

# CATALYTIC PYROLYSIS CANGKANG SAWIT MENJADI *BIO-OIL* MENGUNAKAN KATALIS LEMPUNG DESA CENGAR

Axl Maya Manopo, Syaiful Bahri, Sunarno

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

Email : [axl\\_maya@hotmail.com](mailto:axl_maya@hotmail.com)

HP : 083167067918

## ABSTRACT

*The demand of fossil fuel is increasing each year. On the other hand, the availability of conventional petroleum fuels diminishing due to its non-renewable. Therefore, it is necessary to develop a new alternative fuel that can be renewed, one of the solution is the processing of biomass into bio-oil. Bio-oil is a result of the pyrolysis of biomass. Availability of abundant palm shell waste is converted into bio-oil by pyrolysis method using clay catalysts Cengar. The purpose of this study was to determine the performance of the catalyst to produce bio-oil, characterize the density, viscosity, acid number, and flash point of bio-oil that produced, as well as analyze the chemical components of bio-oil by GC-MS. Pyrolysis of palm shells with clay catalyst from Cengar in the reactor slurry do by feeding 50 grams of palm shell with the size -40 +60 mesh, silinap 500 ml, variation in levels of catalyst 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, and 5% w/w of the feedstock, stirring speed is set to 300 rpm, 320°C temperature, and the process runs for 120 minutes. The results showed that the optimum yield obtained on 2% clay catalyst, amounting to 72,20%. The test results obtained by the physical properties of density 0,981 g/ml, 98,002 cSt viscosity, acid number of 51.55 gr NaOH/gr sample. The result of chemical analysis by GC-MS, obtained the dominant chemical components in bio-oil was 10,38% 2,4,4-trimethyl-1-pentene, 9,67% Cyclohexane, 10,33% 5,5-dimethyl-2-hexene, and 15,30% Phenol.*

**Keywords:** *Bio-oil, pyrolysis, palm shell oil, clay, alternative fuels*

## 1. PENDAHULUAN

Minyak bumi sudah menjadi sumber energi yang fenomenal di belahan bumi sejak ditemukan ladang-ladang minyak dan kemajuan teknologi pengolahannya. Peranannya besar dalam kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di dunia. Bahkan, guncangan kecil terhadap harga minyak bumi dapat mempengaruhi ekonomi dan politik dunia. Namun, ketersediaan minyak bumi tidak dapat mencukupi kebutuhan akan minyak bumi di masa yang akan datang dikarenakan minyak bumi merupakan energi tak terbarukan.

Di Indonesia, konsumsi minyak bumi selalu meningkat tiap tahunnya. Namun dilain pihak, peran minyak bumi dalam mencukupi kebutuhan energi nasional diprediksi terus turun. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menargetkan kontribusi minyak bumi terhadap kebutuhan energi tinggal 20 persen pada 2025. Angka ini menurun drastis dibanding saat ini yang mencapai 50,66 persen. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan minyak bumi dalam

negeri, minyak bumi diimpor dari luar negeri hampir 20%-30%. Kebutuhan impor minyak bumi diperkirakan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat dan pertumbuhan ekonomi di dalam negeri yang diharapkan semakin membaik ditahun-tahun mendatang. Hal ini melatarbelakangi perlunya sumber energi alternatif sebagai penyeimbang sumber energi dari bahan bakar fosil.

Sejumlah pakar berpendapat, penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan merupakan jalan keluar manusia dari ketergantungan manusia pada bahan bakar fosil. Berdasarkan studi yang dilakukan sebuah lembaga riset di Jerman (*Zentrum for Rationnelle Energianwendung und Umwelt, ZREU*) pada tahun 2000, estimasi potensi biomassa Indonesia sebesar 146,7 juta ton per tahun. Sumber utama dari energi biomassa berasal dari residu padi (potensi energi sebesar 150 GJ/tahun), kayu rambung/kayu karet (120 GJ/tahun), residu gula (78 GJ/tahun), residu kelapa sawit (67 GJ/tahun), dan residu kayu lapis dan irisan kayu/veneer, residu

penebangan, residu kayu ulin, residu kelapa dan sampah pertanian lain (kurang dari 20 GJ/tahun) [Maulidia, 2010]. Apabila potensi ini dimanfaatkan secara maksimal maka akan memecahkan permasalahan kelangkaan energi saat ini.

