihasilkan, dan diukur sebagai nilai kalor kotor / *gross calorific value*. Nilai kalor *bio-oil* yang diuji pada penelitian ini hanya satu sampel *bio-oil* yang terbaik yaitu pada 1% Co/Clays nilai kalornya adalah 44,706 Mj/kg setara dengan 10685 kKal/kg. Nilai kalor merupakan jumlah energi yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Nilai kalor beberapa bahan bakar minyak dibandingkan nilai kalor *bio-oil* hasil penelitian ini.

**Tabel 3.6** Nilai kalor berbagai bahan bakar dan *bio-oil*

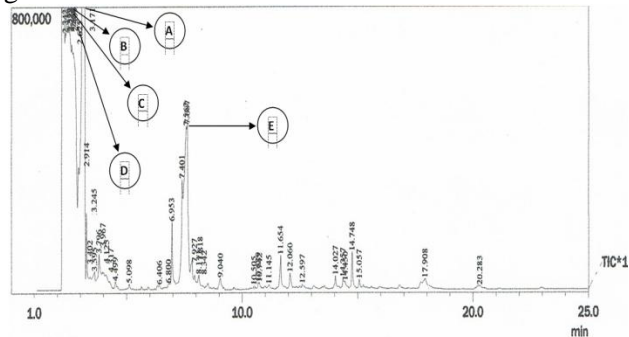
Bahan Bakar Minyak*	Nilai Kalor (kKal/kg)	Nilai Kalor <i>Bio-Oil</i> (kKal/kg)
Minyak Tanah	11.100	10.685
Minyak Diesel	10.800	
L.D.O	10.700	
Minyak Tungku/Furnace	10.500	
LSHS	10.600	

\*Sumber : UNEP,2006

### 3.3 Analisa Kimia *Bio-Oil*

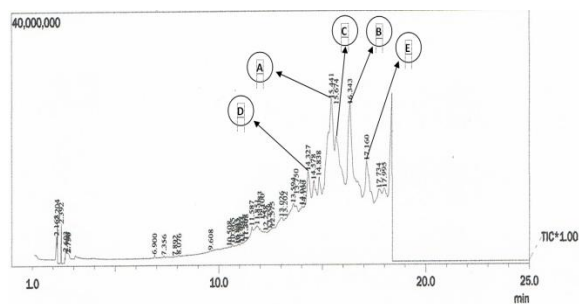
Analisa sifat kimia *bio-oil* dilakukan dengan alat GC-MS (Kromatografi gas-spektrometer massa), sampel *bio-oil* yang dianalisa adalah sampel *bio-oil* 0% Co/Lempung (tanpa katalis) dan 1% Co/Lempung. Dapat kita bandingkan hasil karakterisasi kedua sampel *bio-oil*.

Hasil kromatogram kedua sampel *bio-oil* adalah gambar 4.3 dan 4.4 di bawah ini



**Gambar 4.3** Kromatogram sampel *bio-oil* tanpa logam pengemban pada katalis.

- A= Acetic Acid (22,84 %)
- B= Methyl Acetate (10,42 %)
- C= I-Fluoro, 2- Propanone (10,35 %)
- D= 2-(1-Methylethoxy)Ethanol (9,33 %)
- E= Phenol (4,68 %)



**Gambar 4.4** Kromatogram sampel *bio-oil* dengan katalis 1% Co/Lempung

- A= Glycerol (23,70 %)
- B= 3-Butylcyclohexanone (18,88 %)
- C= Nonadecanoic Acid (14,57 %)
- D= 1-Propane,2-Methyl-Tetramer (5,97 %)
- E= 2,5 Dimethyl-Tetradecane (5,64 %)

Dari hasil analisa GC-MS yang peneliti lakukan, peneliti menyimpulkan bahwa *bio-oil* yang peneliti dapatkan telah memenuhi

spesifikasi senyawa penyusun komponen *bio-oil* menurut [Ensyn Group INC 2001]. Dari hasil analisa sifat fisika dan kimia, serta data perbandingan dengan peneliti lainnya dapat disimpulkan bahwa *bio-oil* dari penelitian ini dapat diolah lebih lanjut menjadi sumber energi alternatif pengganti minyak bumi.

