

KONVERSI TERMAL KAYU KETAPANG (*TERMINALIA CATAPPA*) MENJADI *BIO-OIL* DENGAN TEKNOLOGI PIROLISIS MENGGUNAKAN KATALIS Ni/NZA

Arbhy Indera Ikhwansyah¹, Syaiful Bahri², Edy Saputra³

Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis

Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

*Email : iarbhy@yahoo.com

Availability of petroleum as a fuel that can not be updated further reduced by increasing the use of oil for human needs. For that we need to do a conversion innovation of energy that do not depend on fossil resources and can be renewable and have an output similar to that produced from fossil resources. One such innovation is the conversion of biomass derived from terminalia catappa wood to bio-oil. Bio-oil can be produced by pyrolysis of terminalia catappa wood with catalyst Ni/NZA. Objective this research to produce bio-oil from terminalia catappa wood as an alternative fuel, studying the effect of the weight ratio of the catalyst Ni/NZA to the biomass, studying the effect of metal impregnation Nickel (Ni) on Natural Zeolite deAluminated (NZA) and characterization of physical properties and chemical properties of bio-oil. Process pyrolysis was carried out at 320 °C, silinap 500 ml, 50 grams of biomass with + 100-200 mesh sieve size, variations in the catalyst Ni/NZA to the biomass of 2%; 4% and 6% by weight and Ni metal variation on Natural Zeolite deAluminated (NZA) of 0%; 1%; 1,5% and 2%. The results of this study produce bio-oil yields the largest on the use of the catalyst Ni/NZA 4% by weight of the metal content of 2% by 68,22%. Characterization of physical properties of bio-oil obtained in the form of density 0,806 g/ml, 7,591 cSt viscosity, acidity 74,078 mg NaOH/g sample, flash point 45,971 °C and calorific value 43,708 MJ/kg. While the characterization of the chemical properties of bio-oil using Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GCMS) obtained some dominant chemical components such as acetic acid and an area of 60,84%, 2-propanone with an area of 12,64%, 1,2-ethanediol with area of 8,60%, propionic acid and an area of 5,60% and methyl acetate and an area of 3,76%.

Keywords: *bio-oil, catalyst Ni/NZA, pyrolysis, terminalia catappa wood*

1. Pendahuluan

Ketersediaan minyak bumi sebagai bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui semakin berkurang dengan meningkatnya penggunaan minyak bumi untuk berbagai kebutuhan manusia. Cadangan minyak bumi yang terbukti sebesar 3,74 miliar barel dan 3,66 miliar barel yang potensial [Permana *et al.*, 2013]. Sampai akhir tahun 2013 produksi minyak bumi rata-rata 830 ribu barel per hari dan tanpa menemukan cadangan baru, maka cadangan minyak bumi Indonesia habis dalam 12 tahun. Melihat penurunan produksi minyak bumi dari akhir 2011 hingga akhir 2013 tersebut

maka diperlukannya suatu inovasi konversi energi yang tidak bergantung pada sumber daya fosil dan dapat terbaharui serta memiliki *output* yang serupa dengan yang dihasilkan dari sumber daya fosil.

Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui adalah *bio-oil*. Bahan baku untuk membuat *bio-oil* adalah biomassa yang dapat diperoleh dari limbah pertanian, industri dan rumah tangga. Indonesia mempunyai biomassa yang berlimpah, kira-kira 250 milyar ton/tahun yang dihasilkan dari biomassa hutan dan limbah pertanian [Detrina *et al.*, 2006].

Salah satu kayu potensial yang dapat digunakan tersebut ialah kayu ketapang (*Terminalia catappa*). Kayu ketapang (*Terminalia catappa*) ialah tumbuhan pohon yang secara alami tersebar di daerah-daerah tropis dan subtropis di sepanjang tepi pantainya [Thomson dan Evans, 2006].

Proses yang digunakan dalam memproduksi *bio-oil* adalah *pyrolysis*. *Pyrolysis* merupakan proses dimana partikel-partikel bahan organik atau biomassa diberikan pemanasan secara cepat pada suhu antara 450-600 °C tanpa adanya kandungan oksigen dalam proses. Dari proses tersebut diperoleh uap organik, gas dan arang. Uap organik dikondensasikan menjadi *bio-oil* dengan hasil mencapai 68% berat dari umpan yang dimasukkan [Goyal *et al.*, 2006].

