

Pirolisis Kayu Akasia (*Acacia Mangium*) menjadi *Bio-oil* Menggunakan Katalis Ni/NZA dengan Variasi Pengembangan Logam dan Rasio Katalis

Sari Rahma Yanti¹, Syaiful Bahri², Amun Amri²

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293
Ayiejza@yahoo.co.id

ABSTRACT

The problems that currently appear in Indonesia is the energy crisis, especially fuel oil (BBM). Fuel derived from crude oil (fossil fuel) that can not be updated, so the next few years is expected to be deprived community will fuel. To overcome these problems needed alternative energy sources is the use of renewable biomass into bio-oil. Bio-oil is produced from biomass through pyrolysis. The purpose of this research was determine the effect of the impregnation percentage of Ni metal and ratio of catalyst Ni/NZA on the yield of bio-oil and determine the physical and chemical characteristics of bio-oil. Pyrolysis using 50 grams acacia wood, 500 ml silinap and Ni/NZA catalyst with variations of the impregnation percentage of Ni metal 0%, 1%, 3%, 6% and the variation ratio of catalyst Ni/NZA 3%, 6% and 9% 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% and the ratio of catalyst 9% of the biomass amounted to 77,85%. Characteristics of bio-oil obtained were density 0,865 gr/ml, viscosity 1,621 cSt, acid number 88,115 mg NaOH/gr sample, and the flash point 43°C. The results of GC-MS analysis, the dominant chemical components in the bio-oil were 1,3-Pentadiene, 2,4-Dimethyl (1,591%), 3-Octyne, 7-methyl (1,591%), 4-Nonene, 5-butyl (7,846%), Dodecane, 5,8-diethyl (3,531%) and 1-Tricosanol (7,158%).

Keywords: Bio-oil, pyrolysis, catalyst Ni/NZA, acacia wood

1. Pendahuluan

Ketersediaan Permasalahan yang saat ini muncul di Indonesia adalah krisis energi, terutama bahan bakar minyak (BBM). BBM berasal dari minyak bumi (*fossil fuel*) yang tidak dapat diperbaharui, sehingga beberapa tahun ke depan diperkirakan masyarakat akan mengalami kekurangan akan bahan bakar minyak. Cadangan minyak bumi hanya mencapai 700-800 ribu barel per hari. Padahal kebutuhan dalam negeri mencapai 1,3 juta barel per hari (BPH Migas, 2012). Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka dibutuhkan energi alternatif.

Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui adalah pemanfaatan biomassa menjadi *bio-oil*. *Bio-oil* merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti BBM. *Bio-oil* adalah bahan bakar cair berwarna gelap, berbau asap, dan di produksi dari biomassa

seperti dari kayu, kertas, ampas tebu, dan limbah pertanian lainnya. Pengembangan *bio-oil* sangat efektif digunakan sebagai pensubstitusi solar dan dapat menggantikan posisi bahan bakar hidrokarbon dalam industri, seperti untuk mesin pembakaran, boiler, mesin diesel statis, dan gas turbin.

Indonesia adalah negara yang cukup potensial untuk pengembangan *bio-oil*, karena bahan baku tanaman yang mengandung selulosa sangat melimpah, seperti jerami, kayu-kayuan, tongkol jagung, dan lain-lain. Salah satu kayu yang dapat diolah menjadi *bio-oil* adalah Akasia (*Acacia Mangium*). Akasia ialah tanaman yang cepat tumbuh, dan dapat tumbuh pada lahan tidak subur. Tanaman akasia ini dapat tumbuh dengan baik pada lahan yang mengalami erosi, berbatu, dan tanah alluvial serta tanah yang memiliki pH rendah (pH = 4,2). Tanaman akasia ini merupakan salah satu

spesies penting yang diusahakan dalam pembangunan hutan tanaman industri di Indonesia.

