

Hidrogenasi Pyrolysis Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil dengan Katalis ZSM-5

Wan Junaidi, Sunarno dan Syaiful Bahri

Laboratorium Teknik Reaksi Kimia Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau
Jl. HR Subrantas Km 12,5 Kampus Bina Widya Panam Pekanbaru 28293
Jhum_dy@yahoo.com

Abstract

Fuel crisis caused by rising consumption and declining oil production in Indonesia is a problem that is being faced today. To address the threat of an energy crisis and optimize the potential of energy resources in Indonesia, we need to hold the pace of development of alternative energy that can be renewed. One source of renewable energy that is bio-oil. Bio-oil can be produced through the process of biomass pyrolysis oil palm shell using ZSM-5 catalysts. In this study, pyrolysis process modified by the addition of hydrogen (hydrogenation of pyrolysis), to produce a bio-oil that have the higher heating value. This study aimed to determine the effect of the ratio of ZSM-5 catalysts for bio-oil yield in the hydrogenation of pyrolysis and and to determine the physical and chemical characterization of bio-oil produced. The process of pyrolysis hydrogenation using 50 gram of oil palm shell with sized -40 +60 mesh, 500 ml silinap and stirring speed of 300 rpm. Highest yield (70.21%) obtained by hydrogenation of pyrolysis temperature of 320 °C and ZSM-5 catalysts by about 2.5% by weight of oil palm shells. The results of the characterization of physical properties of the bio-oil obtained by heating value 44.00 MJ / kg, density of 0.972 g / ml, 1.021 cSt viscosity, flash point 49 °C, pH 3.8 and figure acidity 51.51 g NaOH / g bio-oil. GC-MS analysis showed the main content of bio-oil in the form of acetic acid 50.29%, phenol 30.39%, methyl ester 8.19% and ethanol 5.25%. Bio-oil is obtained can be further processed into alternative energy sources substitute of petroleum.

Keywords: Bio-oil, Pyrolysis, Hydrogenation, Oil palm shell, ZSM-5

1. Pendahuluan

Dari British Petroleum (BP) 2012, tercatat penurunan produksi bahan bakar minyak di Indonesia dari 1,67 juta barrel/hari menjadi 0.94 juta barrel/hari dari tahun 1991 hingga 2011. Hal ini berbanding terbalik dengan kebutuhan akan bahan olahan minyak bumi itu sendiri yang setiap tahunnya terus meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan penambahan jumlah penduduk. Sejak tahun 2004 produksi minyak bumi Indonesia sudah tidak mampu memenuhi konsumsinya. Sehingga menyebabkan Indonesia harus mengimpor minyak bumi dari luar negeri untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Untuk menyikapi ancaman krisis energi tersebut dan mengoptimalkan potensi sumber energi di Indonesia, maka perlu diadakan langkah pengembangan energi alternatif yang dapat diperbaharui. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan adalah *bio-oil*. *Bio-oil* dapat

diproduksi menggunakan biomassa melalui proses *pyrolysis*. Salah satu biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi *bio-oil* adalah cangkang sawit. Provinsi Riau mempunyai luas areal perkebunan sawit 1.911.113 hektar [BPS Riau, 2011] dan merupakan daerah yang mempunyai luas kebun sawit terbesar di Indonesia dengan produksi sawit tahun 2010 sebesar 6.064.391 ton [Departemen pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan, 2011]. Cangkang sawit dihasilkan sebanyak 6,5% per ton tandan buah segar [DITJEN PPHP, 2006]. Sehingga limbah cangkang sawit untuk daerah Riau diperkirakan 394,18 ribu ton pada tahun 2010. Menurut penelitian Febijanto [2011], bahwa penggunaan cangkang sawit sebagai bahan bakar boiler hanya mampu mengurangi 40% dari keseluruhan jumlah limbah cangkang sawit yang ada di pabrik sawit. Jadi, masih terdapat 236,51 ribu ton limbah cangkang sawit yang belum dimanfaatkan di Provinsi

