

PEMBUATAN *BIO-OIL* DARI KAYU CEMARA (*CAUSARINA EQUISETIFOLIA L.*) DENGAN TEKNOLOGI PIROLISIS MENGGUNAKAN KATALIS MO/NZA

Hasnul Bustamam¹, Syaiful Bahri², Amun Amri²

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
hbustamam@gmail.com

Bio-oil can be produced by pyrolysis of caesarina wood with catalyst Mo/NZA. The purpose of this research was to produce bio-oil from caesarina wood, determine the effect of the impregnation percentage of Mo metal and ratio of Mo/NZA catalyst on the yield of bio-oil and determine the physical and chemical characteristics of bio-oil. Pyrolysis using 50 grams caesarina wood, 500 ml silinap and Mo/NZA catalyst with variations of the impregnation percentage of Mo metal 0%, 0,5%, 1%, 1,5% and the variation ratio of Mo/NZAcatalyst 3% and 5% of the biomass with a stirring speed of 300 rpm and a temperature of 320°C for 120 minutes. In this research, the highest yield on the variation of the impregnation percentage of metal 1,5% and the ratio of catalyst 5% of the biomass amounted to 66,79%. Characteristics of bio-oil obtained were density 1,012 gr/ml, viscosity 3,14 cP, acid number 75,48 mg NaOH/gr sample, and the flash point 52°C. The results of GC-MS analysis, the dominant chemical components in the bio-oil were 2-propanone,1-hydroxy- with an area 51,55 % , 1,1'-bibicyclo(2.2.2)octyl-4-carboxylic acid with an area 14,77 % dan 2-Propanone with an area 0,8 %.

Keywords: *Bio-oil, Pyrolysis, Catalyst Mo/NZA, Caesarina wood*

I. Pendahuluan

Minyak bumi, gas bumi, dan batubara mempunyai peranan besar sebagai sumber energi untuk mendukung berbagai kegiatan ekonomi dan sosial masyarakat. Seiring dengan pertumbuhan penduduk di Indonesia, konsumsi bahan bakar yang berasal dari minyak bumi, terus meningkat dari tahun ke tahun. Jika sumber energi ini digunakan secara terus - menerus maka akan berakibat pada krisis energi [BAPPENAS, 2010]. Oleh sebab itu perlu adanya sumber energi baru yang dapat diperbaharui dan jumlahnya memadai. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan yaitu *bio-oil*.

Bio-oil dapat diolah menjadi bahan bakar minyak dan dapat diproduksi dari

biomassa. Salah satu biomassa yang dapat dimanfaatkan adalah kayu cemara. Tumbuhan ini dapat hidup dengan baik bila ditempatkan di tempat yang terbuka dan kena sinar matahari langsung terutama daerah dataran.

Kayu cemara ini memiliki potensi yang bagus untuk dijadikan bahan baku produksi *bio-oil*. memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi, Kayu cemara memiliki kandungan selulosa cukup tinggi sebesar 44% (Anindyawati, 2009).

Salah satu teknologi proses yang dapat digunakan dalam pembuatan *bio-oil* yaitu pirolisis. Pada proses pirolisis, adanya katalis dapat mempercepat terbentuknya *bio-oil*.

Hasil dari pirolisis selalu dalam bentuk gas, dan hasil penguapannya dapat menghasilkan bahan bakar cair (minyak), arang dan gas sintetik atau *syngas*. Bahan bakar cair ini dapat menghasilkan panas dan listrik apabila dibakar dalam ketel uap, mesin atau turbin. Produk lain dari proses pirolisis ini berupa arang dan bahan kimia. Dari hasil pirolisis ini kemudian dapat dilakukan konversi produk, salah satunya untuk kepentingan sintesis bahan pengganti minyak bumi atau bahan-bahan kimia.

Salah satu bahan yang dapat dijadikan katalis adalah zeolit. Keunggulan zeolit sebagai katalis yaitu memiliki struktur pori yang lebih besar dibandingkan yang lainnya, stabilitas termal tinggi, luas permukaan yang lebih besar dan aktivitas katalitik yang baik.