Untuk mempercepat terjadinya reaksi pada proses *pyrolysis*, maka diperlukan adanya katalis. Sebagai pengemban dipilih zeolit alam yang keberadaannya di Indonesia cukup melimpah. Namun, pemanfaatan zeolit alam tersebut di bidang industri belum optimal, sehingga perlu dilakukan upaya-upaya untuk meningkatkan nilai ekonomi dari bahan tersebut [Rosdiana, 2006]. Salah satu potensi dari zeolit alam ialah sebagai katalis [Trisunaryanti *et al.*, 2005].

Pada penelitian ini akan dilakukan *pyrolysis* kayu ketapang (*Terminalia catappa*) menjadi *bio-oil* menggunakan katalis Ni/NZA. Kadar logam yang diimbangkan yaitu 0%; 1%; 1,5% dan 2% terhadap NZA, sedangkan berat katalis Ni/NZA terhadap biomassa 2%; 4% dan 6%.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini biomassa yang digunakan sebanyak 50 gram, ukuran ayakan biomassa dan zeolit -100+200 *mesh*, temperatur pirolisis 320 °C, waktu pirolisis 120 menit, kecepatan pengadukan 300 rpm, silinap 280 M sebanyak 500 ml. Variasi persentase berat logam Ni terhadap katalis NZA adalah 0%; 1%; 1,5% dan 2%

sedangkan variasi persentase berat katalis Ni/NZA terhadap biomassa 2%, 4% dan 6%.

Zeolit alam digerus dalam lumpang porselein, kemudian diayak dengan ukuran -100+200 *mesh* dengan ketentuan zeolit alam yang diambil merupakan zeolit alam yang lolos pada pengayak 100 *mesh* dan tertahan pada ayakan 200 *mesh*. Selanjutnya dilakukan proses dealuminasi zeolit alam dengan larutan HCl 6 N dan NH₄Cl 1 N. 200 gram zeolit alam direfluks dalam 1000 ml larutan HCl 6 N selama 30 menit pada suhu 50 °C sambil diaduk pada reaktor alas datar, kemudian disaring dan dicuci sampai tidak ada ion Cl⁻ yang terdeteksi oleh larutan AgNO₃, setelah itu *cake* dikeringkan pada suhu 110 °C selama 3 jam. Sampel tersebut kemudian direndam kembali dalam 1000 ml larutan NH₄Cl 1 N pada temperatur 90 °C sambil diaduk pada reaktor alas datar selama 3 jam perhari selama satu minggu. Sampel tersebut kemudian disaring dan dicuci setelah itu dikeringkan selama 24 jam pada suhu 110 °C.

Tahap berikutnya dilakukan impregnasi logam Ni sebesar 0%; 1%; 1,5% dan 2% dari berat NZA. Proses dimulai dengan melarutkan sampel NZA ke dalam 100 ml Ni(NO₃)₂.6H₂O dan direfluks pada suhu 90 °C selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar. Setelah waktu tercapai, kemudian larutan di uapkan pada suhu 110 °C untuk menghilangkan air. Pada tahap ini didapat katalis Ni/NZA sesuai dengan persentase berat logam.

Selanjutnya katalis Ni/NZA diaktivasi dengan melakukan proses-proses kalsinasi, oksidasi, dan reduksi. Sampel katalis dimasukkan ke dalam *tube* sebanyak 40 gram. *Tube* di isi 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 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.