Riau. Masalah yang terkait dalam penggunaan bio-oil sebagai bahan bakar adalah nilai kalor dari bio-oil masih rendah bila dibandingkan dengan nilai kalor bahan bakar fosil [Bulushev dan Ross, 2011]. Untuk mendekati nilai kalor BBM diperlukan modifikasi dari pyrolysis biasa yaitu dengan meningkatkan rasio H/C dari bio-oil. Penambahan H₂ dapat menyebabkan oxygen removal dengan internal dehydration dan decarboxylation selama awal proses pyrolysis. Oxygen removal meningkatkan nilai kalor. Hal ini dapat menghasilkan produk dengan rasio H/C yang lebih tinggi dan sejalan dengan meningkatnya LHV produk [Balat, 2008].

Dalam melakukan hidrogenasi pyrolysis ini diperlukan adanya katalis untuk mempercepat laju reaksi dan melangsungkan proses hidrogenasi. ZSM-5 dipilih sebagai katalis dalam penelitian ini karena cenderung menghasilkan hidrokarbon aromatik lebih besar dibanding dengan zeolit lain dalam pyrolysis biomassa [Carlson, 2008].

Konversi biomassa menjadi *bio-oil* menggunakan proses *pyrolysis* sebelumnya telah dilakukan Carlson dkk [2008] menggunakan beberapa jenis katalis untuk memperoleh bio-oil dengan temperatur yang digunakan 400-600 °C. Penggunaan katalis ZSM-5 memperlihatkan hasil yang lebih baik dibandingkan jenis katalis lainnya. Carlson menyimpulkan bahwa ZSM-5 menghasilkan hidrokarbon aromatik lebih besar dibanding dengan zeolit lain dalam pyrolysis biomassa. Namun, yield yang diperoleh pada penelitian ini masih rendah, yaitu 30%.

Anugra [2010] melakukan penelitian pembuatan bio-oil dari cangkang sawit dengan menggunakan katalis NZA. Anugra memperoleh yield sebesar 43,4% pada suhu 320 °C jumlah katalis 3% berat biomassa.

Sukiran [2008] Melakukan pyrolysis tandan kosong sawit pada suhu 500 °C, kecepatan pemanasan 100 °C/min, ukuran partikel 91-106 µm, diperoleh yield terbesar 42,28% dan nilai kalor : 19,92 MJ/kg.

Pada penelitian sebelumnya nilai kalor dan *yield* yang diperoleh masih kecil yaitu masing-masing < 20 MJ/kg dan < 50%. Pada penelitian akan dilakukan hidrogenasi *pyrolysis* cangkang sawit menjadi *bio-oil*

dengan katalis ZSM-5 dan *thermo-oil* sebagai media pemanas pada reaktor *Slurry*. Dengan hidrogenasi *pyrolysis* diharapkan memperoleh nilai kalor lebih besar dari 20 MJ/kg dan *yield bio-oil* lebih besar dari 50%, Karena hidrogen dapat mereduksi oksigen menyebabkan peningkatan nilai kalor dan menjadikan produk lebih mendekati *properties* hidrokarbon [Balat, 2008] dan penggunaan ZSM-5 menghasilkan hidrokarbon aromatik lebih besar dibandingkan katalis lain [Carlson, 2008].

2. Metode Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu abu sawit PTPN V Sei Galuh, larutan HCL 10 N, NaOH, Al(OH)₃, aquades, katalis ZSM-5, cangkang sawit, gas nitrogen, gas hidrogen, silinap 280M. Sedangkan Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpang porselin, pengayak 40 dan 60 *mesh*, labu leher tiga, buret, ketel 1 liter dan 2 liter, satu set motor pengaduk, *oven*, *thermocouple thermometer* (Barnant), teflon, reaktor *autoclave*, timbangan analitik, tabung dan regulator gas N₂ dan H₂, reaktor *pyrolysis*, kondenser, pignometer, viskometer Ostwald, gelas piala, pengaduk listrik (*Heidolph*) dan Bom kalorimeter. Tahapan penelitian terdiri dari pembuatan pembuatan ZSM-5 dan pembuatan *bio-oil* dari cangkang kelapa sawit melalui proses hidrogenasi *pyrolysis* dengan menggunakan katalis ZSM-5.

