PRODUKSI *BIO-OIL* DARI BIOMASSA PELEPAH SAWIT MENJADI *BIO-OIL* MENGGUNAKAN KATALIS Co/LEMPUNG DENGAN METODE PIROLISIS

Edwidya Ocktaviani Armay, Syaiful Bahri, Yusnimar
Laboratorium Teknik Reaksi Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
Universitas Riau 28293
Email : windyarmay@gmail.com
HP : 081275757128

ABSTRACT

Petroleum as source of fossil fuels that were not renewable energy and nearly exhausted while the consumption of energy always have been increase time by time. One of alternative energy that can solve this problem is bio-oil from biomass such as frond palm. Bio-oil can be produced through pirolysis process of frond palm using Co/Clays Cengar. *The research purpose is knowing effect of the ratio of catalyst Co/Clays* Cengar *on yield of bio-oil that produced by pyrolisis process from frond palm. Pyrolysis used biomass 50 gram, silinap 500 ml and Co/Clays Cengar catalyst which variated by 0, 1, 3 and 5% wt on frond palm at 330^oC and mixed rotation 300 rpm. The results showed that the maximum yield obtained at the level of developing of a metal catalyst Co 1% of the clay that is equal to 50 %. The test results obtained by the physical properties of density 1,0042 g/ml, 10,493 cSt viscosity, acid number of 0,42976 g NaOH/g sample and the flash point is 52^o C. The results obtained have characteristics approaching the characteristics of standard fuel oil and bio-oil.*

Kata Kunci : *Bio-oil,* Co/*Clays* Cengar, *Frond Palm*, *Pyrolysis*

1. PENDAHULUAN

Minyak bumi adalah sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan merupakan sumber energi yang banyak digunakan sebagai bahan bakar. Cadangan minyak bumi terbukti saat ini di Indonesia diprediksi 9 milyar barel, dengan tingkat produksi rata-rata 0,5 milyar barel per tahun, dan diperkirakan akan habis dalam waktu 18 tahun mendatang (KEMENLU, 2012). Untuk itu, perlu mengembangkan berbagai macam energi alternatif yang dapat diperbaharui dan murah, baik dalam segi harga dan bahan bakunya sendiri salah satunya konversi biomassa menjadi bio-oil.

Provinsi Riau mempunyai luas areal perkebunan sawit 1.911.113 hektar pada tahun 2010 (BPS Riau, 2011). Diperkirakan jumlah limbah pelepah sawit yang dihasilkan adalah sebesar 30,87 ton/tahun. Pemanfaatan pelepah sawit dengan metode seperti ini hanya dapat menanggulangi jumlahnya dalam skala kecil sedangkan jumlah pelepah sawit semakin tahun semakin meningkat.

Di kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau memiliki lempung jenis kaolinit yang melimpah diperkirakan sekitar 562.500 m^3 yang tersebar di daerah Desa Air Buluh dan Desa Pangkalan (Bahri dan Rivai, 2010). Lempung disebut zeolit dua dimensional karena strukturnya berpori-pori menyerupai zeolit akan tetapi karakteristik lempung sebagai material dua dimensional masih tampak sehingga lempung ini bersifat lebih fleksibel dibanding zeolit (Istinia dkk, 2002). Lempung juga telah dimanfaatkan sebagai katalis (Darmawan, 2004).

Pada penelitian ini akan dilakukan pirolisis pelepah sawit menjadi *bio-oil* 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. Logam Co yang diketahui mempunyai aktivitas hidrorengkah yang baik. Kombinasi antara logam Co dengan lempung dapat meningkatkan luas permukaan dan stabilitas termal yang tinggi (Darmawan, 2004). 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 pirolisis pelepah 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_2SO_4 1,2 M, $(Co(NO_3)_2.6H_2O)$, $BaCl_2$, aquades, gas N_2, O_2, dan H_2, pelepah sawit dan silinap 280 M (*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_2, O_2 dan H_2, reaktor pirolisis, *condenser*, *magnetic stirrer, thermocouple thermometer* (Barnant), piknometer, *viskometer* Oswald, gelas piala, pengaduk listrik (*Heidolph)* 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_2SO_4

