

Konversi Kayu Ketapang (*Terminalia Catappa. L*) Menjadi Bio-Oil Menggunakan Metode Pirolisis Dengan Katalis Co-Mo/NZA

Muhammad Rizky*, Syaiful Bahri**, Yusnimar**

*Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau

**Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Muhammad121191@yahoo.co.id

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 Ketapang rod is converted into bio-oil by pyrolysis method using catalysts natural zeolite. 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 method. Pyrolysis of Ketapang rod catalyst from natural zeolite in the reactor slurry do by feeding 50 grams with the size -100 +200 mesh, silinap 500 ml, 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 2.5% catalyst, amounting to 77%. The test results obtained by the physical properties of density 0.875 g/ml, 9.56 cSt viscosity, acid number of 49,89 gr NaOH/gr sample.

Keywords: Bio-oil, pyrolysis, Ketapang rod, natural zeolite, alternative fuels

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi dunia semakin meningkat dari tahun ke tahun, begitu juga dengan kebutuhan bahan bakar minyak sebagai sumber energi yang tidak dapat diperbarui akan semakin meningkat. Kebutuhan bahan bakar minyak Indonesia diprediksi akan mengalami peningkatan hingga tahun 2025 yaitu mencapai 830 juta barrel, sementara produksi minyak bumi yang diperkirakan hanya 130 juta barrel pada tahun 2025 (Anonim, 2011). Hal ini sangat berpotensi menimbulkan krisis energi

besar-besaran di seluruh pelosok dunia di masa yang akan datang. Oleh karena itu, pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber – sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Energi alternatif telah banyak dikembangkan melalui pengolahan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Salah satu penelitian yang dilakukan untuk memperoleh bahan bakar alternatif adalah

dengan memproduksi *bio-oil* dari biomassa melalui proses teknologi pirolisis.

Biomassa adalah material biologis yang berasal dari suatu kehidupan yang berstruktur karbon dan campuran kimiawi bahan-bahan organik yang mengandung hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sejumlah kecil atom-atom dan elemen-elemen lainnya (*Contained Energy Indonesia*, 2011). Kayu, kulit kayu, kertas dan lainnya merupakan biomassa yang dapat diolah menjadi energi alternatif (Hambali 2007). Salah satu kayu berpotensi dijadikan biomassa adalah Ketapang.

Tabel 1. Komponen-komponen utama penyusun batang Ketapang

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa
1.	Kadar selulosa	%	41,80
2.	Kadar hemiselulosa	%	15,33
3.	Kadar lignin	%	31,44
4.	Kadar abu	%	2,41
5.	Kadar komponen ekstraktif	%	9,02

Dari Tabel 1. terlihat bahwa kandungan selulosa batang Ketapang cukup tinggi, yakni 41,80%, dimana menurut Mohat *et al* (2006) semakin tinggi kandungan selulosa maka akan semakin banyak *bio-oil* yang dihasilkan.

Pyrolysis juga merupakan proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. *Pyrolysis* menguraikan bahan organik secara kimia melalui pemanasan dengan mengalirkan nitrogen sebagai gas inert. Proses ini menghasilkan uap organik, gas *pyrolysis* dan arang. Uap organik yang dihasilkan mengandung karbon monoksida, metana, karbon dioksida, tar yang mudah menguap dan air. Uap organik kemudian dikondensasikan menjadi

cairan. Cairan hasil *pyrolysis* dikenal sebagai *bio-oil* (Yenti, 2011).

Tabel 2. Perbandingan Produk dari Konversi Biomassa secara Termokimia

Proses	Liquid	Arang	Gas
<i>Pyrolysis</i>	75%	12%	13%
Pembakaran Langsung	30%	35%	35%
<i>Gasifikasi</i>	5%	10%	85%

Sumber: (Innovative Natural Resource Solutions LLC, 2004).