a) Pembuatan ZSM-5

Sintesis ZSM-5 mengacu pada prosedur yang telah dilakukan oleh Misdian [2009] dengan kondisi suhu 175 °C, Si/Al 30 selama 18 jam. Terlebih dahulu akan dilakukan pembuatan silika terpresipitasi dan natrium aluminat. Pembuatan silika terpresipitasi menggunakan bahan baku abu sawit. Abu sawit yang berasal dari pabrik pengolahan sawit dikonversi menjadi silika terpresipitasi dengan cara yang telah dilakukan oleh Firdaus [2009]. Abu sawit terlebih dahulu di furnace pada suhu 400 °C selama 4 jam sehingga diperoleh abu yang memiliki warna abu-abu. Furnace bertujuan untuk menghilangkan karbon yang terkandung di dalam abu. Kemudian abu diayak (-40+60 *mesh*) untuk

mendapatkan abu dengan diameter partikel yang lebih kecil.

Pencampuran padat cair dilakukan dengan perbandingan 1:6. Sebanyak 178,33 gram abu sawit yang dicampurkan dengan 1 liter larutan NaOH 2N. Campuran tersebut dimasak di dalam reaktor 2 liter yang dirangkai dengan pengaduk dan kondenser pada suhu 105°C serta kecepatan pengadukan 500 rpm selama 4 jam. Setelah dipanaskan, larutan dibiarkan dingin dan kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dan cake. Filtrat yang dihasilkan yaitu Natrium Silikat dan digunakan sebagai sampel untuk tahap presipitasi.

Larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) sebanyak 900 ml dimasukkan ke dalam gelas kimia 1000 ml, diaduk dan dipanaskan dalam Waterbath. Variabel tetapnya yaitu suhu yaitu 95 °C, Kecepatan pengadukan 100 rpm, dan dengan penambahan HCl 10 N hingga mencapai pH 8,5. Pada pH 8.5 larutan membentuk endapan. Endapan yang terbentuk tersebut dicuci dengan aquades, setelah itu dikeringkan di dalam oven pada suhu 200 °C.

Sumber Alumina berupa Natrium Aluminat merupakan campuran $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan NaOH. Natrium Aluminat dibuat dengan cara melarutkan 109,5 gr NaOH dalam 1000 ml akuades, ke dalam larutan tersebut dimasukkan sebanyak 76 gr $\text{Al}(\text{OH})_3$ sambil diaduk. Setelah semua $\text{Al}(\text{OH})_3$ larut kemudian didiamkan hingga terbentuk endapan. Endapan kemudian disaring dan dipanaskan dalam oven sampai kadar airnya konstan [Zahrina dkk, 2006].

Sintesis ZSM-5 akan dilakukan dengan cara melarutkan Natrium Aluminat dengan jumlah tertentu dicampur dengan aquades (suspensi 1). Abu sawit yang telah dikonversi menjadi silika terpresipitasi dengan jumlah tertentu (sesuai nisbah molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 30$) dicampur dengan aquades (suspensi 2). Suspensi 3 adalah campuran suspensi 1 dengan suspensi 2. Selanjutnya ke dalam suspensi 3 ditambahkan NaOH sebanyak 6,037 gram sehingga diperoleh nisbah $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 7,4$. Dilakukan pengadukan selama 30 menit. Setelah itu dimasukkan dalam autoclave pada suhu 175 °C dan waktu 18 jam. Padatan yang terbentuk dicuci dengan aquades, disaring, dan

dikeringkan dalam oven pada temperatur 110°C selama 6 jam.