Aktivasi lempung dengan cara refluks lempung cengar sebanyak 50 gram dalam larutan H_2SO_4 1,2 M sebanyak 600 ml selama 6 jam pada suhu 50^oC sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar volume 1 liter, kemudian sampel tersebut didiamankan selama 16 jam yang selanjutnya disaring dan dicuci menggunakan akuades berulang kali sampai tidak ada ion SO_4^{-2} yang terdeteksi oleh larutan $BaCl_2$, *cake* dikeringkan pada suhu 120^oC selama 4 jam dalam oven.

   c. Pengembanan (Impregnasi) Logam Co

Pengembanan (impregnasi) logam Co dengan cara sampel lempung yang telah diaktivasi dilarutkan dalam 500 ml $(Co(NO_3)_2.6H_2O)$ dan direfluks pada suhu 60^oC selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 L, kemudian disaring dan dicuci. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120^oC selama 3 jam (diperoleh sampel Co/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 500^oC 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 pelepah sawit yang diambil dari perkebunan sawit disekitar Kubang-Panam, 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

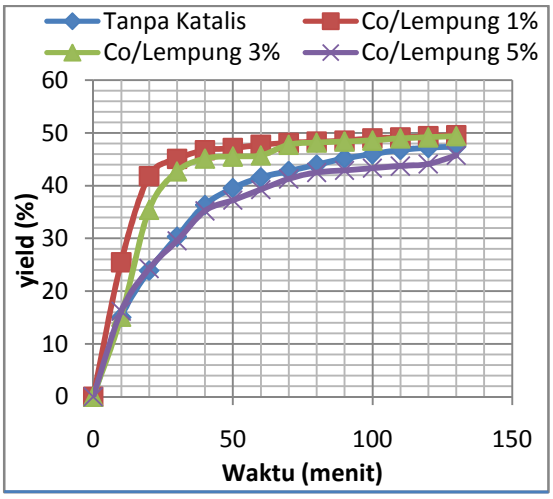
Biomassa yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram dan 500 ml *thermal oil* (silinap) beserta katalis Co/lempung dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Pirolisis dilakukan pada suhu 330^oC tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen 1,3 mL/detik. Diaduk dengan pengaduk listrik(*Heidolph)* pada 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 Presentasi Katalis Co/Lempung Cengar Terhadap *Yield Bio-oil* yang Dihasilkan

Pengaruh persentase katalis diharapkan dapat mempengaruhi *yield bio-oil* yang dihasilkan. *Bio-oil* dihasilkan dengan menggunakan proses pirolisis pada suhu 330 ^{o}C dan massa *bio-oil* yang diperoleh dihitung setiap 10 menit secara berkala. Proses pirolisis membutuhkan waktu 120 menit sampai *bio-oil* tidak menetes lagi. Variasi katalis Co/Lempung Cengar yang digunakan yaitu 0%; 1%; 3%; dan 5% b/b terhadap pelepah sawit. Perolehan *yield bio-oil* setiap variasi katalis dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Grafik Pengaruh Persentasi Katalis Co/Lempung Cengar terhadap *Yield Bio-oil* yang Dihasilkan pada Suhu 330^{o}C

Pada proses pirolisis Gambar 4.1 menunjukkan pengaruh presentasi katalis Co/Lempung Cengar terhadap *bio-oil* yang dihasilkan pada suhu 330 ^{o}C. Pada penelitian ini, *yield bio-oil* yang dihasilkan tanpa menggunakan katalis adalah sebesar 47,3%. Sedangkan dengan *yield bio-oil* menggunakan variasi katalis secara berurutan adalah 1% Co/Lempung dihasilkan *yield bio-oil* (50%); 3% Co/Lempung dihasilkan *yield bio-oil* (49,3%), 5% Co/Lempung dihasilkan *yield bio-oil* (45,7%). *Yield bio-oil* maksimum didapatkan pada katalis 1% Co/Lempung sebesar 50%. Dari *yield bio-oil* yang dihasilkan dari keempat katalis ini menunjukkan tidak ada perbedaan hasil yang signifikan baik tanpa menggunakan katalis dan menggunakan katalis Co/Lempung Cengar 1%.