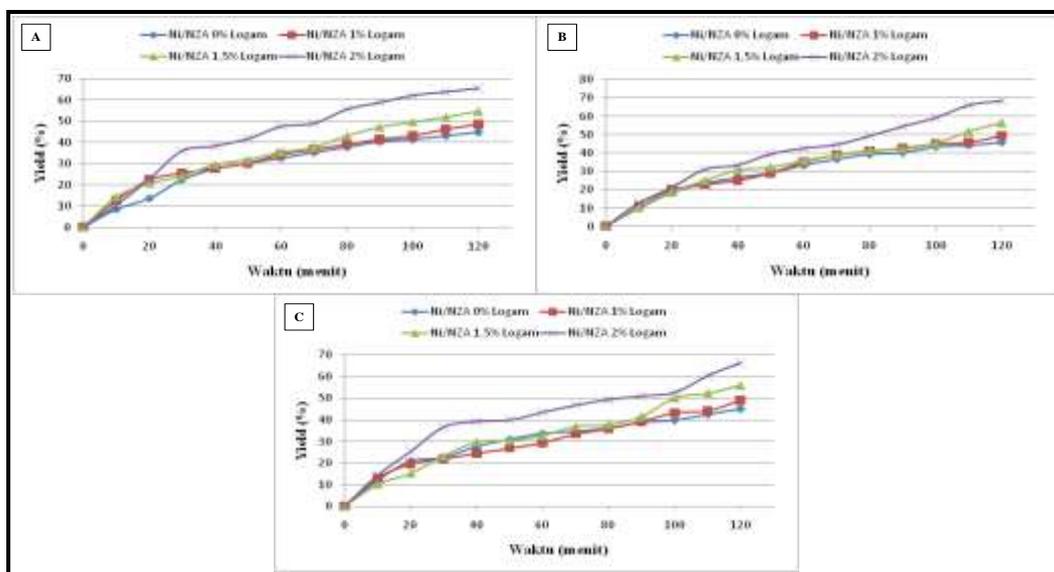
Biomassa kayu ketapang dipotong lalu dijemur di bawah terik matahari, kemudian dihaluskan menggunakan *crusher* untuk selanjutnya dikeringkan kembali di bawah terik matahari. Biomassa tersebut kemudian diayak untuk memperoleh ukuran yang lolos ayakan - 100+200 *mesh*. Selanjutnya biomassa berupa kayu ketapang yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermo-oil* (silinap) dan katalis Ni/NZA dimasukkan kedalam reaktor pirolisis. Pirolisis dilakukan pada suhu 320 °C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen dengan laju alir 80 ml/menit. Diaduk dengan pengaduk listrik pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama 2 jam. Uap organik yang terbentuk akan di

kondensasi menggunakan kondensor sehingga dihasilkan *bio-oil*, selanjutnya produk *bio-oil* tersebut ditampung dalam gelas ukur.

3. Hasil dan Pembahasan

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

Impregnasi logam Nikel (Ni) terhadap *natural zeolite dealuminated* (NZA) mempengaruhi *yield bio-oil* yang di dapat dari proses pirolisis kayu ketapang (*Terminalia catappa*). Proses pirolisis ini dilakukan pada suhu 320 °C dan pengambilan *bio-oil* dilakukan pada rentang waktu 10 menit selama 2 jam. Proses pirolisis dilakukan dengan variasi kadar logam Nikel (Ni) 0%; 1%; 1,5% dan 2% pada katalis Ni/NZA. Selain itu berat katalis Ni/NZA terhadap biomassa yang digunakan juga di variasikan sebesar 2%; 4% dan 6% berat.



Gambar 3.1 Pengaruh Kadar Logam Nikel (Ni) pada Katalis Ni/NZA Terhadap Yield Bio-oil pada Variasi Berat Katalis Terhadap Biomassa 2% (A), 4% (B) dan 6% (C)

Terlihat pada Gambar 3.1 dapat di simpulkan bahwa semakin banyak kadar logam yang di impregnasikan ke dalam katalis NZA maka *yield bio-oil* yang dihasilkan akan semakin besar pula. Anugra [2010] menyatakan bahwa

semakin banyak logam Nikel (Ni) yang di impregnasikan maka perolehan *yield bio-oil* yang di dapat akan semakin banyak pula. Hal ini di sebabkan karena semakin banyak logam yang terdapat pada permukaan katalis NZA maka akan

meningkatkan luas permukaan katalis tersebut. Luas permukaan katalis akan mempengaruhi aktivitas katalis, semakin luas permukaan suatu katalis maka fasa aktifnya semakin banyak sehingga akan meningkatkan aktivitas produk. *Yield bio-*