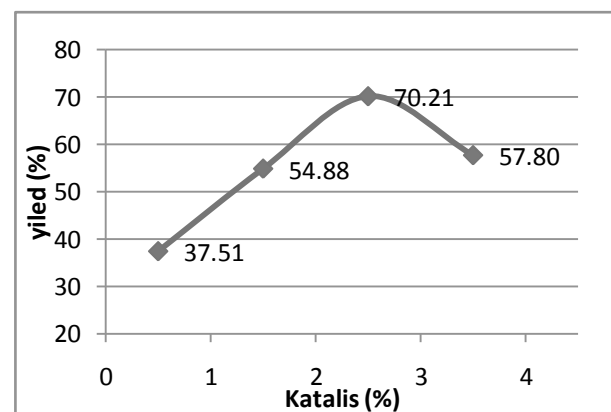
b) Hidrogenasi Pyrolysis Cangkang sawit dengan Katalis ZSM-5

Cangkang sawit yang telah dihaluskan dengan ukuran -40+60 mesh sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermo oil* (silinap) dan variasi katalis ZSM-5 (0,5; 1,5; 2,5; 3,5) % b/b dari biomassa dimasukkan ke dalam reaktor *pyrolysis* yang dilengkapi dengan pengaduk dan kondensor. *Pyrolysis* dilakukan pada suhu 320°C tanpa kehadiran oksigen. Pada awal proses gas Nitrogen dialirkan dengan laju alir sebesar 1,35 mL/detik, setelah suhu *pyrolysis* mencapai 200 °C aliran gas Nitrogen dihentikan dan diganti dengan mengalirkan gas Hidrogen dengan kecepatan 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 air di alirkan ke kondensor. *Bio-oil* yang dihasilkan ditampung dalam gelas piala untuk dilakukan analisa sifat fisika dan kimia.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Persentasi katalis ZSM-5 terhadap Yield Bio-oil yang Dihasilkan

Dalam menentukan pengaruh persentasi katalis ZSM-5 terhadap yield yang dihasilkan dalam proses hidrogenasi *pyrolysis* digunakan variable berubah berupa persentasi katalis ZSM-5 0,5%, 1,5%, 2,5% dan 3,5% dari biomassa. Perolehan *yield* setiap variasi katalis dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Grafik Hubungan Persentasi Katalis ZSM-5 terhadap Yield Bio-oil yang Dihasilkan pada Suhu 320 °C

Gambar 3.1 memperlihatkan bahwa pada range variasi katalis 0,5-2,5 % b/b dari biomassa, terjadi peningkatan yield bio-oil yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan dengan semakin besarnya persentasi katalis ZSM-5 yang digunakan, maka semakin besar pula kemungkinan untuk terjadinya reaksi dekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin pada rongga katalis yang menyebabkan yield bio-oil semakin besar.

Selain suhu, faktor penting yang dapat mempercepat laju reaksi adalah katalis. Katalis ZSM-5 memiliki stabilitas yang tinggi terhadap asam dan tahan terhadap suhu tinggi. Dengan penggunaan katalis ZSM-5 dapat menurunkan energi aktivasi pada proses hidrogenasi pyrolysis, sehingga dengan energi aktivasi yang semakin rendah akan 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 akan menyebabkan pembentukan produk yang semakin besar pula. Sehingga pada suhu yang sama dan dengan peningkatan jumlah katalis ZSM-5 yang digunakan, yaitu 0,5-2,5 % akan menyebabkan yield bio-oil yang dihasilkan semakin besar.