Salah satu metode konversi biomassa menjadi bahan bakar yaitu pirolisis. Pirolisis adalah dekomposisi senyawa organik secara thermal tanpa kehadiran oksigen. Produk utama pirolisis adalah *bio-oil*. Dengan melalui beberapa proses, *bio-oil* dapat dijadikan *bio-fuel*. Menurut Stöcker (2008), cara untuk meningkatkan kualitas *bio-oil* salah satunya dengan metode *catalytic pyrolysis*. Katalis berperan penting dalam hal selektifitas komposisi kimia dalam *bio-oil*, dimana diharapkan penggunaan katalis dapat menurunkan pembentukan komponen-komponen teroksidasi yang tak diinginkan seperti alkohol, keton, asam, dan grup karbonil [Stöcker, 2008].

Mineral lempung merupakan salah satu kekayaan Indonesia yang berlimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Tanah lempung secara geologis adalah mineral alam dari keluarga silikat yang berbentuk kristal dengan struktur berlapis [Wijaya dkk., 2002]. Sudah banyak penelitian dilakukan dan menunjukkan bahwa lempung alam dapat dijadikan sebagai katalis. Lempung sudah lama menjadi katalis perengkahan minyak bumi sebelum ditemukannya zeolit. Komposisi kimia dan struktur kristal lempung menjadi dasar penggolongan lempung ke dalam empat kelompok utama seperti, ilit, smektit, vermikulit, dan kaolinit [Nagrendappa, 2002]. Penelitian terdahulu oleh Bahri dan Rivai (2010) menunjukkan bahwa lempung alam desa Cengar merupakan lempung golongan kaolinit.

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 resin, kimia, dan bahan bakar alternatif.

Pada penelitian ini akan dilakukan *pyrolysis* cangkang sawit menjadi *bio-oil* menggunakan katalis lempung dengan jumlah katalis berturut-turut 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% b/b. Pemilihan lempung sebagai katalis dikarenakan lempung adalah katalis asam padat yang dapat berfungsi baik sebagai asam Bronsted dan Lewis di alam [Triyono dkk.,

1990]. Selain itu, lempung sudah lama dijadikan katalis perengkahan sebelum ditemukannya zeolit. Dengan tujuan yang ingin dicapai yaitu, uji kinerja katalis lempung (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 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 Desa Cengar, Kecamatan Kuantan Mudik, Kabupaten Kuantan Singingi, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,2 M, BaCl<sub>2</sub>, aquades, gas H<sub>2</sub>, cangkang sawit, dan silinap 280M (*thermo oil*) 500 ml. 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 H<sub>2</sub>, reaktor 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 lempung teraktivasi dan pembuatan *bio-oil*.

1) Pembuatan katalis lempung teraktivasi 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 50°C sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar volume 1 liter, kemudian sampel tersebut diamankan 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 110°C dalam oven hingga beratnya konstan.

c. Kalsinasi

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°C selama 7 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar ±400 ml/menit.

## 2) Pembuatan *Bio-oil*

### a. Tahap Persiapan Biomassa

Pada tahap ini, biomassa berupa cangkang yang diambil dari PTPN V Sei Pagar, 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

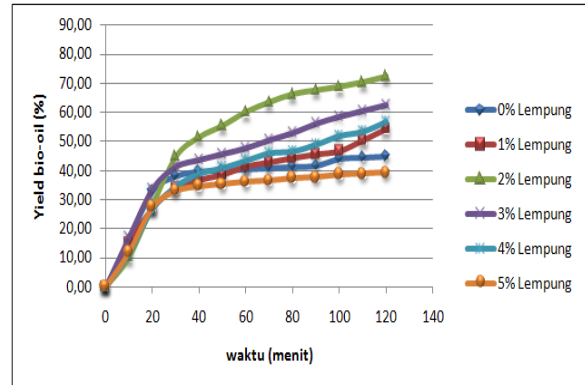
Biomassa yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermal oil* (silinap) dan katalis lempung dengan variasi jumlah 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% b/b dimasukkan ke dalam reaktor *pyrolysis*. Pyrolysis dilakukan pada suhu 320°C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen 80 mL/detik. Diaduk dengan pengaduk listrik (*Heidolph*) pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama 120 menit. *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 Kadar Katalis Terhadap *Yield Bio-oil*