Peningkatan kadar katalis Co/Lempung berlebih menunjukkan penurunan *yield bio-oil* yang dihasilkan. Terjadi kecenderungan yang sama terhadap penelitian lain antara lain penelitian Gapurman (2013) yaitu pirolisis cangkang sawit menggunakan katalis Co/lempung didapatkan *yield bio-oil* terbaik pada katalis Co/lempung 1% sebanyak 56,4% dan penelitian Amelisa (2013) juga melakukan pirolisis pelepah sawit menggunakan katalis lempung didapatkan *yield bio-oil* terbaik pada katalis lempung 1% sebanyak 72%. Pada penggunaan katalis Co/Lempung Cengar 3% dan 5% terjadi penurunan *yield bio-oil* yaitu sebesar 49,3% dan 45,7%. Hal ini dapat terjadi karena semakin banyak terbentuknya produk gas yang tidak terkondensasi (Gan, 2012). Pada penelitian Trisunaryanti dkk (2005) diperoleh data XRD dari preparasi, modifikasi dan karakterisasi katalis logam terhadap zeolit, kenaikan pengembanan logam Co akan memberikan persentase jumlah di rongga lempung akan semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak logam yang di impregnasikan 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.

Secara keseluruhan, penambahan jumlah katalis Co/lempung Cengar pada

proses pirolisis tidak berpengaruh signifikan terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan antara tanpa menggunakan katalis dengan menggunakan katalis. Hal ini di sebabkan adanya distribusi logam Co yang tidak merata pada permukaan Lempung yang menyebabkan keasaman dan aktifitas katalis semakin menurun (Gapurman, 2013). Pada penambahan katalis Co/lempung Cengar 1% b/b terhadap biomassa pelepah sawit dengan suhu pirolisis 330^{o}C merupakan kondisi maksimum menghasilkan *yield bio-oil* paling besar dari penelitian ini.

3.2 Hasil Karakteristik Sifat *Bio-Oil*

Hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* dari pelepah sawit menggunakan katalis Co/Lempung Cengar sebanyak 0%, 1%, 3%, 5% b/b terhadap biomassa pelepah sawit secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Uji Karakteristik *Bio-oil* dari Pelepah Sawit

Persentase Katalis Co/Lempung Cengar Terhadap Pelepah Sawit	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Titik nyala (^{0}C)	Angka asam (gr NaOH/gr sampel)	Yield (%)
Tanpa Katalis	1,0196	11,103	50	0,48989	47,3
1%	**1,0042**	**10,493**	**52**	**0,42976**	**50**
3%	1,0114	10,811	53	0,43460	49,3
5%	1,0114	11,084	60	0,60054	45,7

Dari Tabel 3.1 menunjukkan bahwa parameter yang digunakan untuk menentukan standar mutu *bio-oil* adalah densitas, viskositas, titik nyala, dan angka keasamaan. Untuk hasil uji fisika berdasarkan *yield bio-oil* maksimum yaitu pada penggunaan katalis Co/Lempung Cengar 1% terhadap pelepah sawit diperoleh densitas 1,0042 gr/ml, viskositas 10,493 cSt, titik nyala 52°C dan angka asam 0,42976 gr NaOH/gr sampel. Adapun nilai densitas *bio-oil* terendah diperoleh pada penggunaan katalis Co/Lempung Cengar 1% sebesar 1,0042 gr/ml sedangkan nilai densitas tertinggi yaitu tanpa penggunaan katalis sebesar 1,0196 gr/ml. Nilai densitas dipengaruhi oleh kandungan air yang terkandung didalam *bio-oil*. Dengan densitas yang lebih kecil, penggunaan *bio-oil* sebagai bahan bakar akan menguntungkan karena lebih ringan (Negri, 2012).

Pengujian viskositas *bio-oil* dilakukan dengan viskometer Ostwald. Viskositas *bio-oil* yang paling rendah yaitu pada penggunaan katalis Co/Lempung Cengar 1% sebesar 10,493 cSt, sedangkan viskositas yang paling tinggi yaitu pada penggunaan tanpa katalis sebesar 11,103 cSt. Dengan viskositas yang lebih rendah akan lebih memudahkan proses pemindahan *bio-oil* dari suatu tempat ke tempat yang lain (Yi, 2008).