Pada penggunaan katalis ZSM-5 3,5 % b/b dari biomassa, terjadi penurunan yield bio-oil yang dihasilkan dibandingkan pada katalis 2,5 % b/b dari biomassa. Hal ini diperkirakan karena banyak terbentuk fraksi-fraksi hidrokarbon rantai pendek yang terbentuk dan tidak dapat dikondensasikan oleh air pada suhu kamar, sehingga yield bio-oil yang dihasilkan menjadi lebih kecil dan yield gas yang dihasilkan semakin besar. Namun, secara keseluruhan diperkirakan bahwa semakin besar penggunaan katalis akan mempercepat reaksi dan yield produk yang dihasilkan semakin besar, hanya saja dengan penggunaan katalis ZSM-5 3,5 % b/b dari biomassa, menyebabkan yield produk bio-oil yang dihasilkan lebih sedikit dari pada yield produk gas. Sehingga katalis pada range 2,5 % b/b dari biomassa dan suhu 320 oC merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan yield bio-oil terbesar pada penelitian ini.

Perbandingan data hasil perolehan yield bio-oil pada penelitian terdahulu dengan penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perbandingan hasil perolehan *yield bio-oil* pada penelitian terdahulu dengan penelitian ini.

No	Penelitian <i>bio-oil</i>	Metodologi penelitian	Yield <i>bio-oil</i>
1.	Carlson,dkk (2008)	Menggunakan Serbuk kayu, dengan reaktor <i>pyrolysis fluidized bed</i> , katalis ZSM-5, T=600°C	30%
2.	Sukiran [2008]	Melakukan <i>pyrolysis</i> tandan kosong sawit pada suhu 500 °C, kecepatan pemanasan 100 °C/min, ukuran partikel 91-106 µm	42,28%
3.	Anugra (2010)	Melakukan <i>pyrolysis</i> cangkang sawit menjadi <i>bio-oil</i> dengan katalis NZA, T = 320 °C	43,4%
4	Widianto (2011)	Melakukan <i>pyrolysis</i> cangkang sawit menjadi <i>bio-oil</i> dengan katalis Ni/ZSM-5, T = 310 °C	58,7%
4.	Junaidi (2012)	Melakukan hidrogenasi <i>pyrolysis</i> cangkang sawit, menggunakan rasio katalis ZSM-5 2,5% b/b dari biomassa, T=320°C	70,21%

Dari tabel 3.1 dapat dilihat hasil perolehan *yield bio-oil* pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Carlson, dkk (2008), Sukiran (2008), Anugra (2010) dan Widianto (2011).

3.2 Karakteristik Sifat Fisika dan Kimia *Bio-oil*

Bio-oil yang diperoleh pada suhu 320 °C katalis 2,5 % b/b dari biomassa dikarakterisasi sifat fisis dan kimianya. Karakterisasi sifat fisika yang dilakukan meliputi penentuan nilai kalor, massa jenis, viskositas, pH, angka keasaman dan titik nyala. Data Hasil perbandingan karakterisasi sifat fisika *bio-oil* pada penelitian ini dan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 3.2. Dari Table 3.2 menunjukkan bahwa nilai kalor pada penelitian ini jauh lebih tinggi bila dibandingkan pada penelitian-penelitian sebelumnya yaitu 44,00 MJ/Kg dan hampir mendekati nilai kalor solar yaitu sebesar 44,8 MJ/Kg. Viskositas *bio-oil* pada yang

dihasilkan 1,021 cSt sesuai pada batasan Dynamotive 4-78 cSt dan jauh lebih rendah daripada penelitian Anugra yaitu 25,85 cSt, dengan viskositas yang lebih rendah akan lebih memudahkan proses pemindahan Bio-oil dari suatu tempat ke tempat yang lain.

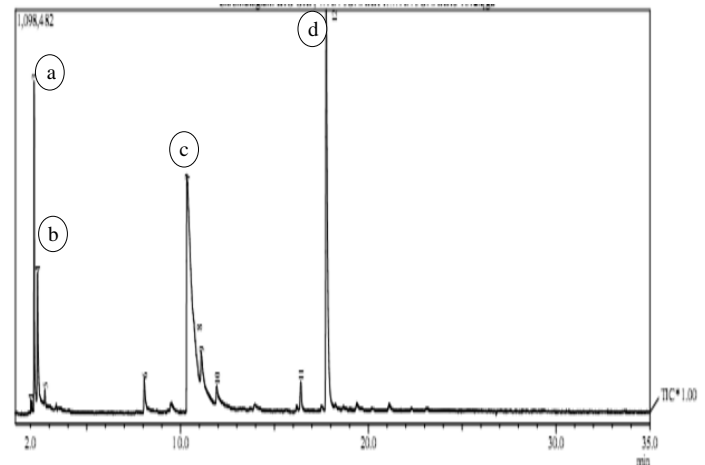
Tabel 3.2 Hasil Perbandingan Karakterisasi Sifat *Bio oil* dengan Literatur