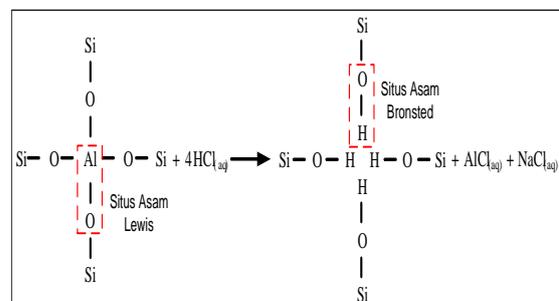
Luas permukaan yang relatif besar pada katalis Ni/NZA dengan kadar logam 2% disebabkan oleh keberadaan logam Nikel (Ni) pada permukaan katalis terdispersi secara merata. Setyawan dan Handoko [2002] menjelaskan bahwa logam aktif yang terimpregnasi pada permukaan pengemban sangat mempengaruhi luas permukaan pengemban. Dengan luas permukaan katalis Ni/NZA yang semakin besar maka kontak antara katalis dengan reaktan akan semakin maksimal, sehingga produk yang terbentuk akan semakin banyak, dalam hal ini *yield bio-oil* mulai mengalami kenaikan yang signifikan pada penggunaan katalis Ni/NZA dengan kadar logam 2%. Secara keseluruhan *yield bio-oil* terbanyak dihasilkan pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam Nikel (Ni) 2% sebesar 68,22%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak logam aktif yang di impregnasikan maka luas permukaan dari katalis akan semakin besar, dengan semakin besarnya luas permukaan katalis maka aktifitas katalis tersebut akan semakin meningkat dan produk yang dihasilkan akan semakin banyak.

3.2 Pengaruh Perlakuan Dealuminasi Menggunakan Larutan HCl dan NH₄Cl Terhadap Aktifitas Katalitik Katalis Ni/NZA

Perendaman zeolit dengan HCl menyebabkan turunnya jumlah Al dalam zeolit. Al sendiri merupakan situs asam Lewis, sehingga penurunan jumlah Al dalam zeolit juga berarti jumlah situs asam Lewis berkurang. Namun turunnya Jumlah situs Lewis tidak berarti keasamannya turun karena hal ini diimbangi dengan meningkatnya kekuatan asam dari situs Lewis tersebut.

oil tertinggi didapat pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 2% sebesar 68,22% dan *yield bio-oil* terendah didapat pada penggunaan katalis Ni/NZA 2% berat dengan kadar logam 0% sebesar 44,77%.

Ketika zeolit direndam dalam larutan HCl maka akan terjadi pertukaran ion antara ion H⁺ dari larutan HCl dengan kation-kation bebas pada zeolit sehingga situs Bronsted akan terbentuk. Pada dealuminasi, ion H⁺ yang dihasilkan dari reaksi penguraian HCl dalam medium air akan menguraikan ikatan atom Al yang berada pada *framework* zeolit. Ion H⁺ ini akan diserang oleh atom oksigen yang terikat pada Si dan Al. Berdasarkan harga energi disosiasi, ikatan Al-O (116 kkal/mol) jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi disosiasi ikatan Si-O (190 kkal/mol), maka ikatan Al-O jauh lebih mudah terurai dibandingkan Si-O. Sehingga ion H⁺ akan cenderung menyebabkan terjadinya pemutusan ikatan Al-O. Mekanisme berkurangnya situs asam Lewis dan pembentukan situs asam Bronsted pada penambahan HCl terlihat pada Gambar 3.2.



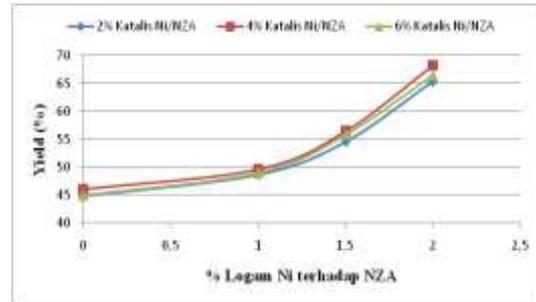
Gambar 3.2 Mekanisme Berkurangnya Situs Asam Lewis Dan Pembentukan Situs Asam Bronsted Pada Penambahan HCl