Titik nyala *bio-oil* yang paling rendah yaitu pada penggunaan tanpa katalis Co/Lempung Cengar sebesar 50°C, sedangkan titik nyala yang paling tinggi yaitu pada pengunaan katalis 5% b/b sebesar 60°C. Dengan titik nyala yang terlalu rendah dikhawatirkan dapat menyebabkan *bio-oil* mudah terbakar pada suhu lingkungan.

Untuk angka asam terendah diperoleh dari *bio-oil* meggunakan katalis Co/Lempung Cengar 1% sebesar 0,42976 gr NaOH/gr sampel, sedangkan angka asam tertinggi yaitu pada penggunaan katalis 5% b/b sebesar 0,60054 gr NaOH/gr sampel. Angka asam yang tinggi menunjukkan tingginya sifat korosif dari *bio-oil*. Semakin rendah angka asam pada *bio-oil*, maka semakin sedikit asam-asam organik yang terkandung pada *bio-oil* (Sukiran, 2008). Perbandingan hasil karakterisasi fisika *bio-oil* dari penelitian ini dengan karakteristik fisika bahan bakar minyak berupa solar dapat dilihat pada Tabel 4.3.

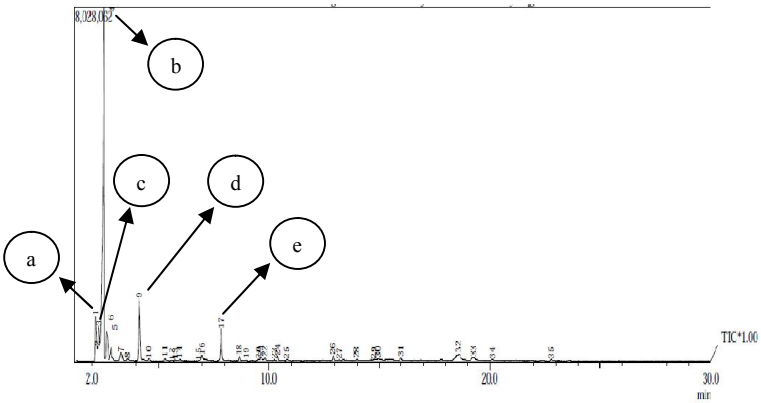
Tabel. 3.2 Perbandingan Spesifikasi *Bio-Oil* dengan Spesifikasi (*Dynamotive,* 2012)

Karakteristik	*Dynamotive* (2012)	*Bio-oil* Co/Lempung Cengar
Densitas (gr/ml)	0,94-1,2	1,0042-1,0196
Viskositas(cSt)	4-78	10,493-11,103
Angka asam (gr NaOH/gr sampel)	-	0,42976-0,60054
Titik Nyala (^{0}C)	48-67	50-60

Dari Tabel 3.2 terlihat bahwa nilai densitas, viskositas, angka asam dan titik nyala pada *bio-oil* Co/Lempung Cengar ini memenuhi syarat spesifikasi *bio-oil* dan dapat digunakan sebagai bahan bakar berdasarkan *Dynamotive* (2012).

3.3 Analisis Kimia *Bio-Oil*

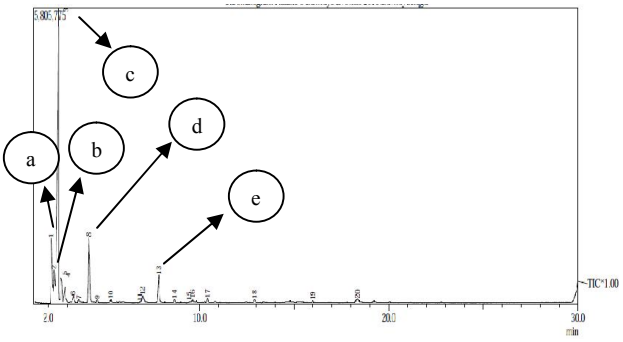
Bio-oil dengan *yield* terendah yaitu tanpa menggunakan katalis dan *bio-oil* dengan *yield* maksimum pada penggunaan katalis Co/Lempung Cengar 1% dilakukan analisis kimia berupa kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS). Analisis GC-MS menghasilkan kromatogram yang menyatakan jumlah persentasi komponen kimia yang terkandung di dalam *bio-oil.* Hasil kromatogram dari dua sampel *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Hasil Kromatogram GC *Bio-oil* Pelepah Sawit dengan tanpa katalis Co/Lempung Cengar