Pemakaian katalis dalam pirolisis diharapkan dapat memberikan pengaruh positif terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan. Untuk mengetahui pengaruh katalis pada pirolisis maka dilakukan pirolisis cangkang sawit pada variasi jumlah katalis yang berbeda. Proses pirolisis dijalankan selama 120 menit pada variasi berat lempung 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Setiap 10 menit dicatat berat *bio-oil* yang diperoleh. Pengaruh variasi berat katalis lempung terhadap *yield bio-oil* dilihat pada Gambar 3.1 berikut :



**Gambar 3.1** Pengaruh Variasi Berat Katalis Terhadap *Yield Bio-oil*

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa *yield bio-oil* yang dihasilkan berbeda untuk setiap variasi berat katalis lempung cengar. *Yield bio-oil* yang dihasilkan pada jumlah katalis 2% lempung adalah 72,20%, lebih besar dari *yield bio-oil* yang dihasilkan tanpa menggunakan katalis yaitu 44,89%. Hal ini disebabkan semakin besarnya luas permukaan reaksi dengan akibat dari adanya katalis. Katalis memiliki permukaan yang mempercepat terjadinya reaksi dekomposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Oleh karena itu, dengan adanya katalis, *yield* yang dihasilkan lebih besar dibanding dengan reaksi tanpa katalis.

Keuntungan lain yang diperoleh dari hadirnya katalis adalah peningkatan laju reaksi. Katalis dapat menurunkan energi aktivasi pada proses pirolisis. Turunnya energi aktivasi menyebabkan nilai konstanta laju reaksi semakin besar. Persamaan Arrhenius menyatakan bahwa energi aktivasi reaksi berbanding terbalik terhadap nilai konstanta laju reaksi, dan nilai konstanta laju reaksi berbanding lurus terhadap kecepatan suatu reaksi. Semakin besar kecepatan reaksi yang terjadi, semakin besar pula pembentukan produk yang terjadi. Oleh karena itu, pada suhu yang sama dan dengan adanya penambahan katalis didapatkan *yield bio-oil* yang lebih besar.

Namun pada kadar katalis 3%, 4%, dan 5% berat, terjadi penurunan *yield*. Hal ini disebabkan semakin banyaknya katalis yang dimasukkan dapat menyebabkan peningkatan derajat polimerisasi dan membuat kualitas produk semakin tidak baik [Freeh, 2011]. Selain itu, menurut Jackson (2010), penambahan katalis terlalu banyak dapat

menyebabkan pengerasan pada titik tertentu yang dapat menyebabkan rapuh atau retaknya katalis. Akibat dari rapuhnya katalis, menyebabkan proses dekomposisi biomassa tidak berjalan dengan baik sehingga *yield* yang diperoleh semakin menurun seiring semakin bertambahnya jumlah katalis. Maka dapat disimpulkan, pirolisis cangkang sawit menggunakan katalis lempung cengar menghasilkan *yield bio-oil* yang maksimal pada kadar katalis 2% b/b.

### 3.2 Hasil Karakterisasi Fisika *Bio-oil*

Hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* dari cangkang sawit menggunakan katalis lempung cengar dengan variasi jumlah 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

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

Katalis	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Angka Keasaman (gr NaOH/ gr Sampel)	Titik Nyala (°C)	Yield
0%	1,002	70,000	34,67	48	44,89
1%	1,016	93,002	52,92	50	54,2
2%	0,981	98,002	51,55	53	72,20
3%	1,003	73,001	84,39	52	62,59
4%	1,06	97,000	52,00	53	56,82
5%	1,003	93,998	101,27	56	39,32

Tabel 3.1 menunjukkan bahwa penggunaan katalis pada proses pirolisis tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat fisika dari *bio-oil*. Hal ini dapat dilihat dari densitas, viskositas, dan titik nyala yang tidak jauh berbeda. Hasil karakterisasi fisika yang didapat sesuai dengan standar spesifikasi *bio-oil*. Hasil perbandingan *bio-oil* dengan *yield* terbanyak terhadap standar *bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2** Perbandingan Sifat Fisika *Bio-oil* Terhadap Standar *Bio-oil*