Tanaman akasia biasanya tumbuh pada daerah dengan curah hujan tahunan dengan variasi antara 1.000 mm/tahun sampai lebih dari 4.500 mm/tahun. Tinggi pohon akasia ini dapat mencapai 30 meter. Tanaman akasia ini tumbuh pada ketinggian antara 30-130 m dpl. Akasia membutuhkan sinar matahari, apabila mendapatkan naungan akan tumbuh kurang subur dengan bentuk tinggi dan kurus.

Untuk memproduksi *bio-oil* dari bahan baku pohon akasia, maka dilakukan dengan proses pirolisis. Pirolisis adalah dekomposisi termokimia untuk menghasilkan produk dan proses yang terjadi adalah tanpa menggunakan oksigen. Untuk mempercepat terjadinya reaksi maka diperlukan adanya katalis. Dimana, katalis yang banyak digunakan secara umum adalah katalis dalam bentuk logam pengemban, karena logam dapat terdispersi secara merata pada permukaan pengemban (Nugrahaningtyas *et al.*, 2008).

Zeolit alam yang keberadaannya di Indonesia cukup melimpah digunakan sebagai pengemban. Zeolit merupakan mineral yang tersusun dari kerangka silika-alumina tetrahedral secara tiga dimensi. Pada umumnya zeolit yang ditambang langsung dari alam masih mengandung pengotor-pengotor organik berwujud kristal maupun amorf. Oleh karena itu, zeolit alam perlu aktivasi dan dimodifikasi guna meningkatkan karakternya terutama aktivitas katalitiknya (Trisunaryanti *et al.*, 2005). Zeolit merupakan katalis yang cukup efektif digunakan pada proses *cracking*, *isomerization* dan *hydrocarbon alkylation*. Sebelum digunakan pada proses *cracking*, perlu dilakukan proses dealuminasi zeolit sehingga dihasilkan NZA (*Natural zeolit deAluminated*) atau zeolit alam aktif. Katalis yang digunakan pada penelitian ini Ni/NZA. Diharapkan menggunakan katalis Ni/NZA dapat mengoptimalkan proses pirolisis pada batang akasia.

2. Bahan dan Metodologi

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan yaitu kayu akasia (batang), zeolit alam, HCl 6 N, NH₄Cl 1 N, Ni(NO₃)₂.6H₂O, aquades, AgNO₃, gas N₂, O₂, dan H₂, NaOH 0,1 N, asam oksalat 0,2 N, indikator PP, dan silinap 280 M (*thermo-oil*).

Peralatan yang digunakan adalah lumpang porcelain, *crusher*, pengayak 100 dan 200 mesh, reaktor alas datar ukuran 1 L, satu set motor pengaduk, *oven*, *tube furnace*, timbangan analitik, tabung serta regulator gas N₂, O₂, dan H₂, reaktor pirolisis, kontrol temperatur, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur, kondensor, *heating mantle*, *thermocouple thermometer* (Barnant), buret, piknometer, corong, kertas saring, viskometer Oswald, gelas piala, pengaduk listrik (*Heidolph*), dan GC-MS (kromatografi gas-spektrometer massa).

Metode Penelitian

Pembuatan Katalis Ni/NZA

Tahap pertama yaitu pengecilan ukuran katalis zeolit dengan cara digerus dengan lumpang porcelain, kemudian diayak dengan ukuran ayakan -100+200 mesh.

Tahap berikutnya aktivasi zeolit dengan dengan cara refluks zeolit alam sebanyak 100 gram dalam larutan HCl 6 N sebanyak 500 ml selama 30 menit pada suhu 50°C sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar volume 1 liter, kemudian disaring dan dicuci berulang kali sampai tidak ada ion Cl⁻ yang terdeteksi oleh larutan AgNO₃ (terbentuk endapan putih), *cake* dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam dalam oven. Sampel tersebut kemudian direndam kembali dalam 500 ml larutan NH₄Cl 1 N pada temperatur 90°C sambil diaduk pada reaktor alas datar selama 3 jam perhari yang dilakukan sampai satu minggu. Sampel tersebut kemudian disaring dan dicuci, setelah itu dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110°C. Pada tahap ini didapat sampel yang dinamakan dengan sampel NZA (zeolit alam aktif).