Dimana hasil dari kromatogram MS:

a = *Oxiranemethanol*
b = *Methyl Acetate*
c = *Acetic Acid*
d = *2-Furancarboxaldehyde*
e = *Benzene Sulfonic Acid*



Gambar 3.3 Hasil Kromatogram GC *Bio-oil* Pelepah Sawit dengan 1% katalis Co/Lempung Cengar

Kromatogafi GC pada gambar 3.2 dan 3.3 mempunyai 5 puncak tertinggi yang mempunyai luas area berturut-turut 5,47%; 4,15%; 58,64%; 9,8%; 4,41% pada gambar 4.2 dan 10,3%; 4,72%; 56,64%; 11,71%; 3,95% pada gambar 4.3. Dari analisis MS (Lampiran C) diketahui bahwa asam asetat merupakan komponen yang paling banyak terkandung dalam *bio-oil* ini dengan jumlah 58,64 % dan 56,64 % sedangkan fenolnya 4,41% dan 3,95%. Asam asetat ini juga yang mempengaruhi terhadap sifat asam dari *bio-oil* yang dihasilkan. Selain 5 puncak tertinggi tersebut, terdapat puncak-puncak lain yang teridentifikasi mengandung senyawa organik lainnya, seperti *Propanoic Acid, Furanone, 2-Propanone* dan beberapa turunan *Phenol* lainnya. Sebagian besar komponen kimia yang terkandung di dalam *bio-oil* ini merupakan hasil dekomposisi dari hemiselulosa dan lignin. Hal ini dikarenakan pelepah sawit yang digunakan sebagai biomassa, sebagian besar terdiri dari komponen hemiselulosa dan lignin. Selain itu pada suhu 330^{o}C, hanya sebagian kecil komponen selulosa yang berhasil terdekomposisi.

Pada gambar 4.2 dan 4.3 menunjukkan bahwa hasil puncak pada kromatogram *bio-oil* tanpa menggunakan katalis dengan *bio-oil* yang menggunakan katalis 1% b/b tidak jauh berbeda. Hal ini diperkirakan karena katalis Co/Lempung Cengar yang digunakan pada proses pirolisis pelepah sawit kinerjanya kurang selektif. Dari analisis GC-MS (Lampiran C), komponen kimia yang terkandung

dalam *Bio-oil* dapat dikelompokan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Komponen Kimia yang Terkandung dalam *Bio-Oil*

Komponen Kimia Bio-Oil	%Area			
	Tanpa Katalis	Katalis 1%	Katalis 3%	Katalis 5%
Kelompok Asam	**67,53**	**63,82**	70,73	72,5
Kelompok Aldehid	0,39	-	0,23	0,16
Kelompok Keton	5,55	**4,26**	4,49	3,91
Kelompok alkohol	6,81	**10,73**	8,16	10,41
Kelompok Furan	10,74	**13,89**	12,30	10,02
Kelompok phenol	0,41	**0,17**	0,41	0,16
Senyawa lain	8,47	**7,11**	3,68	2,85