Sifat fisika	Bio-oil dengan Katalis 0%	Bio-oil dengan Katalis 1%	Bio-oil dengan Katalis 2%	Bio-oil dengan Katalis 3%	Bio-oil dengan Katalis 4%	Bio-oil dengan Katalis 5%	Standar <i>Bio-oil</i>
Densitas (gr/ml)	1,002	1,016	0,981	1,003	1,06	1,003	0,94-1,2
Viskositas (cSt)	70	93,002	98,002	73,001	97	93,998	25-1000
Titik nyala (°C)	48	50	53	52	53	56	40-110
Angka Keasaman (gr NaOH/gr Sampel)	34,67	52,92	51,55	84,39	52	101,27	102,9

Menurut Oasmaa dan Peacocke (2001), densitas dari cairan hasil pirolisis berkisar 1,2-1,3 kg/dm<sup>3</sup> dan densitas *bio-oil* merupakan fungsi dari kandungan air. Menurut Oasmaa

dan Peacocke (2001), cairan hasil pirolisis yang terbentuk ada dalam bentuk dua fasa, fasa atas dan fasa bawah. Dimana fasa atas merupakan fasa dimana densitas kecil dan kandungan air sedikit, sedangkan fasa bawah memiliki densitas besar dan kandungan air yang besar. Hal ini disebabkan komponen ekstraktif berada pada fasa atas dan fasa bawah terdiri dari air dan komponen *water-soluble*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan katalis 2% dengan *yield* 72,20% memiliki kandungan air yang lebih sedikit dibanding lainnya karena memiliki densitas terkecil sebesar 0,981 gr/ml.

Titik nyala diukur untuk mengetahui suhu maksimum suatu senyawa disimpan tanpa menimbulkan kebakaran serius. Titik nyala yang rendah dapat menyebabkan suatu senyawa mudah terbakar. Menurut Oasmaa dan Peacocke (2001), titik nyala *bio-oil* berkisar dari 40 – 100 °C ke atas. Titik nyala dari 40 – 50°C pada *bio-oil* dikarenakan banyaknya jumlah komponen volatile yang memiliki titik didih yang rendah. Tabel 3.1 menunjukkan bahwa titik nyala dari *bio-oil* termasuk standar yakni berkisar 50°C.

Pada Tabel 3.1 dapat dilihat bahwa angka keasaman pada pirolisis tanpa katalis terendah dibanding dengan sampel lainnya. Sedangkan untuk pirolisis dengan katalis 2% memiliki angka keasaman terkecil dibanding dengan jumlah variasi katalis yang lain. Angka keasaman yang tinggi menunjukkan tingginya sifat korosif dari *bio-oil*. Besarnya angka keasaman disebabkan adanya komponen asam volatile seperti acetic dan formic acid [Sipila dkk., 1998, Fagernas, 1995, dalam Oasmaa dan Peacocke, 2001].

Perbandingan hasil karakterisasi fisika *bio-oil* dari cangkang sawit menggunakan kadar katalis 2% b/b akan dibandingkan dengan hasil *bio-oil* dari beberapa produsen *bio-oil* yang menggunakan bahan baku yang berbeda. Tabel perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Hasil Perbandingan Spesifikasi *Bio-oil* pada *Yield* Tertinggi dengan Berbagai Produsen *Bio-oil*

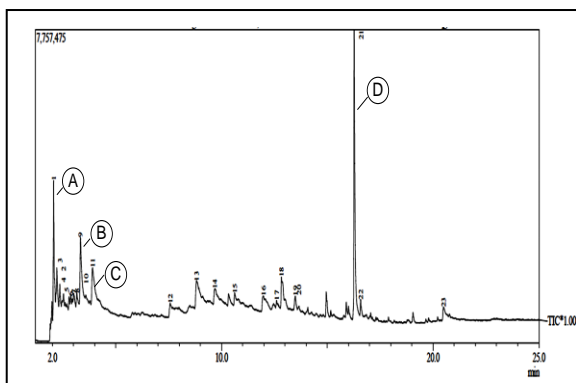
Sumber	Bahan baku	Aplikasi	Densitas	Viskositas	Titik Nyala
Manopo, 2013	Cangkang Sawit	-	0,981	98 cSt	53°C
Ensyn	Mixed hardwood	Fuel dan Chemicals	1,18	50 cSt (@50 °C)	55°C
BTG	Mixed hardwood	Fuel dan Chemicals	-	-	-
Dynamotive	Pinus	Fuel dan Chemicals	1,19	78 cSt (@20 °C)	-
VTT	Jerami	Fuel	1,19	55 cSt (@20 °C)	56°C