Tahap selanjutnya dilakukan pengembanan (impregnasi) logam Ni dengan cara sampel NZA dicampur dengan 100 mL larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan direfluk pada suhu 90°C selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 L, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C , sehingga didapat sampel Ni/NZA.

Setelah itu dilakukan kalsinasi, oksidasi, dan reduksi dengan cara sampel katalis dimasukkan ke dalam *tube* yang sebelumnya telah diisi dengan *porcelain bed* sebagai *heat carry* 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 selama 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar ± 400 ml/menit, dilanjutkan dengan oksidasi 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.

Pembuatan Bio-oil

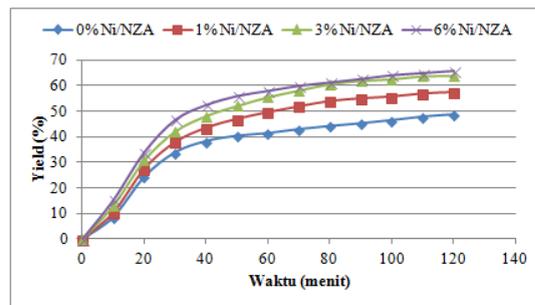
Tahap pertama biomassa berupa kayu akasia dipotong kecil-kecil lalu dijemur sampai kering di bawah terik matahari, kemudian dihaluskan menggunakan *crusher*. Biomassa tersebut kemudian diayak untuk memperoleh ukuran yang lolos ayakan $-100+200$ mesh.

Biomassa sebanyak 50 gram beserta 500 ml silinap dan katalis Ni/NZA 0% sebanyak 3% b/b biomassa, dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Proses pirolisis berlangsung pada suhu 320°C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen 1,35 ml/detik. Diaduk dengan pengaduk listrik (*heidolph*) pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama 2 jam. Perhitungan waktu dimulai dari tetesan pertama *bio-oil* yang keluar melalui kondensor dan diukur tiap 10 menit selama 120 menit. Selama waktu tertentu hingga tidak ada *bio-oil* yang menetes lagi. *Bio-oil* yang dihasilkan ditampung dalam gelas piala.

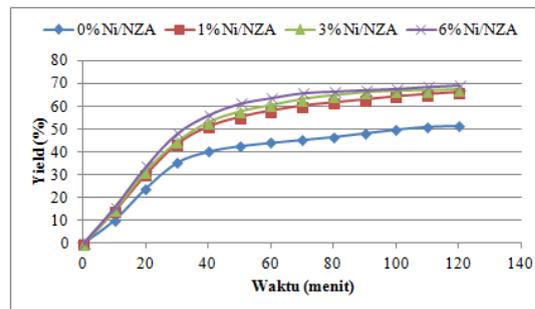
3. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Persentase Pengembanan Logam Ni pada Yield Bio-oil

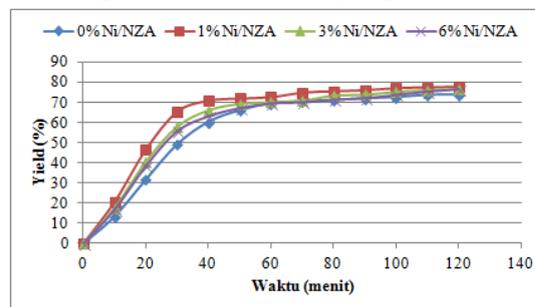
Pengaruh variasi persentase pengembanan logam Ni terhadap NZA dengan variasi rasio katalis 3%, 6%, dan 9% terhadap biomassa pada *yield bio-oil* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1, 2, dan 3 dibawah ini.