Katalis dengan sistem logam pengemban merupakan katalis yang baik, karena logam dapat terdispersi merata pada permukaan pengemban (Nugrahaningtyas, 2008). Dengan cadangan zeolit alam hingga 207 juta ton yang tersebar di pulau Sumatera, Jawa, dan Sulawesi (Bahri, 2010), maka sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai pengemban. Untuk meningkatkan kinerja dari zeolit alam tersebut sebagai katalis, maka dapat dilakukan proses pengimpregnasian logam-logam transisi. Diantara logam-logam transisi yang biasanya digunakan sebagai promotor dan fasa aktif katalis ialah Mo dan Co. Li *et al* (2000) menyebutkan bahwa penggabungan kedua logam Co dan Mo pada katalis CoMo/zeolit memberikan efek sinergis dan mempunyai aktivitas yang tinggi.

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang diperlukan adalah: batang Ketapang, zeolit alam Yogyakarta, HCl 6 N, NH₄Cl 1 N, AgNO₃, aquades, (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O (ammonium hepta molibdat), Co(NO₃)₂.6H₂O (Cobalt nitrat), gas N₂, O₂, dan H₂, NaOH 0,1 N, asam oksalat 0,2 N, indikator PP dan *thermo-oil* berupa silinap 280 M.

Alat yang dipakai

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpang porselein,

blender, pengayak 100 dan 200 mesh, reaktor alas datar ukuran 1 liter, satu set motor pengaduk, *oven*, *heating mantel*, timbangan analitik, kertas saring, tabung dan regulator gas N_2 , reaktor pirolisis, kontrol temperatur, pengaduk listrik, kondensor, *thermocouple thermometer* (Barnant), piknometer, viskometer Ostwald, gelas piala, buret, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur 500 ml, *Cleveland flash point tester*, dan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*).

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap yang dilakukan ialah: massa biomassa batang Ketapang 50 gr, ukuran partikel biomassa dan zeolit alam -100+200 mesh, persentase pengembanan logam Co dan Mo sebanyak 0,5% dari zeolit alam, temperatur pirolisis $320^{\circ}C$, waktu pirolisis 2 jam, dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Sedangkan Variabel berubahnya ialah: Persentase berat katalis Zeolit Alam tanpa aktivasi terhadap biomassa, persentase berat katalis NZA tanpa impregnasi terhadap biomassa dan persentase katalis CoMo/NZA (1.5%; 2%; dan 2.5%)

Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

1. Pembuatan katalis CoMo/NZA

Tahap pertama zeolit alam digerus dalam lumpang porselein untuk memperkecil ukuran partikel, kemudian diayak dengan ukuran -100+200 mesh dengan ketentuan ukuran partikel yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 mesh dan tertahan pada pengayak 200 mesh.

Selanjutnya dilakukan proses dealuminasi zeolit alam dengan perlakuan

HCl 6 N dan NH_4Cl 1 N. Setyawan dan Handoko (2002) dalam Bahri *et al* (2010) menyebutkan bahwa proses dealuminasi optimal terjadi pada konsentrasi HCl 6 N. Perlakuan asam (dealuminasi) dan pengembanan logam terhadap zeolit alam dapat meningkatkan keasaman katalis yang berpengaruh langsung terhadap aktivitas dan selektivitas katalis (Bahri, *et al.*, 2010). Zeolit alam sebanyak 100 gram direfluks dalam larutan HCl 6 N sebanyak 500 ml selama 30 menit pada suhu $50^{\circ}C$ sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar bervolume 1 liter, kemudian disaring dan dicuci berulang kali sampai tidak ada ion Cl^- yang terdeteksi oleh larutan $AgNO_3$, *cake* dikeringkan pada suhu $130^{\circ}C$ selama 3 jam dalam oven. Sampel tersebut kemudian direndam kembali dalam 500 ml larutan NH_4Cl 1 N pada temperatur $90^{\circ}C$ sambil diaduk pada reaktor alas datar selama 3 jam sehari yang dilakukan sampai satu minggu. Sampel tersebut kemudian disaring dan dicuci setelah itu dikeringkan dalam oven selama 24 jam. Pada tahap ini didapat sampel yang dinamai dengan sampel NZA.

