PIROLISIS KAYU KETAPANG (*TERMINALIA CATAPPA L*) MENJADI *BIO-OIL* DENGAN KATALIS Mo/LEMPUNG CENGAR

Feby Pratama Nugraha [1], Syaiful Bahri [2], Amun Amri [2]
[1] Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
[2]Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
febypn@gmail.com

ABSTRACT

The demand for renewable energy to adequate human energy continue to increase. Currently, the main energy source in the world is a fossil fuel. So, we need alternative energy instead of petroleum. Biomass can be used as a bio-oil by pyrolysis. The wood can be used as raw materials of bio-oil is not a superior product and its rapid growth, these requirements exist in ketapang tree (Terminalia catappa L.).The purpose of this research is to make bio-oil from ketapang tree using a catalyst Mo/clay by pyrolysis process, as well as test physical properties of the bio-oil, and to determine the effect of variation the carrier of the catalyst metal catalyst weight variations against of biomass. In this research ketapang tree by the size of -100+200 mesh, 50 grams, 500 ml silinap and catalyst Mo / clay inserted into of pyrolysis reactor. This process conducted at a temperature 320^oC and the stirring speed of 300 rpm operate for about 120 minutes by flowing nitrogen gas. For the optimum yields obtained at 1.5% catalyst Mo/clay as much as 7% of biomass that is equal to 70,35%. The test results physical properties obtained density of 1.005 g/ml, 2.14 cSt viscosity, acidity 46.17 mg NaOH /g sample and the flash point 49^oC. Results of analysis compound chemical using GC-MS, obtained the dominant chemical components in the bio-oil is Methyl 2-Hydroxybutyrate (16,79%); Methyl acetate (5,66%); 1-hydroxy-,2-Propanone (12,96%) ; Acetic acid (31,53%).

Keywords*: biomass, bio-oil, catalyst mo/clay, ketapang,Terminalia Catappa, pyrolysis*

1. Pendahuluan

Permintaan akan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi manusia terus meningkat. Saat ini, sumber energi utama di dunia adalah bahan bakar fosil. ketergantungan terhadap energi fosil, terutama minyak bumi dalam pemenuhan konsumsi di dalam negeri masih tinggi, yaitu sebesar 96% (minyak bumi 48%, gas 18%, dan batubara 30%) dari total konsumsi energy nasional, sementara upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan belum dapat berjalan sebagaimana yang direncanakan.[Dewan Energi Nasional, 2014] Penggunaan bahan bakar fosil juga termasuk peneyebab pemanasan global. Selain itu, sumber bahan bakar fosil yang tidak merata di seluruh dunia, yang membuat banyak negara sangat bergantung untuk impor.

Pemerintah di seluruh dunia sedang mendukung pemanfaatan energi terbarukan dan sumber energi seperti matahari, angin, pembangkit listrik tenaga air, dan biomassa.

Tiga faktor utama yang mendorong mereka adalah (i) menjamin ketersediaan energi, (ii) ancaman perubahan iklim, (iii) mengembangkan atau mempertahankan kegiatan pertanian [Lange, 2007].

Biomassa adalah satu-satunya sumber energi yang dapat memberikan bahan bakar cair terbarukan. Terlepas dari sektor transportasi, biomassa juga merupakan bahan baku yang menjanjikan untuk industri kimia karena adanya berbagai manfaat yang tersedia dari biomassa. Salah satu manfaat biomassa yaitu dengan mengonversikannya menjadi *bio-oil* dengan proses pirolisis. [Lange, 2007].

Kayu merupakan biomassa yang paling potensial untuk memproduksi *bio-oil*. Kayu-kayu yang dapat dijadikan bahan baku *bio-oil* ialah kayu-kayu yang bukan merupakan produk unggulan serta pertumbuhannya yang cepat, syarat-syarat tersebut ada pada pohon Ketapang (Terminalia Catappa L.) [Sukma,2014].

Dalam proses konversi biomassa menjadi *bio-oil* dapat dilakukan dengan proses pirolisis. Proses ini memiliki salah satu keuntungan yaitu *yield* yang sangat tinggi. Untuk mendapatkan kualitas yang baik dalam peningkatan kualitas *bio-oil* digunakan lempung sebagai katalis dalam proses pirolisis.