Kualitas zeolit sebagai katalis dapat ditingkatkan dengan cara mendistribusikan logam ke dalam pori zeolit. Menurut Morad [2006] dengan menempatkan komponen aktif logam ke dalam suatu bahan berpori dapat menyebabkan luas permukaan menjadi lebih besar, yang pada akhirnya akan memperbesar luas kontak antara katalis dengan reaktan, sehingga reaksi berjalan cepat. Salah satu logam yang dapat digunakan adalah Mo. Kombinasi antara logam Mo dan zeolit dapat meningkatkan luas permukaan dan stabilitas termal yang tinggi. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan kualitas *bio-oil* yang lebih baik, maka digunakan Mo/NZA sebagai katalis dalam proses pirolisis.

II. Metode Penelitian

2.1 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang diperlukan adalah zeolit alam, HCl 6 N, NH₄Cl 1 N, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, aquades, AgNO₃, gas N₂, O₂, dan H₂, batang kayu cemara, NaOH, asam oksalat dan silinap 280M (*thermo oil*).

2.2 Alat yang digunakan

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 N₂, O₂ dan H₂, reaktor pirolisis, *condensor*, *heating mantle*, *thermocouple thermometer* (Barnant), piknometer, *viscometer* Ostwald, gelas piala, pengaduk listrik (*Heidolph*) dan GC – MS (Kromatografi gas-spektroskopi massa).

2.3 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 cemara, temperatur reaktor pirolisis (320 °C), kecepatan pengadukan (300 rpm), proses pirolisis dilakukan selama 2 jam dan silinap yang digunakan adalah series 280 M. Sedangkan Variabel berubahnya ialah : pengembangan logam Mo divariasikan sebesar 0%, 0,5%, 1% dan 1,5% b/b terhadap zeolit dan jumlah katalis Mo/NZA divariasikan sebesar 3%, dan 5% b/b terhadap biomassa.

2.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

2.4.1 Pembuatan Katalis Mo/NZA

Tahap pertama adalah NZA yang masih berukuran besar ditumbuk dan diayak dengan ukuran ayakan -100+200 mesh dimana partikel zeolit yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 mesh dan tertahan pada pengayak 200 mesh.

Selanjutnya NZA diaktivasi dengan larutan HCL 6 N. NZA sebanyak 200 gram dalam larutan HCL 6 N sebanyak 1000 ml direfluks selama 30 menit pada suhu 50 °C sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 liter, kemudian

sampel tersebut disaring dan dicuci berulang kali sampai pH netral sampai tidak ada ion Cl^- yang terdeteksi oleh larutan AgNO_3 , *cake* dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam dalam oven. Sampel tersebut kemudian di refluks kembali dalam 100 ml larutan NH_4Cl 1 N pada suhu 90°C sambil diaduk pada reaktor alas datar selama 3 jam sehari sampai satu minggu. Setelah itu sampel disaring dan dicuci kemudian dikeringkan di oven selama 24 jam.

Tahap berikutnya dilakukan impregnasi logam Mo dengan cara zeolit yang telah diaktivasi dilarutkan dalam 100 ml $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O})$ dan direfluks pada suhu 60°C selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 liter. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam. Sehingga diperoleh Mo/NZA. Selanjutnya, Mo/NZA 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°C dengan selama 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar ± 400 ml/menit. 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.

2.4.2 Sintesa Bio-Oil

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

Selanjutnya, 50 gram kayu cemara, 500 ml silinap dan katalis Mo/NZA (sesuai dengan variasi jumlah katalis terhadap biomassa) dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Kemudian dialirkan gas nitrogen dengan laju alir sebesar 80 mL/menit ke dalam reaktor. Reaktor dioperasikan pada suhu 320°C , diaduk dengan pengaduk listrik (*heidolph*) pada kecepatan pengadukan 300 rpm. Proses pirolisis akan menghasilkan produk cair (*bio-oil*) akibat proses kondensasi.