Tahap berikutnya dilakukan pengembanan (impregnasi) logam Co dan Mo sebesar 0,5% dari berat NZA. Proses dimulai dengan melarutkan sampel NZA ke dalam 500 ml $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ dan direfluks pada suhu $60^{\circ}C$ selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 L, kemudian disaring dan dicuci. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $120^{\circ}C$ selama 3 jam (diperoleh sampel Mo/NZA). Sampel tersebut kemudian direfluks kembali dengan larutan $Co(NO_3)_2.6H_2O$ pada suhu $90^{\circ}C$ dengan waktu 6 jam juga sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 L, kemudian disaring dan dicuci kembali. Sampel ini selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu $120^{\circ}C$ selama 3 jam.

Selanjutnya, katalis CoMo/NZA diaktivasi dengan melakukan proses-proses

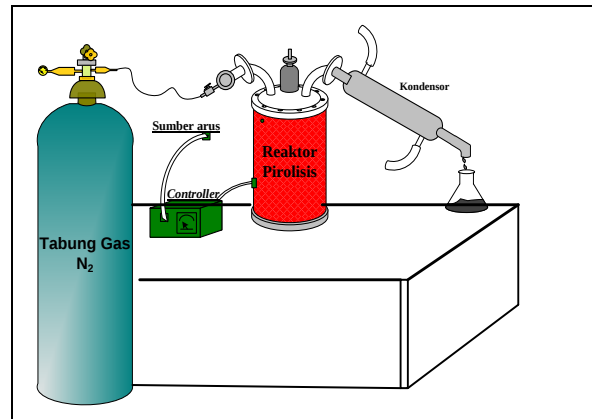
kalsinasi, oksidasi, dan reduksi. Proses ini diawali dengan memasukkan sampel katalis ke dalam *tube* yang sebelumnya telah diisi dengan *porcelain bed* sebagai *heat carrier* dan penyeimbang unggun katalis, diantara *porcelain bed* dengan unggun katalis diselipkan *glass woll*. *Tube* ditempatkan dalam *tube furnace* secara vertikal, dikalsinasi pada suhu 500°C dengan selama 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar ± 400 ml/menit, hal ini didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Bahri *et al* (2010), bahwa kristalinitas dan pembentukan fasa aktif tertinggi pada katalis CoMo/NZA didapatkan pada waktu kalsinasi 6 jam. Selanjutnya, katalis dioksidasi pada suhu 400°C menggunakan gas oksigen sebesar ± 400 ml/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu 400°C menggunakan gas hidrogen sebesar ± 400 ml/menit selama 2 jam.

2. Sintesa *bio-oil*

Pertama-tama biomassa berupa kayu Ketapang dipotong kecil-kecil lalu dijemur sampai kering di bawah terik matahari, kemudian dihaluskan menggunakan *blender* untuk selanjutnya dikeringkan di dalam oven hingga beratnya konstan. Biomassa tersebut kemudian diayak untuk memperoleh ukuran partikel-100+200 mesh.

Selanjutnya, biomassa berupa kayu Ketapang yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermo-oil* (silinap) dan katalis CoMo/NZA 0,5% dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Perbandingan berat katalis dengan biomassa dilakukan dengan variasi 1,5%, 2% dan 2,5% dari berat biomassa serta perlakuan dengan NZA tanpa impregnasi dan ZA tanpa aktivasi. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 320°C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen dengan laju alir 80 ml/menit dari dalam tabung dengan tekanan yang rendah. Diaduk dengan pengaduk listrik (*Heidolph*) pada kecepatan

pengadukan 300 rpm selama 2 jam. Kemudian terbentuk gas, gas yang terbentuk ini akan di kondensasi menggunakan kondensor sehingga dihasilkan *bio-oil*, selanjutnya produk *bio-oil* tersebut ditampung dalam *beaker glass*. Rangkaian alat proses pirolisis kayu Ketapang dengan katalis CoMo/NZA menjadi *bio-oil* ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Rangkaian alat proses pirolisis (Narasta, 2012)