Lempung alam mempunyai cadangan yang cukup besar di daerah Riau. Dikabupaten Kuantan Singingi khususnya, lempung jenis kaolinit diperkirakan terdapat sekitar 562.500 m^3 yang tersebar di daerah Air Buluh dan Desa Pangkalan [Bahri dan Rivai,2010]. Lempung alam telah dimanfaatkan menjadi material baru yang lebih berguna, salah satunya sebagai katalis [Darmawan, 2003].

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang diperlukan adalah lempung dari Desa Cengar Kecamatan Kuantan Mudik Kabupaten Kuantan Singingi, H_2SO_4 1,2 M, $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$, $BaCl_2$, aquades, gas N_2, O_2, dan H_2,kayu ketapang, NaOH, asam oksalat dan silinap 280M (*thermo oil*).

Alat yang dipakai

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini lumpang porselin, pengayak 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*, *heating mantle*, *thermocouple thermometer* (Barnant), piknometer, *viskometer* Ostwald, gelas piala, pengaduk listrik (*Heidolph)* dan GC – MS (Kromatografi gas-spektroskopi massa).

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap yang dilakukan ialah: biomassa yang digunakan adalah kayu ketapang, temperatur reaktor pirolisis (320 ^oC), kecepatan pengadukan (300 rpm), proses pirolisis dilakukan selama 2 jam dan silinap yang digunakan adalah series 280M. Sedangkan Variabel berubahnya ialah: pengembanan logam Mo divariasikan sebesar 0,5%, 1%,dan 1,5% b/b terhadap lempung dan jumlah katalis Mo/Lempung divariasikan sebesar 7%, 9%, dan 11% b/b terhadap biomassa.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

1. Pembuatan Katalis Mo/Lempung

Tahap pertama adalah lempung yang sudah membatu ditumbuk dan diayak dengan ukuran ayakan -100+200 mesh dimana partikel lempung yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 mesh dan tertahan pada pengayak 200 mesh.

Selanjutnya lempung diaktivasi dengan larutan H_2SO_4 1,2 M. Lempung cengar sebanyak 150 gram dalam larutan H_2SO_4 1,2M sebanyak 600 ml direfluks selama 6 jam pada suhu 50 ^oC sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 liter, kemudian sampel tersebut didiamkan selama 16 jam yang selanjutnya disaring dan dicuci menggunakan aquades berulang kali sampai tidak ada ion SO_4^{-2} yang terdeteksi oleh larutan $BaCl_2$, *cake* dikeringkan pada suhu 110 ^oC selama 4 jam dalam oven.

Tahap berikutnya dilakukan impregnasi logam Mo dengan cara lempung yang telah diaktivasi dilarutkan dalam 200 ml $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ dan direfluks pada suhu 90 ^oC selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 liter. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110 ^oC selama 3 jam. Larutan nikel untuk impregnasi divariasikan dengan kadar logam sebesar 0%, 0,5%, 1% dan 1.5% b/b terhadap lempung hingga diperoleh katalis Mo/lempung. Selanjutnya, katalis Mo/lempung diaktivasi dengan proses kalsinasi, oksidasi, dan reduksi. Proses ini diawali dengan memasukkan 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 ^oC dengan selama 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar $\pm$ 400 ml/menit. Selanjutnya, katalis dioksidasi pada suhu 400 ^oC menggunakan gas oksigen sebesar $\pm$ 400 ml/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu 400 ^oC menggunakan gas hidrogen sebesar $\pm$ 400 ml/menit selama 2 jam.

2. Sintesa *Bio-Oil*

Biomassa berupa kayu ketapang dijemur sampai kering di bawah terik matahari. Kemudian dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kadar airnya sampai beratnya konstan. Ukuran kayu ketapang tersebut diperkecil (dihancurkan) dan diayak (*screening*) untuk memperoleh ukuran yang lolos ayakan -100+200 mesh.