Gambar 1. Pengaruh variasi persentase pengembanan logam Ni dengan rasio katalis 3% terhadap biomassa pada *yield bio-oil* yang dihasilkan



Gambar 2. Pengaruh variasi persentase pengembanan logam Ni dengan rasio katalis 6% terhadap biomassa pada *yield bio-oil* yang dihasilkan



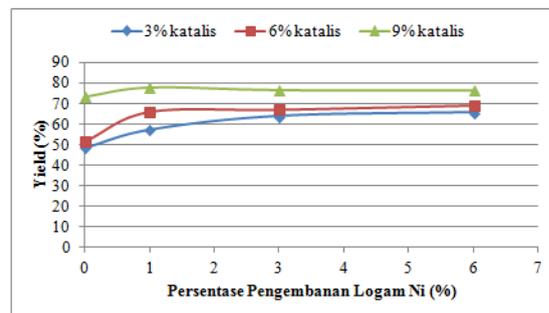
Gambar 3. Pengaruh variasi persentase pengembanan logam Ni dengan rasio katalis 9% terhadap biomassa pada *yield bio-oil* yang dihasilkan

Dari Gambar 1 dan 2 dapat dilihat bahwa pengembanan logam Ni mempengaruhi perolehan *yield bio-oil* yang dihasilkan pada proses pirolisis. Hal ini dapat dilihat dari *yield bio-oil* yang diperoleh, dimana *yield* yang diperoleh pada rasio katalis 3% terhadap biomassa dengan persentase pengembanan logam 0%, 1%, 3%, dan 6% Ni/NZA yaitu 48,664%; 57,354%; 63,96%; dan 65,728%. Sedangkan *yield* yang diperoleh pada rasio katalis 6% terhadap biomassa dengan persentase pengembanan logam 0%, 1%, 3%, dan 6% Ni/NZA yaitu 51,584%; 66,202%; 67,23%; dan 69,298%.

Akan tetapi, dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa *yield* yang dihasilkan pada persentase pengembanan logam 0% Ni/NZA dengan *yield* yang dihasilkan pada persentase pengembanan logam 1%, 3%, dan 6%, belum menunjukkan kenaikan yang signifikan. Dimana *yield* yang dihasilkan pada persentase pengembanan logam 0%, 1%, 3%, dan 6% yaitu 73,656%; 77,85%; 76,665%; dan 76,494%. Hal ini kemungkinan disebabkan karena banyaknya produk gas *non condensable* yang terbentuk, dimana pada saat proses perengkahan lebih banyak menghasilkan fraksi-fraksi hidrokarbon ringan yang tidak dapat dikondensasi. Pada variasi rasio katalis 9% terhadap biomassa juga dapat terlihat bahwa terjadi penurunan *yield bio-oil* yang dihasilkan pada persentase pengembanan logam 3% dan 6% Ni/NZA. Setyawan dan Handoko (2002) menyampaikan semakin tinggi konsentrasi Ni yang diimpregnasi, Ni yang terimpregnasi semakin besar (banyak), akan tetapi mengakibatkan luas permukaan spesifik menurun. Fenomena ini dapat dijelaskan bahwa pada konsentrasi Ni yang tinggi logam Ni yang terimpregnasi terakumulasi pada satu tempat dan menutup mulut pori dan saluran pori, sehingga jumlah Ni yang relatif banyak tidak meningkatkan luas permukaan spesifik dari suatu padatan (terjadi sintering).

Pengaruh Rasio Katalis Ni/NZA terhadap Biomassa pada *Yield Bio-oil*

Untuk mengetahui pengaruh dari rasio katalis Ni/NZA terhadap biomassa pada *yield bio-oil*, telah dilakukan proses pirolisis dengan variasi rasio katalis terhadap berat biomassa kayu akasia sebesar 3%, 6%, dan 9% b/b. Pengaruh rasio katalis Ni/NZA terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh rasio katalis Ni/NZA terhadap biomassa pada *yield bio-oil* pirolisis kayu akasia

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa variasi rasio katalis Ni/NZA mempengaruhi *yield bio-oil* yang dihasilkan. Adapun perolehan *yield bio-oil* optimum untuk masing-masing variasi persentase pengembanan logam 0%, 1%, 3%, dan 6% Ni/NZA pada penggunaan rasio katalis Ni/NZA 9% terhadap biomassa, yakni sebesar 73,65%, 77,85%, 76,66%, dan 76,49%. Dari Gambar 8 juga dapat dilihat bahwa *yield bio-oil* optimum terletak pada katalis 9% dengan logam 1% yaitu sebesar 77,85%.