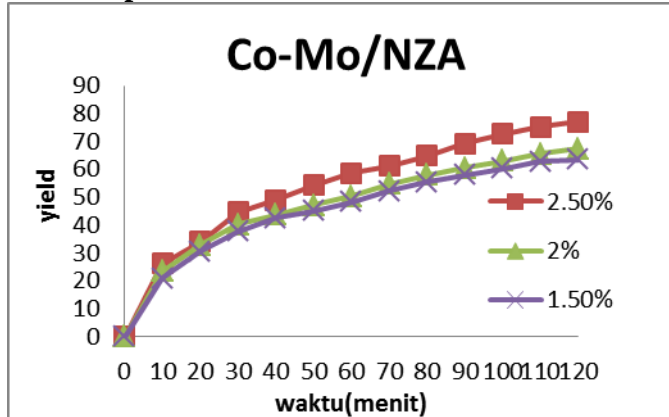
3. Karakterisasi *bio-oil*

Produk berupa *bio-oil* selanjutnya dikarakterisasi dengan melakukan analisa fisika dan kimia. Analisa fisika yang dilakukan terdiri dari: penentuan densitas, viskositas, angka keasaman, titik nyala, dan nilai kalor dari *bio-oil* yang dihasilkan. Sedangkan analisa kimia dilakukan dengan GC-MS.

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk mengetahui pengaruh dari persentase berat katalis CoMo/NZA terhadap biomassa pada *yield bio-oil*, telah dilakukan proses pirolisis dengan variasi berat katalis sebesar 1,5%, 2%, 2,5%b/b. Selain itu, juga dilakukan proses pirolisis dengan menggunakan katalis NZA tanpa impregnasi dan ZA tanpa aktivasi.

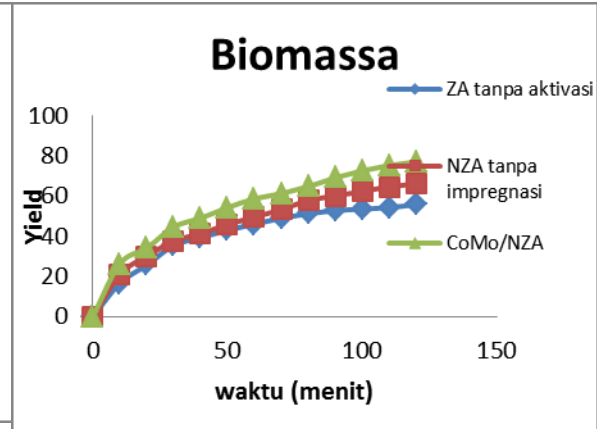
Pengaruh Berat Katalis CoMo/NZA Terhadap Yield Bio-Oil



Gambar 1. Pengaruh berat katalis CoMo/NZA terhadap biomassa pada *yield bio-oil* batang ketapang

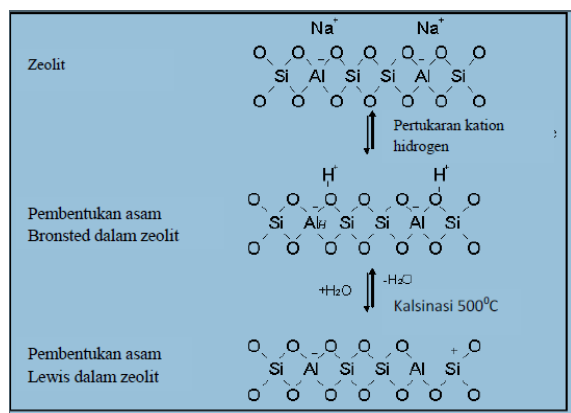
Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa perolehan *yield bio-oil* yang paling maksimal dengan penambahan katalis 3% CoMo/NZA (80.2%) lebih tinggi dibandingkan hanya menggunakan katalis 2.5% CoMo/NZA (77%), 2% CoMo/NZA (67.3), dan 1.5% CoMo/NZA (63.5%). Hal ini sesuai dengan pernyataan Dyer (1988), bahwa semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka semakin besar luas permukaannya. Sehingga kontak katalis dengan biomassa semakin besar pula. Keadaan ini dapat dijelaskan bahwa luas permukaan total CoMo/NZA adalah akumulasi dari luas permukaan (dinding) dan kanal-kanal penyusun zeolit yang berbentuk silinder ataupun kristal. dengan biomassa semakin besar pula. Keadaan ini dapat dijelaskan bahwa luas permukaan total CoMo/NZA adalah akumulasi dari luas permukaan (dinding) pori dan kanal-kanal penyusun zeolit yang berbentuk silinder ataupun kristal.