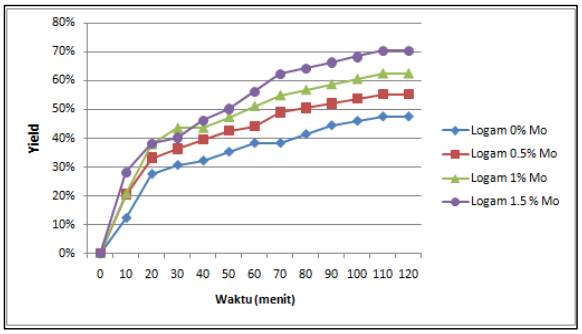
Selanjutnya, 50 gram kayu ketapang, 500 ml silinap dan katalis Mo/lempung (sesuai dengan variasi jumlah katalis terhadap biomassa) dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Kemudian dialirkan gas nitrogen ke dalam reaktor. Reaktor dioperasikan pada suhu 320 ^oC, diaduk dengan pengaduk listrik (*heidolph)* pada kecepatan pengadukan 300 rpm. Proses pirolisis akan menghasilkan produk cair *(bio-oil*) akibat proses kondensasi.

3. Karakterisasi *Bio-Oil*

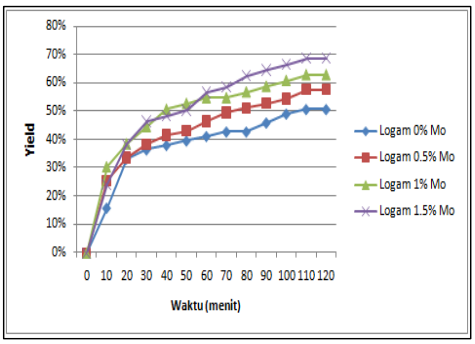
Produk berupa *bio-oil* selanjutnya dikarakterisasi dengan melakukan analisa fisika dan kimia. Analisa fisika yang dilakukan terdiri dari: penentuan densitas, viskositas, angka keasaman, dan titik nyala dari *bio-oil* yang dihasilkan. Sedangkan analisa kimia dilakukan dengan GC-MS.

3. Hasil dan Pembahasan

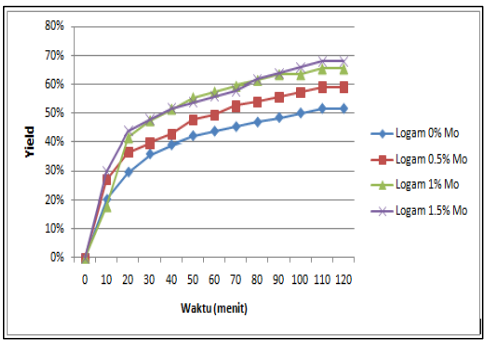
Untuk mengetahui pengaruh kadar logam Mo yang diembankan pada lempung terhadap *yield bio-oil* yang diperoleh digunakan variasi kadar logam 0%, 1%, 2% dan 3% b/b dengan jumlah katalis yang digunakan sebanyak 3%; 5% dan 7% b/b terhadap biomassa. . Dimana maksud dari kadar logam 0% adalah tanpa adanya pengembanan logam. Pengaruh variasi kadar logam pada katalis Mo/Lempung terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan pada setiap variasi jumlah katalis yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1a, 1b dan 1c.



Gambar 1a. Pengaruh Kadar Logam Mo/Lempung terhadap *Yield Bio-oil* yang Dihasilkan dengan Jumlah Katalis Sebanyak 7% terhadap Biomassa.



Gambar 1b. Pengaruh Kadar Logam Mo/Lempung terhadap *Yield Bio-oil* yang Dihasilkan dengan Jumlah Katalis Sebanyak 9% terhadap Biomassa.



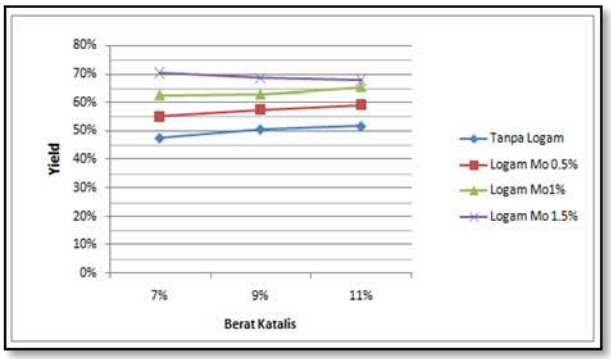
Gambar 1c. Pengaruh Kadar Logam Mo/Lempung terhadap *Yield Bio-oil* yang Dihasilkan dengan Jumlah Katalis Sebanyak 11% terhadap Biomassa.