Parameter	Bio-oil			
	Dynamotive	Sukiran (2008)	Anugra (2010)	Penelitian Ini
Nilai Kalor (MJ/kg)	16-19	19,92	-	44,00
Densitas (g/ml)	0,94-1,2	0,88-1	10,323	0,972
Viskositas (cSt)	4-7	-	25,85	1,021
pH	2-3	3,1	-	3,8
Angka Keasaman	-	68,63 (KOH/gr)	-	51,51 (KOH/gr)
Titik nyala	48-67	-	50	49

Penggunaan hidrogen mengakibatkan peningkatan yang sangat signifikan dari nilai kalor bio-oil yang dihasilkan dan menurunkan viskositas dari bio-oil yang dihasilkan [Ahmad, 2010]. Nilai densitas bio-oil yang sedikit lebih rendah dari nilai densitas air. Dengan densitas yang kecil, penggunaan bio-oil sebagai bahan bakar akan menguntungkan karena lebih ringan. Titik nyala bio-oil pada penelitian ini yaitu 49 °C, nilai titik nyala ini masuk dalam batas Dynamotive yaitu 48-64 °C. Dengan titik nyala yang terlalu rendah dikhawatirkan dapat menyebabkan bio-oil mudah terbakar pada suhu lingkungan.

Bio-oil tersusun dari banyak senyawa asam, hal ini tentu saja akan mempengaruhi terhadap angka keasaman dan pH dari bio-oil tersebut. Angka keasaman bio-oil pada yang dihasilkan 51,51 gr NaOH/gr sampel dan pH bio-oil yang dihasilkan 3,8. Dengan sifat yang terlalu asam dapat berdampak terhadap sifat korosif bagi tempat penyimpanan dan alat-alat yang terbuat dari logam. Untuk pengaplikasian bio-oil sebagai pengganti atau aditif dalam bahan bakar, diperlukan pemurnian atau penyingkiran komponen asam yang berlebihan dalam bio-oil. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bio-oil yang dihasilkan dari proses hidrogenasi pyrolysis cangkang sawit menggunakan katalis ZSM-5 perlu penanganan lebih lanjut sebelum di aplikasikan sebagai bahan bakar.

Bio-oil dengan *yield* optimum, yaitu *bio-oil* dengan penggunaan katalis ZSM-5 2,5 % b/b dari biomassa 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*.



Gambar 3.2 Hasil Kromatogram GC Bio-oil Cangkang Sawit dengan 2,5 % katalis ZSM-5 dari biomassa.

Dimana dari hasil kromatogram MS :

- a = Methyl ester
- b = Methanol
- c = Acetic Acid
- d = Phenol

Pada Gambar 3.2 memperlihatkan komponen-komponen yang terdapat dalam bio-oil yang diperoleh. Berdasarkan hasil analisis GC-MS terlihat terdapat 4 komponen yang dominan dengan puncak-puncak tertinggi. Fenol menjadi komponen dengan puncak tertinggi dengan luas area 30,39 %. Komponen lain yang dominan adalah Asam Asetat (c) dan merupakan satu-satunya komponen yang dominan dengan luas area 50,29%, namun tidak mendukung bio-oil menjadi bahan bakar alternatif, komponen lain yang dominan adalah Metil ester 8,19% dan Metanol 5,25%.