Pengaruh Perlakuan Katalis pada Yield Bio-Oil



Gambar 2. Perbandingan zeolit tanpa aktivasi, tanpa impregnasi dan CoMo/NZA

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa proses pirolisis menggunakan katalis CoMo/NZA dibandingkan pada proses pirolisis menggunakan katalis zeolit tanpa aktivasi (ZA) dan zeolit tanpa impregnasi (NZA) mempunyai *yield bio-oil* paling tinggi. *Yield bio-oil* dengan menggunakan CoMo-NZA diperoleh sebesar 77%, *yield bio-oil* NZA hanya 66.6%, dan ZA hanya sekitar 55%. Dalam hal ini pengaruh zeolit alam dengan katalis CoMo/NZA paling tinggi. Menurut Setiadi dan Pertiwi (2007), proses aktivasi merupakan cara untuk meningkatkan kualitas dari zeolit dengan cara perlakuan asam dan substitusi yang mampu memperbaiki karakter zeolit antara lain dalam kristalinitas, luas permukaan spesifik dan meningkatkan keasaman pada inti aktif zeolit. Aktivasi pada zeolit dapat dilakukan dengan cara pertukaran kation H^+ yang berasal dari NH_4Cl akan menggantikan kation bebas dalam zeolit, sedangkan NH_3 akan menguap setelah proses kalsinasi pada suhu $500^\circ C$. Keberadaan H^+ akan meningkatkan sifat asam brosted zeolit



Gambar 3 Pembentukan asam Lewis dan asam Bronsted (Wang Baodong, 2007)

Dengan keberadaan logam-logam transisi seperti cobalt (Co) dan molibdenium (Mo) yang terdistribusi pada zeolit akan semakin meningkatkan daya katalitiknya. Hal ini menunjukkan bahwa pengembanan logam Co dan Mo ke dalam zeolit alam dengan kadar tertentu sangat berguna dalam meningkatkan *yield bio-oil*. Karena, situs-situs aktif pada katalis tersebut berperan sebagai fasilitator di dalam reaksi pirolisis. Sehingga, semakin banyak situs aktif yang dimiliki oleh suatu katalis, maka *yield bio-oil* yang dihasilkan juga akan semakin besar (Lestari, 2010). Sehingga, *yield bio-oil* 2.5% CoMo/NZA lebih besar dari pada NZA tanpa impregnasi dan ZA tanpa aktivasi.

Analisis Fisika *Bio-Oil*

Sifat-sifat fisis *bio-oil* yang diuji meliputi massa jenis, viskositas, titik nyala dan angka keasaman.

Table 3 Standar Karakteristik Sifat *Bio-Oil* Batang Ketapang

Parameter	Pelepah Nipah *	Ampas Tapioka **	Standar <i>Bio-oil</i> ***	<i>Diesel</i> ****
Densitas (gr/ml)	1.078	0.951	1.1 – 1.4	0.81-0.89
Viskositas (cSt)	10.04	8.21	Mak 50	1.3-24
Angka Keasaman (gr NaOH/gr sampel)	85.59	85,12	-	-
Titik Nyala (0 C)	49	51	66	38-55

Keterangan
 * : Negri (2012)
 ** : Primaningtiyas (2012)
 *** : Yu *et al* [2007]
 **** : IARC monographs volume 45 (1989)
 ***** : Boundy *et al* (2011)

Densitas dan keseluruhan hasil *bio-oil* yang didapat dari biomassa batang ketapang dengan variasi berat katalis 1,5%, 2%, dan 2,5%b/b, masih berada pada rentang standar *Diesel*.