2.4.3 Karakterisasi Bio-Oil

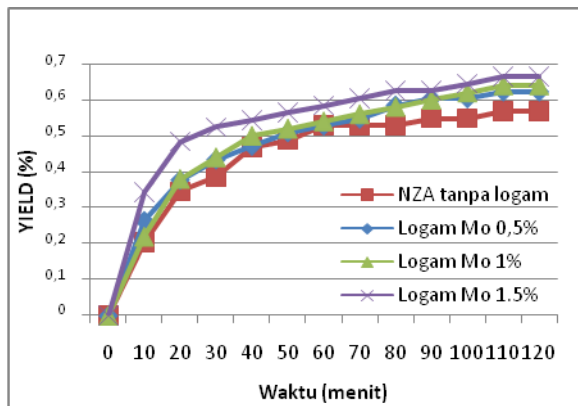
Produk berupa *bio-oil* selanjutnya dikarakterisasi dengan melakukan analisa fisika dan kimia. Analisa fisika yang dilakukan terdiri dari: penentuan densitas, viskositas, angka keasaman, dan titik nyala dari *bio-oil* yang dihasilkan. Sedangkan analisa kimia dilakukan dengan GC-MS.

III. Hasil dan Pembahasan

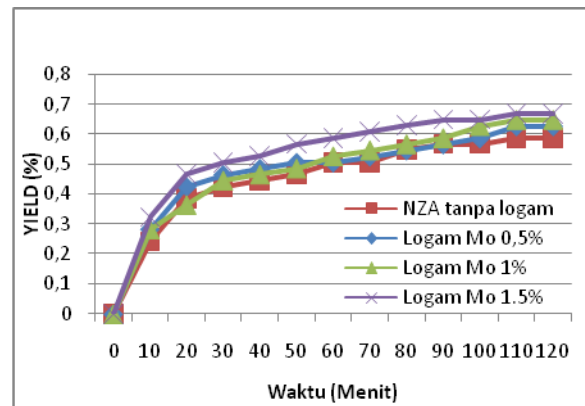
3.1 Pengaruh Variasi Kadar Logam Molibdenum (Mo) Pada Katalis Mo/NZA Terhadap Yield Bio-oil

Dalam penelitian ini telah dilakukan preparasi katalis logam metal yang diimbangkan ke dalam zeolit. Logam yang diimbangkan adalah molibdenum (Mo). Preparasi dilakukan dengan metode impregnasi, sehingga diperoleh katalis Mo/NZA.

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



Gambar 1 Pengaruh Variasi Kadar Logam Mo pada Katalis Mo/NZA Terhadap *Yield Bio-oil* yang Diperoleh pada 3 % Berat Katalis



Gambar 2 Pengaruh Variasi Kadar Logam Mo pada Katalis Mo/NZA Terhadap *Yield Bio-oil* yang Diperoleh pada 5 % Berat Katalis

Dari Gambar 1 diketahui bahwa Persentase *yield bio-oil* yang dihasilkan pada penggunaan katalis 0% Mo/NZA; 0,5% Mo/NZA; 1% Mo/NZA dan 1,5% Mo/NZA berturut-turut adalah 57,12%; 62,44%; 64,19%; dan 66,66%. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa pengembanan logam Mo mempengaruhi perolehan *yield* yang dihasilkan pada proses pirolisis. Hal ini dapat dilihat dari *yield bio-oil* yang dihasilkan. *Yield bio-oil* optimum diperoleh pada pengembanan logam Mo sebesar 1,5 % terhadap NZA yaitu sebesar 66,66 %. Pengembanan logam Mo ke dalam NZA akan meningkatkan luas permukaan dari NZA, sehingga aktivitas dari katalis Mo/NZA akan semakin meningkat bila dibandingkan dengan tanpa pengembanan logam (Hutabarat, 2012).