Komponen yang terkandung dalam bio-oil dapat digunakan sebagai pembanding penggunaan Hidrogenasi dengan tanpa hidrogenasi. Penggunaan Hidrogenasi dalam proses pyrolysis menunjukkan komponen yang lebih spesifik (12 komponen), dibandingkan hasil analisis GC-MS bio-oil yang diperoleh oleh Sukiran yang menunjukkan

terdapat 35 komponen dan widianto 15 Komponen didalam bio-oil. Berdasarkan hasil analisis GC-MS diketahui beberapa senyawa yang terkandung di dalam bio-oil yang memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Yield bio-oil tertinggi 70,21% diperoleh melalui proses pyrolysis pada suhu 320⁰C dan katalis ZSM-5 sebanyak 2,5 % berat biomassa cangkang sawit. Hasil karakterisasi sifat fisika *Bio oil* berupa nilai kalor = 44,00 Mj/kg densitas = 0,972 gr/ml; viskositas = 1,021 cSt; titik nyala = 59 °C; pH = 3,8 dan angka keasaman = 51,51 mg KOH/gr sampel. 3. Hasil analisa GC-MS menunjukkan komponen dalam bio-oil antara lain asam asetat (50,22%), fenol (30,39 %), methyl ester (8,19%); methanol (5,25%).

4.2 Saran

Penggunaan kondensor pada penelitian selanjutnya sebaiknya dengan kondensor yang lebih besar luas area perpindahan panas sehingga proses pengkondensasian lebih baik di bandingkan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anugra, R. D., 2011, Efek Kandungan Logam Ni/Nza pada Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi Bio-Oil. *Skripsi*, Univesitas Riau, Pekanbaru

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 2012.

Balat, M., 2008, Mechanism of Thermochemical Biomass Conversion Process. Part 3: Reaction of Liquifaction, Energy Source, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effect, 30, 654.

British Petroleum, 2011, BP Statistical Review of World Energy June 2011, <http://www.bp.com/statisticalreview>, 15 Mei 2012.

Bulushev, D.A dan Ross, J.R.H, 2011, Catalysis For Conversion Of Biomass To Fuels Via Pyrolysis And Gasification, *Cataliys Today*, 171, 1-13

Carlson, T. R., Vispute T. P., dan Huber G. W, 2008, Green Gasoline by Catalytic Fast Pyrolysis of Solid Biomass Derived Compounds, *ChemSusChem*, Hal 397-400, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Departemen Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan, 2011, Stastistik Perkebunan Indonesia 2009-2011, <http://regionalinvestment.com>, 3 Mei 2011.

Dynamotive, 2006, Product Information Booklet, Dynamotive Bio oil Information Booklet, Canada.

Engineering ToolBox, 2012, Fuels - Higher Calorific Values, <http://www.engineeringtoolbox.com>, 21 Mei 2012.

Febijanto, I., 2011, Kajian Teknis dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi, Jakarta

Misdian, D., 2009, Pembuatan CoMo/ZSM-5 dari Abu Sawit Sebagai Katalis pada Pengolahan Biomassa Menjadi Bahan Bakar Cair, *Skripsi*, Universitas Riau.

Pertamina, 2007, Material Safety Data Sheet Produk Pertamina, PT. PERTAMINA, Indonesia

Sukiran, MAB, 2008, Pyrolysis Of Empty Oil Palm Fruit Bunches Using them Quartz Fluidised- Fixed Bed Reactor, Dissertation, University Of Malaya, Kuala Lumpur.

Widianto, R., 2012, Pirolysis Cangkang Sawit Bio-oil dengan Katalis Ni/ZSM-5, *Skripsi*, Univesitas Riau, Pekanbaru.

Zahrina, I., Saputra, E., Evelyn, Santoso, I. A., Ramelo, R., 2006, Sintesis ZSM-5 Tanpa Templat Menggunakan Silika Terpresipitasi Asal Abu Sawit Sebagai Sumber Silika, *Jurnal Natur Indonesia*, Volum 9, No. 2, Lembaga Penelitian Universitas Riau, Pekanbaru.