Sumber: [Oasmaa dan Peacocke, 2001]

Tabel 3.3 menampilkan hasil perbandingan sifat fisika *bio-oil* yang didapat dengan *bio-oil* hasil produksi beberapa produsen *bio-oil* di dunia. Dari Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa sifat fisika yang didapat pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan *bio-oil* yang sudah menjadi bahan baku untuk *bio-fuel*.

### 3.3 Analisa Kimia *Bio-oil*

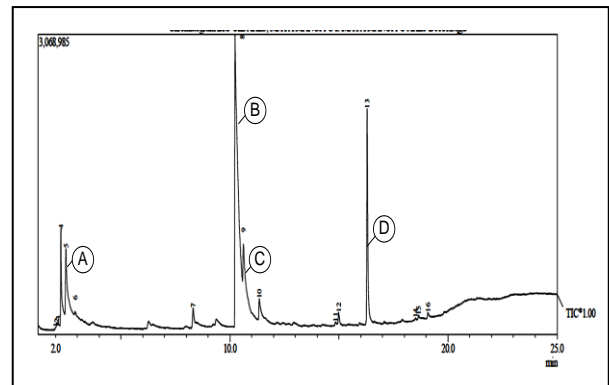
*Bio-oil* dengan penggunaan katalis 2% dan 5% lempung Cengar selanjutnya dilakukan analisa kimia berupa kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS). Analisa GC-MS menghasilkan kromatogram yang menyatakan jumlah persentasi komponen kimia yang terkandung di dalam *bio-oil*. Hasil kromatogram dari dua sampel *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3



**Gambar 3.2** Kromatogram *Bio-Oil* Cangkang Sawit dengan 2% berat Katalis Lempung Cengar

Dimana :

- A = 2,4,4-trimethyl-1-Pentene
- B = Cyclohexane
- C = 5,5-dimethyl-2-hexene
- D = Phenol



**Gambar 3.3** Kromatogram *Bio-Oil* Cangkang Sawit dengan 5% berat Katalis Lempung Cengar

Dimana :

- A = Methanol
- B = Acetic acid
- C = 2-Furancarboxaldehyde
- D = Phenol

Sebagian besar komponen kimia yang terkandung di dalam *bio-oil* ini merupakan hasil dekomposisi dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Hal ini dikarenakan cangkang sawit yang digunakan sebagai biomassa sebagian besar terdiri dari komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Dari hasil GC-MS dapat dilihat bahwa komponen utama yang terdapat dalam *bio-oil* adalah phenol dan acetic acid. Hal ini dikarenakan phenol merupakan hasil dari dekomposisi lignin sedangkan acetic acid merupakan hasil dari dekomposisi hemiselulosa. Pada penggunaan katalis 2% lempung, senyawa yang paling dominan adalah senyawa *phenol* yakni 15,30%, sedangkan pada katalis 5% lempung senyawa yang paling dominan adalah acetic acid, yakni 51,58%. Penggunaan lempung sebagai katalis membuktikan bahwa lempung mampu memfasilitasi dekomposisi rantai panjang selulosa, hemiselulosa, dan lignin kearah senyawa tertentu, sehingga komposisi kimia dalam *bio-oil* dapat diperkecil dari ratusan menjadi satu hingga tiga senyawa yang dominan.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

- 1) Cairan kondensat hasil pirolisis dari penelitian yang dilakukan dapat dikategorikan sebagai *bio-oil* karena karakteristik fisika nya sesuai dengan karakteristik standar *bio-oil*.