Berdasarkan Mohan (2005), dari ke empat komponen *bio-oil* yang ditunjukan pada Tabel 3.3 telah memiliki komponen yang diperlukan untuk menjadi *bio-oil* diantaranya memiliki kelompok senyawa *phenol*, alkohol, asam, aldehid, keton, furan dan senyawa lainnya. Komposisi terbaik ditunjukan pada katalis Co/Lempung Cengar 3% dikarenakan mengandung nilai *phenol* dan alkohol yang lebih besar dari pada *bio-oil* pada tanpa katalis, katalis Co/Lempung Cengar 1% dan katalis Co/Lempung Cengar 5%. Dari hasil analisis sifat fisika dan sifat kimia serta data perbandingan dengan peneliti sebelumnya dapat disimpulkan bahwa *bio-oil* dari penelitian ini dapat diolah lebih lanjut menjadi sumber energi alternatif bahan bakar pengganti minyak bumi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Pada penggunaan katalis Co/Lempung Cengar 1% b/b terhadap pelepah sawit dihasilkan *yield bio-oil* maksimal sebesar 50%.
2. Hasil karakterisasi sifat fisika *bio-oil* Co/Lempung Cengar 1% b/b memiliki karakteristik fisika yaitu densitas 1,0042 gr/ml, viskositas 10,493 cSt, titik nyala 52^{o}C, dan angka keasaman 0,42976 gr NaOH/gr sampel. Komponen kimia yang terkandung dalam *bio-oil* adalah kelompok asam 63,82%, kelompok keton 4,26%, kelompok alkohol 10,73%, kelompok furan 13,89%, kelompok phenol 0,17% serta senyawa lain (*hexane, benzene,* dll) sebanyak 7,11%.

4.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian pirolisis dengan menggunakan logam yang lain dan variasi berbeda untuk mendapatkan *yield bio-oil* yang maksimum dan komponen *bio-oil* yang lebih spesifik serta yang diinginkan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ditujukan kepada Bpk. Prof. Dr.Syaiful Bahri, MSi., Ph.D dan Ibu Dra. Yusnimar, Msi., M.Phill selaku Dosen Pembimbing beserta rekan-rekan seperjuangan dan juga laboran yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

Amelisa, 2013, Pirolisis Limbah Pelepah Kelapa Sawit Menjadi Bio-Oil Menggunakan Katalis Lempung Cengar, Skripsi Sarjana, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau.

Badan Pusat Statistik Provinsi Riau, 2011, Riau Dalam Angka 2010, http://riau.bps.go.id/publikasi-online/riau-dalam-angka/perkebunan.html-0, (29 Maret 2013).

Darmawan, A., 2004, Hidrorengkah Fraksi Berat Minyak Bumi Menggunakan Katalis Lempung Terpilar Aluminium Berpengemban Nikel, JKSA,1(8).

Dynamotive, 2012. Axens and Dynamotive to Develop and Commercialize Process for Upgrading Bio-Oil to Transportation Fuels. IFPEN.Canada

Gan, J.,(2012). *Hydrothermal Conversion Of Lignocellulosic Biomass To Bio-Oils.* Manhattan.Department of Biological and Agricultural Engineering College of Engineering. Kansas State University

Gapurman, Bahri, S., dan Sunarno, 2013, *Konversi Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil dengan Metode Pyrolysis Menggunakan Katalis Co/Lempung (Clay)*, Skripsi Sarjana, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau.

Istinia, Y., Rambat, Warjani, S. 2002. *Penggunaan Cr_2O_3 Bentonit Sebagai Katalis Konverter Biofuel Menjadi Fraksi Benin*, Buletin Penalaran Mahasiswa UGM,2(10)

Kementerian Luar Negeri, 2012, Krisis Energi, http://www.kemlu.go.id (15 Mei 2013).

Mohan, D., C.U. Pittman, dan P.H. Steel, 2006, Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-Oil : A Critical Review, *Energy and Fuels*, 20, 848-889

Negri, G, P., 2012. Konversi Pelepah Nipah menjadi *Bio-oil* Menggunakan Metode Pirolisis menggunakan Katalis CoMo/NZA ,Skripsi, Universitas Riau.

Sukiran, M.A.B., 2008, *Pyrolysis Of Empty Oil Palm Fruit Bunches using The Quartz Fluidised- Fixed Bed Reactor*, Dissertation, University of Malaya.

Trisunaryanti, W., E. Triwahyuni dan S. Sudiono, (2005), Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit alam. ISSN, 10. 269-282.

Yi, L.X., 2008, Development and Charaterisation of Continuous Fast Pyrolysis of Oil Palm Shell for Bio-oil Production, *Tesis,* Universiti Teknologi Malaysia.