Tabel 4 Hasil Analisis Fisika *Bio-Oil* Dari Pirolisis Batang Ketapang (*Terminalia Catappa L.*)

Katalis CoMo/NZA	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Angka Asam (gr NaOH/gr sampel)	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)
1.5%	0.804	9.93	53.1	56
2%	0.841	9.4	50.8	52
2.5%	0.875	9.56	49.8	52

Dari Tabel 4 terlihat bahwa nilai densitas *bio-oil* mengalami peningkatan dari 1,5% CoMo/NZA hingga 2.5% CoMo/NZA. Tetapi pada NZA tanpa impregnasi dan tanpa aktivasi densitas *bio-oil* yang dihasilkan mengalami penurunan kembali menjadi 0,751 gr/ml.

Nilai densitas dipengaruhi oleh kadar air yang terdapat didalam *bio-oil*. Dari tabel diatas terlihat bahwa nilai densitas terendah terletak pada penggunaan katalis 1.5% yaitu sebesar 0.804 gr/ml. Nilai densitas yang lebih kecil akan menguntungkan terhadap penggunaan *bio-oil* sebagai bahan bakar karena lebih ringan.

Pada table 3 dan 4 diatas dapat dibandingkan bahwa densitas *bio-oil* semakin meningkat dengan penambahan

logam katalis. Hal ini sesuai dengan pernyataan Williams *et al.*, (1994) dan Mohan *et al.*, (2006) bahwa penggunaan logam katalis dapat meningkatkan kualitas fisis *bio-oil*.

Pada Tabel 3 viskositas tertinggi terletak pada pelepah nipah yaitu sebesar 10.04 cSt. Sedangkan pada Tabel 4 nilai viskositas tertinggi terletak pada 2.5% katalis CoMo/NZA yaitu 9.56 cSt, viskositas merupakan tahanan yang dimiliki oleh fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, jika viskositas semakin tinggi maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Hal ini berarti nilai viskositas yang lebih rendah akan lebih bagus untuk digunakan sebagai bahan bakar.

Angka asam yang tinggi dari bahan bakar cair dapat menyebabkan korosi pada bahan-bahan yang biasanya dipakai sebagai tempat penyimpanannya, yakni yang terbuat dari *carbon steel* ataupun *stainless steel*. Oleh karena itu, semakin rendah angka asam berarti semakin baik kualitas *bio-oil*-nya.

Titik nyala diukur untuk mengetahui suhu maksimum suatu senyawa disimpan tanpa menimbulkan kebakaran serius. Titik nyala terendah pada Tabel 3 terletak pada biomasa pelepah nipah yaitu 49 $^{\circ}\text{C}$. Titik nyala yang rendah dapat menyebabkan suatu

senyawa mudah terbakar, semakin rendah titik nyala suatu bahan bakar maka semakin sulit dalam penyimpanan karena dapat menimbulkan api dan terbakar (Yi,2008).

4. Kesimpulan

1. Semakin tinggi persentase berat katalis CoMo/NZA terhadap biomassa, maka semakin besar *yield bio-oil* yang dihasilkan.
2. Pengembanan logam Co dan Mo ke dalam zeolit alam sangat berguna dalam meningkatkan *yield bio-oil* karena dapat meningkatkan aktifitas katalitiknya
3. *Yield bio-oil* dengan menggunakan katalis CoMo/NZA 2.5% (77%) berat dari biomassa lebih tinggi dibandingkan dengan NZA tanpa impregnasi (66.6%) dan ZA tanpa aktivasi (55%)
4. *Yields* terbaik terdapat pada *pyrolysis* batang ketapang menggunakan katalis 3 % CoMo/NZA dengan densitas 0.875 gr/ml, viskositas 9.56 cSt, angka keasaman 49.89 gr NaOH/gr sampel dan dengan titik nyala 52 °C.
5. *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.

Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut pada *pyrolysis* batang ketapang dengan menggunakan *range* pengemban yang berbeda (1%, 2% dan 3%) dan variasi berat logam katalis terhadap biomassa yang berbeda pada *range* sekitar 3%, 4%, dan 5% yang di harapkan memperoleh *yield bio-oil* yang lebih tinggi lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S.S., S. Yusup, M.M. Ahmad, A. Ramli dan L. Ismail. 2008. *Thermogravimetry Study on Pyrolysis of Various Lignocellulosic Biomass for Potential Hydrogen Production*, 3(3).
- Agriculture and Customer Protection., 2008, *FAO JECFA Monographs 1: Combined Compendium of Food Additive Specifications*, <http://www.fao.org>
- Anugra, R.D., 2011, Efek Kandungan Logam Ni/NZA Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi *Bio-oil*, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Asril, D. 2012. Konversi Kulit Pinus menjadi Bio-Oil dengan Metode Pirolisis menggunakan Katalis CoMo/NZA. *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau.

- Awaluddin, A., 2008,** Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi *Bio-oil* dengan menggunakan *Thermo-oil*. *I-MHERE Project*. HEI-IU Universitas Riau.
- Bain dan L. Richard, 2004,** *An Introduction to Biomass Thermochemical Conversion, DEO/NASLUGC Biomass and Solar Energy Workshop, August 3-4.*
- Balai Besar Selulosa Bandung. 2013.** Hasil Analisa Batang Ketapang. Agustus. Laboratorium Komponen Kimia. Bandung.
- Bahri, S., Y.S. Indra, P.S. Utama, dan Muhdarina. 2010.** Sintesis dan Karakterisasi Katalis Bimetal Ni-Mo-zeolit untuk Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi *Bio-oil*. *Makalah Ilmiah*. Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR. 29-30 Juni. Pekanbaru.
- Boundy, B., S.W. Diegel, L. Wright, dan S.C. Davis. 2011.** *Biomass energy Data Book (Edition 4)*. Amerika Serikat: U.S. Department of Energy.
- BTG, 2003,** *Bio-Oil Applications*, <http://www.btgword.com>, 4 Januari 2011
- Contained Energy Indonesia. 2011.** *Buku Panduan Energi yang Terbaru*. Kementerian Dalam Negeri. Jakarta.
- Dyer, A., 1988,** *An Introduction to Zeolite Molecular Sieves*, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, England
- Wati, 2013.,** Konversi Cangkang Sawit Menjadi *Bio-Oil* Dengan Metode *Pyrolysis* Menggunakan Katalis Como/Mineral Alam (Lempung Cengar)., Skripsi, Universitas Riau.
- Goyal, 2006,** *Bio-Fuels from hermochemical Conversion Of Renewable Resources: A Review*, India Institute of petroleum, India.
- Hambali, E., S. Mujdalipah, A.H. Tambunan, A.W. Pattiwiri, dan R. Hendroko. 2007.** Teknologi Bioenergi. Agromedia. Jakarta.
- Hassan, E., P.H. Steele, B. Mitchell, dan L. Ingram, 2009,** *Physical and Chemical Characterization of fast pyrolysis Bio-Oil Produced from Various Southern Forestry Feedstocks*, Forest Products Department, Mississippi State University.
- IARC Monograph (Volume 45). 1989.** *Occupational Exposures in Petroleum Refining; Crude Oil and Major Petroleum Fuels*. Prancis: IARC intern. tech. Rep.
- Indra, Y.S., 2010,** Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Ni/NZA untuk Proses Catalytic Cracking Tandan Kosong Sawit menjadi Bahan Bakar Cair, Skripsi, Universitas Riau.
- Innovative Natural Resource Solution LLC, 2004,** *New Hampshire Bio oil Opportunity Analysis*, New Hampshire Office of Energy & Planning, New Hampshire
- Irfan, M., 2010,** Pirolisis Tandan Kosong Sawit Dengan Katalis CoMo/ZSM-5 Menjadi *Bio-Oil*, Skripsi, Universitas Riau. (Khopkar, 2003).
- Khopkar, S.M., 2003,** Konsep Dasar Kimia Analitik, UI-Press, Jakarta.
- kirk and othmer, encyclopedia chemical teknologi, catalysis, vol 5.**
- Lestari, D.Y. 2010.** Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolite Alam dari Berbagai Negara. Prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010. 30 Oktober. Universitas Negeri Yogyakarta: 1-7.
- Li, D., H. Xu, G. D. Jr. Guthrie. 2000.** Zeolite-Supported Ni and Mo Catalysts for Hydrotreatments. *J. Cat.* 189, 281-296