## 4.KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

- Pengembangan Logam Co pada Lempung (Clays) mempengaruhi *yield bio-oil* yang dihasilkan, *yield* yang diperoleh pada 0%; 1%; 3%; dan 5% berturut-turut adalah 36,4%; 56,4%; 44,5%; dan 40,1%. Sedangkan *yield* optimum diperoleh pada katalis 1 % yaitu 56,4%.
- Hasil karakteristik fisika *bio-oil* pada 1% Co/Lempung memiliki karakteristik fisika densitas 1,036 gr/ml, viskositas 11,42 cSt, Angka keasaman 55,43 gr NaOH/gr sampel, dan *flash point* 53°C.
- Bio-oil* yang diperoleh dapat diolah lebih lanjut sebagai bahan bakar minyak seperti solar dan lainnya karena dari hasil karakteristik fisika maupun kimia, *bio-oil* yang dihasilkan telah mendekati karakteristik standar *bio-oil* yang dapat diolah menjadi bahan bakar minyak.

### 4.2 Saran

- Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang *pyrolysis* untuk menghasilkan *bio-oil* menggunakan biomassa dengan kandungan lignin yang lebih besar untuk mendapatkan senyawa *phenol* yang lebih besar.
- Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai *upgrading bio-oil* menjadi bensin dengan metode HDO (*hydrodeoxygenation*).

## 5.UCAPAN TERIMAKASIH

Ditujukan kepada Bpk. Dr.Syaiful Bahri, Msi.,Ph.D dan Bpk. Sunarno, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing beserta rekan-rekan seperjuangan yang telah membantu dan memberi semangat dalam menyelesaikan penelitian ini.

## 6.DAFTAR PUSTAKA

- Anugra, R.D.**, 2011, Efek Kandungan Logam Ni/NZA Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi *Bio-oil*, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Riau**, 2011, Riau dalam Angka 2010, <http://riau.bps.go.id/publikasi-online.html>, 19 Mei 2011
- Bahri, s. Dan R, Rivai, 2010**, Chemical Modification On Natural Clay and Its Application on Equilibrium study of the Adsorption of pb in aqueous solution, *Jurnal sains dan teknologi* 9 (2) September 2010
- Blasi, C.D.**, 2007, Modelling Chemical and Physical Processes of wood and biomass pyrolysis, *Progress in Energy and Combustion Science*, Elsevier, Italy, 47-90.
- DEPTAN**, 2006, Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit, Departemen Pertanian, Jakarta, 11-17.
- Departemen ESDM**, 2010, *Upaya Pengembangan Energi Alternatif*, Jakarta.
- Ensyn Group INC.** 2001. Bio-Oil Combustion Due Diligence : The Conversion of Wood and Another Biomass. Cole Hill Associates
- Innovative Natural Resource Solution LLC**, 2004, *New Hampshire Bio oil Opportunity Analysis*, New Hampshire Office of Energy & Planning, New Hampshire
- Jusniwarlis.**, 2010, Efek Kandungan Logam Ni-Mo/NZA Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa Menjadi *Bio-Oil*, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Khor, K.H., K.H. Lim dan Z.A. Zainal**, 2009, Characteristic of Bio-Oil : A By-Product from Slow Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches, *University Sains Malaysia*.
- Narasta, Z.P.**, 2012. Variasi Kadar Logam Ni-Mo/NZA pada *Catalytic Pyrolysis* Cangkang Sawit menjadi Bio-Oil, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Primaningtyas, A.**, 2012. Konversi Ampas Tapioka Menjadi Bio-Oil Menggunakan Proses Pirolisis dengan Katalis CoMo/NZA, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Sukiran, MAB**, 2008, Pyrolysis Of Empty Oil Palm Fruit Bunches Using the Quartz Fluidised- Fixed Bed Reactor, *Dissertation*, University Of Malaya, Kuala Lumpur.
- UNEP**, 2006. Bahan Bakar dan Pembakaran, United Nations Environment Programme Publisher.
- Warta Pertamina**, 2008. Pola Konsumsi Energi. *Bisnis Sepanjang Jalur Pipa Gas*, ISSN 01259377, hal.12
- Yenti**, 2011. Konversi ampas tapioka menjadi *bio-oil* dengan metode pirolisis menggunakan katalis NZA, *skripsi*, Universitas Riau.
- Yi, L.X.**, 2008, Development and Charaterisation of Continuous Fast Pyrolysis of Oil Palm Shell for Bio-oil Production, *Tesis*, Universiti Teknologi Malaysia.