Selain dengan perendaman menggunakan larutan HCl, penambahan situs asam Bronsted juga dapat dilakukan dengan perendaman menggunakan larutan NH₄Cl. Lestari dan Triyono [2010] telah menjelaskan bahwa perendaman zeolit menggunakan larutan NH₄Cl akan menyebabkan terbentuknya situs asam Bronsted. Adanya larutan NH₄Cl akan

menyebabkan terjadinya pertukaran ion di mana kation-kation dalam zeolit diganti oleh ion amonium dari larutan NH_4Cl . Selanjutnya pada saat kalsinasi, ion amonium akan terurai menjadi ion H^+ dan gas H_2 . Gas NH_3 akan lepas sedangkan ion H^+ tetap berada dalam zeolit. Adanya pembentukan situs Bronsted pada zeolit setelah direndam dengan larutan NH_4Cl dan pengurangan situs asam Lewis akan menyebabkan keasaman zeolit meningkat [Lestari dan Triyono 2010]. Maka dengan perlakuan dealuminasi dengan menggunakan larutan HCl dan NH_4Cl aktifitas katalitik dari zeolit akan meningkat dan akan menghasilkan *yield bio-oil* yang tinggi.

3.3 Pengaruh Variasi Berat Katalis Ni/NZA Terhadap *Yield Bio-oil*

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa *yield bio-oil* yang didapat pada penggunaan katalis Ni/NZA 2% sampai 4% berat terhadap biomassa terus mengalami kenaikan. Sunarno *et al* [2013] menyatakan bahwa semakin besar konsentrasi katalis maka makin mudah terdekomposisinya selulosa pada bahan baku menjadi produk *bio-oil*. Semakin banyak katalis yang digunakan maka akan menambah luas permukaan katalis Ni/NZA yang digunakan. Namun pada penelitian ini, *yield bio-oil* yang dihasilkan pada penggunaan katalis Ni/NZA 6% berat mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penggunaan katalis Ni/NZA 6% berat akan menghasilkan fasa yang tidak terkondensasi lebih besar dari pada fasa yang terkondensasi. Hal ini terjadi karena adanya pemutusan rantai C-C dan C-H menjadi senyawa-senyawa lain dengan rantai yang lebih pendek [Aldrin, 2012].



Gambar 3.3 Pengaruh Berat Katalis Ni/NZA Terhadap Perolehan *Yield Bio-oil*

Secara keseluruhan semakin besar penggunaan katalis akan mempercepat reaksi dan *yield* produk yang dihasilkan semakin besar, tetapi pada penggunaan katalis Ni/NZA 6% berat menyebabkan *yield bio-oil* yang dihasilkan lebih sedikit dari pada *yield* produk gas yang tidak dapat dikondensasikan. Sunarno [2013] menjelaskan bahwa penurunan *yield bio-oil* dapat disebabkan karena kelebihan jumlah katalis yang mengakibatkan reaksi pemutusan ikatan C-C dan C-H oleh logam Nikel (Ni) terjadi secara berlebihan (kecepatan reaksi tinggi). Semakin tinggi logam Nikel (Ni) akan menyebabkan semakin banyak ikatan C-C dan C-H yang diputus dan menyebabkan semakin banyak pula 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 tidak dapat di kondensasikan semakin besar. Katalis Ni/NZA 4% berat terhadap biomassa dengan kadar logam 2% merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan *yield bio-oil* terbesar pada penelitian ini. Meskipun pada penggunaan berat katalis Ni/NZA 6% mengalami penurunan *yield bio-oil*, namun *yield* yang di peroleh tetap lebih besar daripada penggunaan katalis Ni/NZA 2% berat. Teori yang diungkapkan Sunarno *et al* [2013] yang menyatakan bahwa semakin banyak jumlah katalis yang digunakan akan menghasilkan *yield bio-oil* yang semakin banyak tetap terbukti, tetapi karena jumlah katalis yang digunakan semakin banyak maka jumlah akumulasi

logam Nikel (Ni) akan semakin banyak pula, hal ini yang menyebabkan lebih banyak gas dengan rantai pendek yang terbentuk.