Dapat dilihat pada Gambar 4 bahwa *yield bio-oil* akan meningkat dengan meningkatnya rasio katalis yang digunakan pada proses pirolisis. Hal ini sesuai dengan pernyataan Lestari (2010), bahwa dengan bertambahnya rasio katalis terhadap biomassa dengan ukuran partikel yang serupa (dalam hal ini -100+200 mesh), berarti bahwa jumlah pori pada katalis semakin meningkat sehingga luas permukaannya juga semakin besar.

Karakterisasi *Bio-oil*

Bio-oil yang sudah diperoleh selanjutnya dikarakterisasi dengan melakukan perhitungan *yield bio-oil*, analisa fisika berupa penentuan densitas, viskositas dan titik nyala. Serta analisa kimia berupa penentuan angka asam dan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*).

Hasil karakteristik *bio-oil* dari pirolisis kayu akasia (*Acacia Mangium*) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik *bio-oil* kayu akasia dengan menggunakan katalis Ni/NZA

Logam (%)	Katalis (%)	Yield	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Angka Asam (mg NaOH/gr sampel)	Titik Nyala (°C)
0	3	48,66	0,869	2,103	73,486	42
	6	51,58	0,806	1,998	92,521	42
	9	73,65	0,792	1,971	88,954	42
1	3	57,35	0,869	2,017	90,080	43
	6	66,20	0,838	1,918	88,988	43
	9	77,85	0,865	1,928	88,115	43
3	3	63,96	0,820	2,164	87,926	44
	6	67,23	0,830	2,103	94,809	43
	9	76,66	0,807	2,186	97,511	43
6	3	65,72	0,832	1,924	97,057	44
	6	69,29	0,841	1,967	84,751	44
	9	76,49	0,819	2,143	74,954	44

Nilai densitas *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 0,792-0,869 gr/ml. Dimana densitas tertinggi terletak pada persentase pengembunan logam 0% dan 1% Ni/NZA dengan rasio katalis 3% terhadap biomassa sebesar 0,869 gr/ml.

Viskositas yang tinggi pada *bio-oil* menyebabkannya sulit untuk mengalir dengan baik selama proses distribusi dan penyimpanannya. Nilai viskositas pada penelitian ini berkisar 1,918-2,186 cSt. Dimana nilai viskositas tertinggi pada persentase pengembunan logam 3% Ni/NZA dengan rasio katalis 9% terhadap biomassa sebesar 2,186 cSt.

Pengujian angka asam *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 73,486-97,511 mg NaOH/gr sampel. Disini dapat dilihat bahwa angka asam tertinggi terletak pada persentase pengembunan logam 3% Ni/NZA dengan rasio katalis 9% terhadap biomassa sebesar 97,511 mg NaOH/gr sampel. Semakin rendah angka asam berarti semakin baik kualitas *bio-oil*-nya.

Pengujian titik nyala *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 42-44°C. Titik nyala

tertinggi terletak pada persentase pengembunan logam 6% dengan berat katalis 9% terhadap biomassa yakni sebesar 44°C. Semakin rendah titik nyala berarti semakin mudah *bio-oil* tersebut untuk terbakar. Pada umumnya, nilai titik nyala yang sering diperoleh pada *bio-oil* ialah 64°C. Namun, titik nyala yang terlalu rendah juga dapat mempersulit penanganannya (Mohan *et al.*, 2006).