Dari Gambar 1a, 1b, dan 1c dapat dilihat bahwa kadar logam Mo/Lempung mempengaruhi *yield bio-oil* yang diperoleh. Pada penggunaan katalis sebesar 7% b/b terhadap biomassa, persentase *yield bio-oil* yang diperoleh pada kadar logam 0%;0,5%; 1% dan 1,5 b/b Mo/Lempung berturut-turut adalah 47,62%, 55,16%, 62,57% dan 70,35%. Pada penggunaan berat katalis 9% b/b terhadap biomassa, persentase *yield bio-oil* yang diperoleh pada kadar logam 0%; 0,5%;1% dan 1,5 b/b Mo/Lempung berturut-turut adalah 50,69%, 57,46%, 62,87% dan 68,54%. Sedangkan pada penggunaan berat katalis sebesar 11% b/b terhadap biomassa, persentase *yield bio-oil* yang diperoleh pada kadar logam 0% ; 0,5% ; 1% dan 1,5 b/b Mo/Lempung berturut-turut adalah 51,74%, 59,13%, 65,54% dan 67,93%.

Dapat dilihat bahwa proses pirolisis kulit kayu ketapang menggunakan berat katalis 7%, 9% dan 11% b/b terhadap biomassa diperoleh *yield bio-oil* tertinggi pada pengembanan logam Mo sebesar 1,5% dengan berat katalis 7% yaitu sebesar 70,35%. Berdasarkan hasil tersebut menunjukan bahwa penambahan kadar logam pada katalis Mo/Lempung dapat meningkatkan *yield* bio-oil yang dihasilkan. Tujuan dari impregnasi logam aktif kepermukaan suatu padatan adalah untuk memperluas permukaan dari suatu padatan (sampel katalis) yang pada akhirnya akan meningkatkan luas permukaan spesifik suatu padatan dan diharapkan aktivitas sampel katalis akan meningkat [Setyawan dan Handoko,2002].

Menurut Setiadi dan Pertiwi [2007], sistem katalis logam pengemban dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari lempung sehingga aktivitas dari katalis juga semakin meningkat.Logam sebagai fasa aktif berperan untuk mempercepat dan mengarahkan reaksi. Sedangkan penyangga atau *support* berfungsi untuk memberikan luas permukaan yang lebih besar bagi fasa

aktif, meningkatkan stabilitas termal dan efektivitas katalis. Dapat dilihat juga semakin besar kadar logam yang diembankan, maka *yield bio-oil* yang diperoleh juga semakin besar. Hal ini berkaitan dengan jumlah sisi aktif dari katalis yang juga mengalami peningkatan, sehingga probabilitas reaktan berinteraksi dengan permukaan katalis juga semakin meningkat. Untuk mengetahui hubungan antar jumlah katalis yang digunakan terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Jumlah Katalis Mo/Lempung terhadap *Yield Bio-oil*

Pada gambar 2 dilihat bahwa variasi berat katalis Mo/Lempung mempengaruhi *yield bio-oil* yang diperoleh. Perolehan *yield bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini dengan pengembanan kadar logam 0% secara berurutan dengan variasi berat katalis 7%, 9%, dan 11% yaitu 47,62%; 50,69% dan 51,74%. Pada pengembanan kadar logam 0,5% *yield bio-oil* yang dihasilkan secara berurutan dengan variasi berat katalis 7%, 9%, dan 11% yaitu 55,16%; 57,46% dan 59,13%. Pada pengembanan kadar logam 1% *yield bio-oil* yang dihasilkan secara berurutan dengan variasi berat katalis 7%, 9%, dan 11% yaitu 62,57%; 62,87%; 65,54%. Pada pengembanan kadar logam 1,5% *yield bio-oil* yang dihasilkan secara berurutan dengan variasi berat katalis 7%, 9%, dan 11% yaitu 70,35%; 68,54% dan 67,93%. Untuk *yield bio-oil* optimum terletak pada variasi berat katalis 7% dengan 1,5% kadar logam Mo yaitu sebesar 70,35%.

Dari grafik di atas dapat dilihat pengaruh berat katalis terhadap *yield* bio-oil, dimana pada katalis tanpa logam terjadi peningkatan *yield* bio-oil seiring dengan bertambahnya jumlah katalis yang digunakan. Begitu juga dengan variasi logam Mo 0,5% dan 1%.