3.4 Karakterisasi *Bio-oil*

3.4.1 Analisa Fisika *Bio-oil*

Karakterisasi sifat fisika yang dilakukan meliputi penentuan massa jenis, viskositas, titik nyala, angka keasaman dan nilai kalor. Data Hasil perbandingan karakterisasi sifat fisika *bio-oil* kayu ketapang (*Terminalia catappa*) dengan *bio-oil standard* terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perbandingan Karakteristik Fisika *Bio-oil* yang Berasal dari Kayu Ketapang (*Terminalia catappa*) dengan *Bio-oil Standard*

Parameter	<i>Bio-oil</i> dari Kayu Ketapang	<i>Bio-oil Standard</i>
Densitas (gram/ml)	0,806	0,94 - 1,21*
Viskositas (cSt)	7,591	15 – 35***
Titik Nyala (°C)	45,917	45 – 100*
Angka Keasaman (mg NaOH/gram sampel)	74,078	35,1 – 50*
Nilai Kalor (MJ/kg)	22,3	16,5 - 17,5**

Keterangan : * : Mohan [2006]
 ** : Smallwaood [2008]
 *** : Lehto et al [2013]

Di lihat secara keseluruhan, densitas dan viskositas *bio-oil* yang dihasilkan lebih rendah dari *bio-oil standard*. Hal ini lebih baik karena akan memudahkan dalam penyimpanan dan pendistribusian *bio-oil* yang hasilkan. Tetapi untuk angka keasaman *bio-oil* yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan *bio-oil standard*, ini menandakan bahwa *bio-oil* yang dihasilkan banyak mengandung senyawa asam dan akan menyebabkan

korosi pada bahan penyimpanan ataupun pendistribusian berupa *carbon steel*. Untuk itu disarankan media penyimpanan dan pendistribusian menggunakan bahan *stenlees steel* dan bahan polimer yang berasal dari olefin [Mohan *et al.*, 2006]. Titik nyala *bio-oil* yang dihasilkan berada pada *renge bio-oil standard* yaitu 45-100 °C. *Bio-oil* dengan titik nyala terlalu rendah akan menyulitkan dalam hal penyimpanan karena akan semakin mudah terbakar, sedangkan *bio-oil* dengan titik nyala terlalu tinggi justru kurang baik jika digunakan sebagai bahan bakar. Secara keseluruhan *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis kayu ketapang (*Terminalia catappa*) berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai bahan bakar alternatif dengan beberapa treatment tambahan untuk memperbaiki sifat fisiknya.

Dari Tabel 3.2 terlihat bahwa karakteristik sifat fisika *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini tidak jauh *bio-oil standard*. Dengan demikian maka *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis kayu ketapang (*Terminalia catappa*) sangat potensial dikembangkan sebagai sumber bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar yang berasal dari sumber daya fosil.

3.4.2 Analisa Kimia *Bio-oil*

Analisa kimia *bio-oil* pada penelitian ini menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). *Bio-oil* yang di analisa adalah variasi dengan *yield bio-oil* tertinggi, dalam hal ini penggunaan katalis Ni/NZA dengan kadar logam 2% adalah yang menghasilkan *yield* tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya, baik pada penggunaan 2% berat, 4% berat dan 6% berat. Untuk itu dilakukan analisa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung pada *bio-oil*. Selain itu, *bio-oil* yang dihasilkan pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 0% juga dilakukan analisa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry*

(GC-MS) untuk melihat efek penggunaan logam pada katalis.

Senyawa hasil dekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terkandung di dalam *bio-oil* pada penggunaan katalis katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 2%. 5 senyawa dominan yang terkandung adalah asam asetat dengan luas area 60,84%, 2-propanon dengan luas area 12,64%, 1,2-etanadiol dengan luas area 8,60%, asam propionat dengan luas area 5,60% dan metil asetat dengan luas area 3,76%.

BTG [2003] mengungkapkan bahwa *bio-oil* dengan kandungan fenol lebih dari 50% maka akan sangat baik jika digunakan sebagai bahan bakar. Namun pada penelitian ini, secara keseluruhan senyawa fenol tidak ditemukan baik pada *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis menggunakan katalis tanpa logam maupun katalis dengan logam. Hal ini dikarenakan suhu pirolisis yang digunakan adalah 320 °C dan sebagian besar lignin di dalam biomassa kayu ketapang (*Terminalia catappa*) belum terdekomposisi. De wild [2011] telah menjelaskan bahwa pembentukan senyawa fenol merupakan hasil dekomposisi lignin di dalam biomassa pada rentang suhu 400-500 °C.