Dari gambar 2 diketahui bahwa *Yield bio-oil* yang dihasilkan pada proses pirolisis dengan menggunakan berat katalis 5% b/b pada penggunaan katalis NZA; 0,5% Mo/NZA; 1% Mo/NZA dan 1,5% Mo/NZA berturut-turut adalah 58,75%; 62,62%; 64,90%; dan 66,79%. *Yield bio-oil* optimum diperoleh pada pengembanan logam Mo sebesar 1,5% terhadap NZA yaitu sebesar 66,79%. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pengembanan logam Mo mempengaruhi

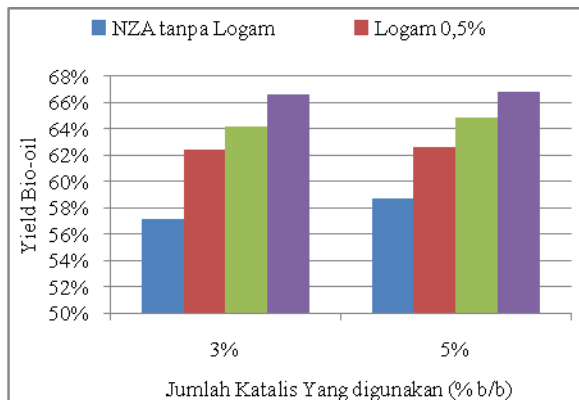
perolehan *yield* yang dihasilkan pada proses pirolisis.

Secara keseluruhan dari Gambar 1 Dan 2 dapat disimpulkan bahwa pengembanan logam Mo pada zeolit alam yang teraktivasi (NZA) memberikan perolehan *yield bio-oil* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pengembanan logam Mo. Dapat dilihat juga semakin besar kadar logam yang diembankan, maka *yield bio-oil* yang diperoleh juga semakin besar. Menurut Setiadi dan Pertiwi (2007), sistem katalis logam pengembanan dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari zeolit 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.

Setyawan dan Handoko (2002) menyampaikan bahwa tujuan dari impregnasi logam aktif ke permukaan 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. Semakin banyak logam terimpregnasi secara merata pada permukaan padatan diharapkan luas permukaan spesifik dari padatan akan semakin luas. Selain itu, adanya logam juga dapat meningkatkan keasaman katalis, dimana keasaman katalis yang tinggi dapat memberikan medium yang kondusif untuk proses katalitik. Oleh sebab itu, semakin besar kadar logam yang digunakan maka keasaman katalis akan semakin meningkat, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan juga semakin meningkat (Ginting dkk, 2007).

Dari Gambar 1 dan Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa, proses pirolisis kayu cemara dengan menggunakan katalis Mo/NZA 3% dan 5% b/b *yield* optimum didapat pada pengembanan logam Mo sebesar 1,5 % terhadap NZA. Pengaruh pengembanan logam Mo dan variasi berat katalis Mo/NZA terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Pengaruh Jumlah Katalis Mo/NZA terhadap *Yield Bio-oil*

Gambar 3 menunjukkan bahwa dari setiap variasi logam (0%; 0,5%; 1% dan 1,5%) Mo terhadap NZA, dengan berat katalis terhadap biomassa 3% dan 5% *yield bio-oil* yang dihasilkan yaitu, untuk Mo/NZA 3% *yield* nya sebesar 57,12%; 62,44%; 64,19% dan 66,66%. Sedangkan untuk Mo/NZA 5% *yield bio-oil* nya 58,75%; 62,62% ; 64,90%

dan 66,79%. Dapat dilihat bahwa, proses pirolisis kayu cemara dengan menggunakan katalis 3% dan 5% b/b, *yield bio-oil* terbesar dari masing-masing variasi didapat pada pengembanan logam Mo sebesar 1,5% terhadap NZA. Perolehan *yield bio-oil* optimum didapat pada pengembanan logam Mo/NZA 1,5% dengan berat katalis 5%, yakni sebesar 66,79%. Hal ini menunjukkan bahwa pengembanan logam Mo pada NZA dapat meningkatkan *yield* yang diperoleh.