Dari Tabel 3 terlihat bahwa viskositas *bio-oil* dari pirolisis kayu akasia dengan menggunakan katalis Ni/NZA ternyata rendah dibandingkan dengan viskositas dari *bio-oil* konvensional. Hal ini berarti *bio-oil* dari kayu akasia lebih mudah dalam hal penyimpanan dan pendistribusiannya. Selain itu, juga terlihat bahwa viskositas *bio-oil* yang dihasilkan berada pada rentang viskositas *diesel oil*.

Tabel 3. Perbandingan karakteristik antara *bio-oil* dari kayu akasia dengan *bio-oil* konvensional dan *diesel oil*

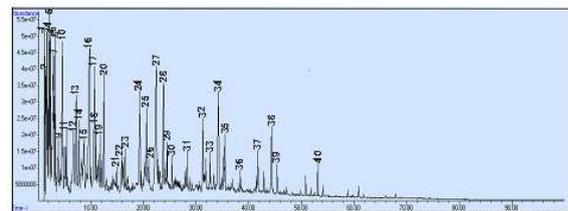
No	Parameter	<i>Bio-oil</i> dari Kayu Akasia	Conventional <i>Bio-oil</i> *	<i>Diesel Oil</i> **
1	Densitas (gr/ml)	0,865	1,1-1,4	0,81-0,89
2	Viskositas, pada 40°C (cSt)	1,928	15-35	1,3-24,0
3	Angka Asam (mg NaOH/ gr sampel)	88,115	102,9	42,6-45,6***
4	Titik Nyala (°C)	43	40-110	38-55

Keterangan: * : Khor, 2009

** : IARC monographs volume 45, 1989

*** : Boundy *et al*, 2011

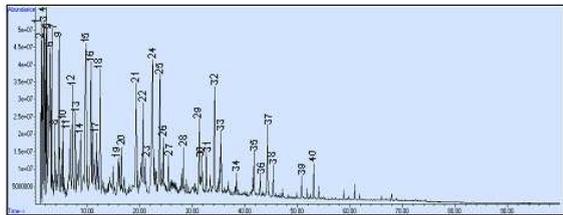
Hasil analisa komponen-komponen kimia *bio-oil* yang dilakukan dengan menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) dapat dilihat pada Gambar 5 sampai Gambar 8 berikut ini.



Gambar 5. Kromatogram *bio-oil* pada persentase pengembunan 0% Ni/NZA

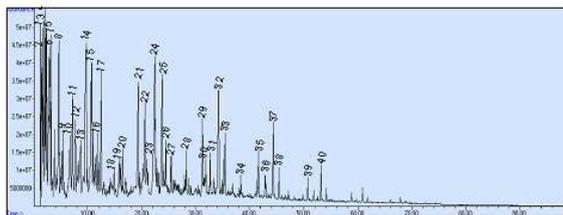
Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa penggunaan rasio katalis 0% Ni/NZA dapat mendekomposisi lignoselulosa yang terdapat

pada kayu akasia menjadi 40 senyawa kimia dengan 5 senyawa kimia yang paling dominan pada *bio-oil* adalah heptene (14,46%), cis-2-Ethyl-2-hexen-1-ol (6,632%), dodecane (11,259%), tricosanol (20,28%), dan oleic acid (6,489%).



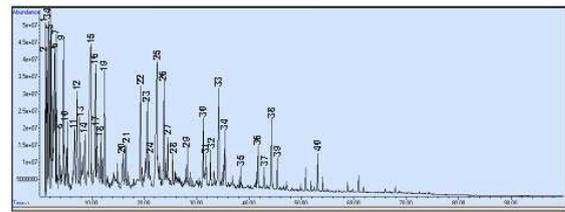
Gambar 6. Kromatogram *bio-oil* pada persentase pengembunan 1% Ni/NZA

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa penggunaan katalis 1% Ni/NZA dapat mendekomposisi lignoselulosa yang terdapat pada kayu akasia menjadi 40 senyawa kimia dengan 5 senyawa kimia yang paling dominan pada *bio-oil* adalah 1,3-Pentadiene,2,4-dimethyl (4,249%), 3-Octyne,7-methyl (6,591%), 4-Nonene,5-butyl (18,846%), Dodecane,5,8-diethyl (13,531%), dan 1-Tricosanol (16,158%).