4. Kesimpulan

Konversi termal kayu ketapang (*Terminalia catappa*) dengan teknologi pirolisis dengan menggunakan katalis Ni/NZA dapat menghasilkan *bio-oil* yang bisa digunakan sebagai energi alternatif.

Semakin banyak katalis Ni/NZA yang digunakan dalam proses pirolisis akan menghasilkan *yield bio-oil* yang semakin tinggi. Tetapi pada penelitian ini penggunaan katalis Ni/NZA 6% berat mengalami penurunan *yield bio-oil*. *Yield bio-oil* tertinggi di dapat pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat.

Dealuminasi dan impregnasi logam Nikel (Ni) yang dilakukan pada zeolit alam meningkatkan keasaman katalis. Semakin tinggi kadar logam Nikel (Ni) yang di impregnasikan pada zeolit alam maka akan

menghasilkan *yield bio-oil* yang semakin tinggi. *Yield bio-oil* tertinggi dihasilkan pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 2% sebesar 68,22%. Sedangkan *yield bio-oil* terendah dihasilkan pada penggunaan katalis Ni/NZA 2% berat dengan kadar logam 0% sebesar 44,77%.

Karakteristik fisika rata-rata *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini adalah densitas 0,806 gram/ml, viskositas 7,591 cSt, angka keasaman 74,078 mg NaOH/gram sampel, titik nyala 45,92 °C dan nilai kalor 43,708 MJ/kg. Senyawa dominan yang terkandung di dalam *bio-oil* pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 2% adalah asam asetat, 2-propanon, 1,2-etanadiol, asam propionat dan metil asetat.

Daftar Pustaka

- Aldrin, I. 2012. *Pirolisis Reject Pulp Menjadi Bio-oil Dengan Menggunakan Katalis Ni/NZA*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Riau.
- Anugra, R.D. 2010. *Efek Kandungan Logam Ni/Nza Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa Menjadi Bio-oil*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Riau.
- De Wild, P.J., Reith, H dan Heeres, H.J. 2011. *Biomass Pyrolysis for Chemicals*. Biofuels. 2 (2). 185 – 208. Chapter 1.
- Detrina, I., Yusnitawati, Syaiful, B. Dan Edy, S. 2006. *Kajian Bio-oil Dari Limbah Padat Sawit Dengan Metoda Fast Pyrolysis*. Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia.
- Goyal, H.B., Diptendu, S. Dan Saxena, R.C. 2006. *Bio-Fuels from Thermochemical Conversion Of Renewable Resources: A Review*. India Institute of petroleum. India.

- Lehto, J., Oasma, A., Solantausta, Y., Kyto, M. dan Chiaramonti, D. 2013. *Fuel Oil Quality and combustion of Fast Pyrolysis Bio-Oils*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Lestari, D.Y. dan Triyono. 2010. *Hidrogenasi Katalitik Metil Oleat Menggunakan Katalis Ni/Zeolit dan Reaktor Sistem Fixed Bed*. Jurusan Kimia. Universitas Gadjah Mada.
- Mohan, D., Charles, U.P. dan Philip, H.S. 2006. *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*. *Jurnal Energy and Fuels* 20: 848-889.
- Permana, A.D., Prima, Z., Ira, F., Nona, N., Erwin, S. dan Endang, S. 2013. *Outlook Energy Indonesia 2013*. Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE) dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Rosdiana, T. 2006. *Pencirian dan Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Alam Teraktivasi*. Skripsi Departemen Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. IPB. Bogor.
- Setyawan, D. Dan Handoko, P. 2002. *Preparasi Katalis Cr/Zeolit Melalui Modifikasi Zeolit Alam*. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 3 No.1 hal :15-23.
- Smallwod, 2008. *Hydroprocessing of Pyrolysis Bio-oil to Fuel and Chemical*. Pacific Northwest National Laboratory U.S.. Departemant of Energy.
- Sunarno dan Silvia, R.Y. 2013. *Pembuatan Zeolit Sintetis dan Aplikasinya Sebagai Katalis pada Cracking Cangkang Sawit Menjadi Bio-oil*. *Jurnal Teknobiologi*. IV(1) 2013: 35 – 39: ISSN : 2087 – 5428.
- 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., Endang, T. dan Sri, S. 2005. *Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam*. *Jurnal TEKNO IN* 10(4): 269-282.