Menurut Lestari [2010], bahwa dengan bertambahnya persentase berat katalis terhadap biomassa dengan ukuran biomassa yang sama, maka jumlah pori pada katalis semakin meningkatkan luas permukaannya, sehingga situs-situs aktif pada katalis yang dapat dimanfaatkan selama proses perengkahan semakin banyak dan dapat meningkatkan *yield bio-oil* yang dihasilkan.

Namun pada variasi logam Mo 1,5% terjadi penurunan *yield* bio-oil seiring bertambahnya katalis Mo/Lempung yang digunakan. Penurunan *yield bio-oil* ini kemungkinan juga disebabkan karena banyaknya produk *non condensablegas* yang terbentuk, dimana pada saat proses perengkahan lebih banyak menghasilkan fraksi-fraksi hidrokarbon ringan yang tidak dapat dikondensasi.Dengan semakin banyaknya jumlah katalis dan semakin besarnya kadar logam yang digunakan, memungkingkan semakin banyaknya 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 [Vang dkk, 2005].

Analisa Fisika *Bio-oil*

Hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* dari kayu ketapang menggunakan katalis 0%, 0,5%, 1% dan 1,5% b/b Mo/Lempung secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteritik *Bio-oil* dari Kayu ketapang

Logam Mo (%b/b)	Katalis Mo/Lempung (%b/b)	*Yield* (%)	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)
0%	7%	47.62%	0.768	2.182	52
	9%	50.69%	0.792	2.158	54
	11%	51.74%	0.784	2.029	50
0.5%	7%	55.16%	0.788	1.659	52
	9%	57.46%	0.798	2.046	48
	11%	59.13%	0.799	1.892	53
1%	7%	62.57%	0.948	2.207	47
	9%	62.87%	1.014	2.134	49
	11%	65.54%	0.993	1.892	51
1.5%	**7%**	**70.35%**	**1.005**	**2.142**	**49**
	9%	68.54%	1.008	2.239	52
	11%	67.93%	0.999	1.965	53

Dari Tabel 1 terlihat bahwa uji karakteristik *bio-oil* yang terdiri dari densitas, viskositas, angka keasaman dan titik nyala. Nilai uji fisika berdasarkan *yield bio-oil* optimum yang diperoleh pada katalis 1,5% Mo/Lempung sebanyak 7% katalis yaitu densitas 1,005 gr/ml, viskositas 2.142 cSt, angka keasaman 46,17 mg NaOH/gr sampel dan titik nyala 49 ^{o}C.

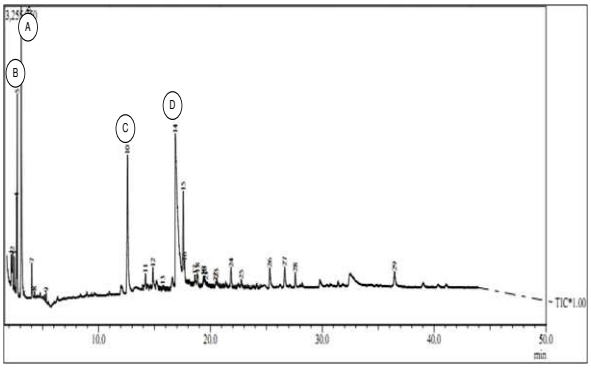
Hasil uji karakteristik *bio-oil* kayu ketapang menggunakan katalis dengan kadar logam Mo sebanyak 1,5% terhadap lempung dengan jumlah katalis 7% sudah hampir mendekati karakteristik *conventional bio-oil* dan *diesel oil*. Perbandingan hasil karakterisasi fisika *bio-oil* dari kayu ketapang dengan karakteristik fisika *bio-oil* standar dan bahan bakar minyak berupa *diesel oil* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Fisika antara *Bio-oil* Kayu ketapang dengan *Bio-Oil* Standar dan *Diesel Oil*

Parameter	***Bio-Oil* dari Kayu ketapang**	***Bio-Oil* Standar***	***Diesel Oil****
Densitas (gr/mml)	**1,005**	0,94-1,2	0,81-0,89
Viskositas kinematik (cSt)	**2,142**	4-78	1,3-24,0
Titik Nyala (^{o}C)	**49**	45-100	38-55
Angka Keasaman (mg NaOH/gr sample)	**46,17**	35,1-50	42,6-45,6***