Gambar 7. Kromatogram *bio-oil* pada persentase pengembunan 3% Ni/NZA

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa penggunaan katalis 3% Ni/NZA dapat mendekomposisi lignoselulosa yang terdapat pada kayu akasia menjadi 40 senyawa kimia dengan 5 senyawa kimia yang paling dominan pada *bio-oil* adalah 2-Pentene,4,4-dimethyl (12,693%), 1,1-Cyclohexane dimethanol (5,302%), 4-Pentylcyclohexanone (8,658%), Dodecane,5,8-diethyl (10,681%) dan 7-Heptadecene,1-chloro (7,524%).



Gambar 8. Kromatogram *bio-oil* pada persentase pengembunan 6% Ni/NZA

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa penggunaan katalis 6% Ni/NZA dapat mendekomposisi lignoselulosa yang terdapat pada kayu akasia menjadi 40 senyawa kimia dengan 5 senyawa kimia yang paling dominan pada *bio-oil* adalah 2-Pentene,4,4-dimethyl (11,075%), 4-Nonene,5-butyl (17,079%), 7-Heptadecene,1-chloro (14,311%), Dodecane,5,8-diethyl (20,558%) serta Triacotane,11,20-didecyl (6,495%).

Dari Gambar 9, 10, 11, dan 12 dapat dilihat bahwa adanya golongan hidrokarbon jenis parafin (alkana), olefin (alkena) dan naftena yang terdapat pada *bio-oil* dari kayu akasia. Dimana, golongan-golongan tersebut merupakan golongan utama penyusun minyak bumi (Putra, 2010).

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang di dapat dari penelitian ini adalah pengembunan logam ke dalam zeolit alam belum tentu dapat meningkatkan aktifitas katalitik dan *yield bio-oil* yang dihasilkan. Akan tetapi, semakin tinggi rasio katalis Ni/NZA terhadap biomassa, maka semakin besar *yield bio-oil* yang dihasilkan. *Yield bio-oil* tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis dengan persentase pengembunan logam 1% Ni/NZA pada rasio katalis 9% terhadap biomassa yakni 77,85%.

Daftar Pustaka

- Boundy, B., S.W. Diegel, L. Wright, dan S.C. Davis. 2011. Biomass energy Data Book (Edition 4). USA: U.S. Department of Energy.
- BPH Migas. 2012. Pembatasan konsumsi BBM bersubsidi, Media Informasi dan Komunikasi Industri Hilir Migas, Jakarta.

- IARC Monograph (Volume 45). 1989. Occupational Exposures in Petroleum Refining; Crude Oil and Major Petroleum Fuels. France: 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.
- 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.
- Mohan, D., Pittman, C. U., & Steel, P. H. 2006. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Journal Energy & Fuels*, 20, 848-889.
- Nugrahaningtyas, K.D., D.M. Widjonarko, W. Trisunaryanti, dan Triyono. 2008. Preparasi Dan Karakterisasi Katalis Bimetal Ni-Mo/Zeorlit Alam:1. Jurusan Kimia FMIPA, UNS. Surakarta.
- Putra, Z.A. 2010. Kilang Minyak Bumi. Malaysia : Universiti teknologi Petronas.
- Setyawan, D., Handoko, P. 2002. Preparasi katalis Cr/Zeorlit melalui modifikasi zeolit alam. *Jurnal Ilmu Dasar*, No. 1, Vol. 3.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., dan Sudiono, S. (2005). Preparasi modifikasi dan karakterisasi katalis Ni-Mo/Zeorlit alam dan Mo-Ni/Zeorlit alam. *Jurnal TEKNOIN*. Volume 10. No. 4.