- 2) Penambahan lempung Cengar sebagai katalis pada pirolisis cangkang sawit terbukti mempengaruhi *yield bio-oil*. Penggunaan katalis menyebabkan bertambahnya *yield bio-oil* yang diperoleh. Adapun *yield* yang diperoleh untuk jumlah katalis lempung Cengar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% berturut-turut adalah 44,89%, 54,2%, 72,20%, 62,59%, 56,82%, dan 39,32%. Hasil *yield bio-oil* yang terbesar diperoleh pada pirolisis cangkang sawit menggunakan katalis lempung Cengar sebanyak 2% yakni 72,20%.
- 3) Sifat karakteristik fisika *bio-oil* dengan *yield* tertinggi 72,20% diperoleh densitas 0,981 gr/ml, viskositas 98 cSt, angka keasaman 51,55 gr NaOH/gr sampel, dan titik nyala 53°C.
- 4) Hasil analisa kimia *bio-oil* hasil pirolisis cangkang sawit dengan katalis 2% diperoleh kandungan utamanya yakni 2,4,4-trimethyl-1-Pentene sebanyak 10,38%, Cyclohexane 9,67%, 5,5-dimethyl-2-hexene 10,33%, dan phenol 15,30%.

#### 4.2 Saran

- 1) *Bio-oil* yang didapatkan masih jauh dari standar bahan bakar konvensional oleh karena itu perlu dilakukan *upgrading* seperti yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.
- 2) Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang *pyrolysis* untuk menghasilkan *bio-oil* dengan komposisi kimia yang lebih selektif pada *yield* yang maksimum.
- 3) *Bio-oil* yang didapat pada penelitian ini dapat diolah lebih lanjut untuk keperluan industri kimia dan resin.
- 4) Sebaiknya para peneliti selanjutnya memvariasikan katalis, waktu *pyrolysis*, ataupun kecepatan pengadukan untuk mendapatkan *bio-oil* dengan *yield* yang lebih besar serta karakteristik sifat fisika maupun kimia yang dapat memenuhi standar mutu *bio-oil*.
- 5) Perlu dilakukan penelitian lanjutan berkaitan tentang produk samping

berupa gas yang tidak berhasil terkondensasi dengan antisipasi menggunakan *cooler* ataupun *waterbath cooling water*.

#### 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

- Bahri, S. & Rivai, R.** (2010). Chemical modification on natural clay and its application on equilibrium study of the adsorption of  $Pb^{2+}$  in aqueous solution. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 9(2), 49-54.
- Freeh, L.**, 2011. Reductive amination of P2P through catalytic hydrogenation using adams catalyst. [Http://www.scribd.com/doc/67414001/Another-Reduction](http://www.scribd.com/doc/67414001/Another-Reduction), diakses pada 20 Maret 2013, Pkl 12.15 WIB.
- Jackson, D.**, 2010. Adding catalyst properly. [Http://www.finishingiq.com/Blogs/BlogEntryDetails/tabid/351/ArticleId/781/Adding-catalyst-properly.aspx](http://www.finishingiq.com/Blogs/BlogEntryDetails/tabid/351/ArticleId/781/Adding-catalyst-properly.aspx), diakses pada 20 Maret 2013, Pkl 12.13
- Maulidia, M.** 2010. Biomassa. [Http://iklimkarbon.com/2010/06/16/biomassa](http://iklimkarbon.com/2010/06/16/biomassa). Diakses pada 8 Maret 2012, Pkl 20.30 WIB.
- Nagrendappa, G.** (2002). Organic synthesis using clay catalysts. *Resonance*, 64-77.
- Oasmaa, A. & Peacocke, C.** (2001). A guide to physical property characterisation of biomass-derived fast pyrolysis liquids. *VTT Publication 450*, Technical Research Centre of Finland, Finland.
- Stöcker, M.** (2008). Biofuels and biomass-to-liquid fuels in the biorefinery: catalytic conversion of lignocellulosic biomass using porous materials. *Chemie Angew*, 47, 9200-9211.
- Triyono, B., Setiaji & Yahya, U.** (1990). Tanah lempung aktif sebagai katalis polimerisasi polipropilena. *BPPS-UGM*, 3(1B), 159-170
- Wijaya, K., Tahir, I. & Baikuni, A.** (2002). The synthesis of  $Cr_2O_3$ -pillared montmorillonite (CrPM) and its usage for host material of p-nitroaniline. *Indonesian Journal of Chemistry*, 2(1), 12-21.