- Mohan, D., C.U. Pittman, dan P.H. Steel.** 2006. *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*. *Jurnal Energy and Fuels* 20: 848-889.
- Musta, R.,** 2010. Preparasi Pengembanan Logam CoMo pada H-Zeolit Y1, wakapendik Vol. 6, No.1 Februari 2010
- Narasta, Z.P.** 2012. Variasi Kadar Logam Ni-Mo pada *Catalytic Pyrolysis* Cangkang Sawit menjadi *Bio-oil*. *Skripsi Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau*
- Negeri.** 2012., Konversi Pelepah Nipah menjadi *Bio-oil* Menggunakan Metode Pirolisis menggunakan Katalis CoMo/NZA, *Skripsi, Universitas Riau*.
- Ophardt, C.E.,** 2003. *Gasoline Compounds*, <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/515gasolinefs.html> . 5 September 2012 Pertamina. 2008. *Silina*. http://lubrisindo.tripod.com/index_file/page3558.htm-71k. 28 April 2012 (09.45).
- Putra, Z.A.** 2010. Kilang Minyak Bumi. Malaysia: Universiti teknologi Petronas.
- Rajah,** 2007. Daun Ketapang untuk Menurunkan pH Air. <http://tanamanbuas.proboards.com/thread/2213/daun-ketapang-untuk-menurunkan-air>. 16 September 2013 (08:20).
- Primaningtiyas,** 2012. Konversi Ampas Tapioka Menjadi *Bio-oil* Menggunakan Proses *Pyrolysis* Dengan Katalis CoMo/NZA., *Skripsi, Universitas Riau*.
- Setiadi dan A. Pertiwi,** 2007, Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa Abe menjadi Hidrokarbon, Prosiding Kongres dan Simposium Nasional Kedua MKICS 2007.
- Setyawan, D., dan Handoko, P.,** 2002, Preparasi Katalis Cr/Zeolit Melalui Modifikasi Zeolit Alam, *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 3, No. 1, Hal: 15-23..
- Thomson, L.A.J. dan B. Evans.** 2006. *Terminalia Catappa (Tropical Almond) Combretaceae (Combretum Family)*. *Jurnal Species Profiles for Pacific Island Agroforestry* 2(1): 1-17.
- Trisunaryanti, W., E. Triwahyuni, dan S.Sudiono.** 2005. Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam. *Jurnal TEKNOIN* 10(4): 269-282.
- Xu, Y., X. Hu, W. Li, dan Y. Shi.** 2012. *Preparation and Characterization of Bio-Oil from Biomass*. *Jurnal Progress in Biomass and Bioenergy Production* (10): 198-220.
- Yenti, N.,** 2011. Konversi Ampas Tapioka menjadi Hidrokarbon Aromatik dengan Metode Pirolisis menggunakan Katalis NZA (*Natural Zeolit deAluminated*) , *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*
- Yu, F., S. Deng, P. Chen, Y. Liu, Y. Wan, A. Olson, D. Kittelson, dan R. Ruan.** 2007. *Physical and Chemical Properties of Bio-Oils from Microwave Pyrolysis of Corn Stover*. *Jurnal Applied Biochemistry and Biotechnology* (7): 136-140.
- Zulkifli, dkk.,** 2012. Pirolisis Ampas Tapioka menjadi *Bio-Oil* menggunakan Katalis Ni-Mo/NZA. *Skripsi. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau*.