Dapat disimpulkan bahwa dengan pengembanan logam Mo ke dalam NZA akan meningkatkan luas permukaan dari NZA, sehingga aktivitas dari katalis Mo/NZA akan semakin meningkat bila dibandingkan dengan tanpa pengembanan logam (Hutabarat, 2012).

3.1 Analisa Fisika *Bio-oil*

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

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

% Logam Mo	Rasio Katalis Mo/NZA terhadap Biomassa 3% (1,5 gr : 50 gr)			
	Densitas (gram/ml)	Viskositas (cP)	Titik Nyala (°C)	Angka Keasaman (mg NaOH/gr sampel)
0	1,020	3,08	46	53,25
0,5	0,946	3,11	51	59,08
1	1,003	2,85	50	71,67
1,5	1,010	2,83	49	52,43
% Logam Mo	Rasio Katalis Mo/NZA terhadap Biomassa 5% (2,5 gr : 50 gr)			
	Densitas (gram/ml)	Viskositas (cP)	Titik Nyala (°C)	Angka Keasaman (mg NaOH/gr sampel)
0	1,013	3,40	48	56,45
0,5	1,010	2,90	50	50,41
1	1,014	2,87	47	57,71
1,5	1,012	3,14	52	75,48

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/NZA sebanyak 5 % katalis yaitu densitas 1,012 gr/ml, viskositas 3,14 cP, angka keasaman 75,48 mg NaOH/gr sampel dan titik nyala 52 °C.

Hasil uji karakteristik *bio-oil* kayu cemara menggunakan katalis dengan kadar

logam Mo sebanyak 1,5 % terhadap zeolit dengan jumlah katalis 5 % sudah hampir mendekati karakteristik *conventional bio-oil* dan *diesel oil*. Perbandingan hasil karakterisasi fisika *bio-oil* dari kayu cemara dengan karakteristik fisika *conventional bio-oil* dan bahan bakar minyak berupa *diesel oil* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

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

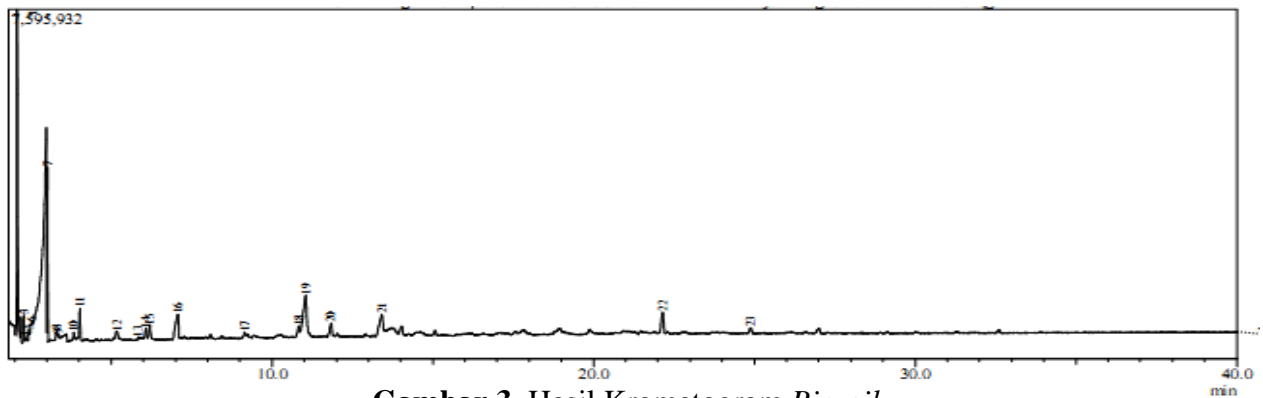
Parameter	<i>Bio-Oil</i> dari Kayu cemara Pada Penelitian ini (Bustamam)	<i>Conventional Bio-Oil</i> *	<i>Diesel Oil</i> **
Densitas (gr/ml)	1,012	0,94-1,2	0,81-0,89
Viskositas (cP)	3,14	8,13-150	1,3-24,0
Titik Nyala (°C)	52	48-55	38-55
Angka Keasaman (mg NaOH/gr sample)	75,48	102,9	42,6-45,6***