Sumber : *: Mohan[2006]
**: IARC monographs volume 45 [1989]
***: Boundy dkk[2011]

Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai densitas *bio-oil* kayu ketapang berada dalam rentang nilai densitas *diesel oil*. Pada nilai viskositas *bio-oil* kayu ketapang berada dalam rentang viskositas *Diesel Oil,* namun lebih kecil dibandingkan nilai viskositas *bio-oil* standar. Sedangkan nilai titik nyala pada *bio-oil* kayu ketapang sudah cukup bagus, angka ini berada pada rentang titik nyala *conventional bio-oil* dan *diesel oil*. Untuk angka keasaman *bio-oil* kayu ketapang masih dalam rentang *bio-oil* standar dan *diesel oil*.



Gambar 3. Hasil Kromatogram *Bio-oil*

Hasil analisa komponen dilakukan pada *bio-oil* dengan *yield* tertinggi yaitu sebesar 70,35% pada jumlah katalis 7% terhadap biomassa dengan kadar logam Mo 1,5%. Adapun empat senyawa yang paling dominan yaitu : Methyl 2-Hydroxybutyrate (16,79%); Methylacetate (5,66%); 1-hydroxy-,2-Propanone (12,96%);Acetic acid (31,53%). Seperti yang telah dijelaskan oleh NREL [2000], dimana komponen organik yang terdapat di dalam *bio-oil* yakni memiliki kandungan-kandungan dari kelompok asam, ester, alkohol, keton, aldehid, alkena, furan dan senyawa organik lainnya yang merupakan karakteristik dari *bio-oil*.

4. Kesimpulan

Yield bio-oil tertinggi di dapat pada persentase pengembanan logam 1,5% dan penggunaan katalis Mo/Lempung 7%, yaitu 70,35%. Karakteristik fisika *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini adalah densitas 1,005 gram/ml, viskositas 2,142 cSt, angka asam 46,17 mg NaOH/gram sampel, dan titik nyala 49^{o}C. Senyawa dominan yang terkandung di dalam *bio-oil* pada suhu pirolisis 320^{o}C, persentase pengembanan logam 1,5% dan penggunaan katalis Mo/Lempung 7% adalah : Methyl 2-Hydroxybutyrate (16,79%); Methyl acetate (5,66%); 1-hydroxy-,2-Propanone (12,96%) ; Acetic acid (31,53%).

Daftar Pustaka

Bahri, S., dan 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, Department Of Chemical Engineering, 9, 49-54.

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.

Darmawan, Adi.2003. Sintesis Katalis Mesopori Lempung Terpilar Sol Silica Berpengemban Ni, Zr Dan Ti Dari Lempung Alam Boyolali Untuk Hidrorengkah Fraksi Berat Minyakbumi Minas.Laporan Kegiatan.Fmipa Universitas Diponegoro.

Dewan Energi Nasional.2014.*Outlook Energi 2014*.

IARC Monograph (Volume 45). 1989. *Occupational Exposures in Petroleum Refining; Crude Oil and Major Petroleum Fuels.* Prancis: IARC intern. tech. Rep.

Lange, J. (2007*). Lignocellulose conversion: an introduction to chemistry, process and economics. Biofuel Bioproduct Biorefining* , 39-40.

Lestari, D.Y. 2010. Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolite alam dari berbagai negara.Prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010. 30 Oktober. UniversitasNegeri Yogyakarta: 1-7.

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.

National Renewable Energy Laboratory (NREL). 2000. *A Review of The Chemichal and Physical Mechanisms of the Storage Stability of Fast Pyrolysis Bio-oils*. Lakewood,Colorado.

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 P. Handoko, 2002*,* Pengaruh Perlakuan Asam,

Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis, Jurnal Ilmu Dasar, 3(2), 103-109.

Sukma, A.A. 2014. Konversi Termal Kayu Ketapang (Terminalia Catappa L.) Menjadi Bio-Oildengan Teknologi Pirolisis Menggunakan Katalis NiMo/NZA. Skripsi Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Riau.

Vang, R, T., Honkala, K., Dahl, S., Vestegaard, K, E., Schnadt, J. 2005. *Controlling the Catalytic Bond-Breaking Selectivity of Ni Surface by Step Blocking*, Nature Material, Vol:4, p. 160-162