Sumber : * : Khor[2009]
 ** : *Smallwood* [2008]
 *** : Boundy dkk[2011]

3.2 Analisa Kimia *Bio-oil*

Dilakukan analisa kimia *bio-oil* berupa kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS) untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung di dalam *bio-oil*. *Bio-oil* yang dianalisa merupakan *bio-oil* dari variasi katalis yang menghasilkan yield

tertinggi, yaitu penggunaan katalis Mo/NZA dengan kadar logam Mo 0% , 0,5% , 1% , 1,5 % dengan variasi berat katalis 5% terhadap biomassa. Hasil kromatogram dari *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Hasil Kromatogram *Bio-oil*

Hasil analisa komponen dilakukan pada *bio-oil* dengan *yield* tertinggi yaitu sebesar 66,79 % pada jumlah katalis 5 % terhadap biomassa dengan kadar logam 1,5 % Mo/NZA. Komposisi 3 1,1'-bibicyclo(2.2.2)octyl-4-carboxylic acid dengan luas area 14,77%; 2-Propanone, 1-hydroxy- dengan luas area 51,57% ; 2-Propanone dengan luas area 0,8%. Diketahui bahwa katalis Mo/NZA sudah berperan dalam mengarahkan senyawa yang dihasilkan, yaitu menyerupai senyawa-senyawa kimia yang terkandung dalam minyak bumi.

IV. Kesimpulan

Kayu cemara dapat dikonversi menjadi *bio-oil* menggunakan katalis Mo/NZA. Adanya variasi pengembunan logam Mo pada zeolit dan variasi jumlah katalis yang digunakan pada proses pirolisis kayu cemara terbukti mempengaruhi *yield bio-oil* yang diperoleh. Semakin besar kadar logam yang diembankan dan jumlah katalis yang digunakan, maka *yield bio-oil* yang diperoleh juga semakin besar. *Yield bio-oil* tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis sebanyak 5 % terhadap biomassa dan kadar logam 1,5 % Mo/NZA yaitu sebesar 66,79 % dengan hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* yaitu densitas 1,012 gr/ml, viskositas 3,14 cP, angka keasaman 75,48 mg NaOH/gr sampel dan titik nyala 52 °C serta 3 senyawa yang paling dominan yaitu 1,1'-bibicyclo(2.2.2)octyl-4-carboxylic acid dengan luas area 14,77%; 2-Propanone, 1-hydroxy- dengan luas area 51,57% ; 2-Propanone dengan luas area 0,8%.

Daftar Pustaka

Anindyawati, T., 2009. Prospek Enzim dan Limbah Lignoselulosa Untuk

Produksi Bioetanol. *Jurnal*. Pusat Penelitian Bioteknologi.

Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS). (2010). *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional*. Jakarta: BAPPENAS Printing Office.

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.

Ginting, A Br., S, Anggraini, S. Indaryani, dan R. Kriswarini. 2007. *Karakterisasi Komposisi Kimia, luas Permukaan Pori dan Sifat Termal dari Zeolit Bayah, Tasikmalaya dan Lampung*. Pusat teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN. Serpong

Hutabarat, B. 2012. Pirolisis Cangkang Sawit Menjadi Bio-oil dengan katalis Mo/NZA, *Skripsi*, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau.

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

Khor, K.H., K.H. Lim dan Z.A. Zainal, 2009, *Characteristic of Bio-Oil : A By-Product from Slow Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches*, University Sains Malaysia.

Morad.,A.,N.,M.,2006, *Process Design in Degumming and Bleaching of palm oil*, Centre of Lipids Engineering and Applied Research, University Teknologi Malaysia.

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.
*Preparasi Katalis Cr/Zeolit Melalui
Modifikasi Zeolit Alam.*
- Smallwod, 2008. *Hydroprocesing of
Pyrolysis Bio-oil to Fuel and
Chemical.* Pacific Northwest
National Laboratory U.S..
Departemant of Energy.