

PIROLISIS KAYU PINUS (*PINE MERKUSII*) MENJADI *BIO-OIL* MENGGUNAKAN KATALIS NiMo/NZA

Irwan¹, Syaiful Bahri², Amun Amri³

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

¹Email : irwan0501ir@gmail.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 pine merkusii wood to bio-oil. Bio-oil can be produced by pyrolysis of pine merkusii wood with catalyst NiMo/NZA. Objective this research to produce bio-oil from pine merkusii wood as an alternative fuel, studying the effect of the weight ratio of the catalyst NiMo/NZA to the biomass, studying the effect of metal impregnation Nickel (Ni) and Molybdenum (Mo) 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 NiMo/NZA to the biomass of 3%; 5% and 7% by weight and Nickel-Molybdenum metal variation on NZA of 0%; 1%; 2% and 3%. The results of this study produce bio-oil yields the largest on the use of the catalyst NiMo/NZA 5% by weight of the metal content of 3% by 65,076%. Characterization of physical properties of bio-oil obtained in the form of density 0,986 g/ml, 15,816 cSt viscosity, acidity 36,879 mg NaOH/g sample, flash point 48 °C and calorific value 39,12 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 phenol (19,42%), toluene (13,48%), tetradecanoic acid (12,93%), phenol,2-methoxy (12,18%), acetone (11,72%), benzene,1,2-dimethoxy (9,30%), and 2-furancarboxaldehyde (3,76%).

Keywords: *bio-oil, catalyst NiMo/NZA, pine merkusii wood, pyrolysis*

1. Pendahuluan

Kebutuhan bahan bakar dewasa ini menjadi pokok permasalahan yang dihadapi oleh setiap negara termasuk Indonesia yang masih dikategorikan negara berkembang. Hal yang menjadi masalah utama bagi solusi terhadap kebutuhan bahan bakar minyak bumi adalah berkurangnya ketersediaan minyak bumi. Ketersediaan minyak bumi sebagai bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui semakin berkurang seiring dengan meningkatnya jumlah kebutuhan penggunaan bahan bakar tersebut. Pada tahun 2013, konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) sebanyak 70.000 juta KL

dengan jumlah produksi hanya mencapai 40.000 juta KL serta rata-rata pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor terus meningkat tiap tahun dan tidak sejalan dengan jumlah produksi minyak bumi yang dari tahun ke tahun terus mengalami penurunan (Pertamina, 2014). 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. Pada tahun 2015, potensi biomassa di Indonesia tercatat sebesar 32.654 MW dan baru sebesar 1.716,5 MW dikembangkan menjadi bioenergi. Pengembangan energi

terbarukan berbasis bioenergi dari biomassa baru sekitar 1.626 MW. Pengembangan energi terbarukan berbasis biomassa sangat berpotensi di daerah-daerah terpencil yang berasal dari limbah kehutanan, limbah pertanian, industri kelapa sawit, industri kertas, industri tapioka, dan industri lainnya (Kementerian ESDM, 2015). Salah satu kayu potensial yang dapat digunakan tersebut ialah kayu pinus (*Pine merkusii*). Kayu Pinus (*Pine merkusii*) selama ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku *pulp*, mebel, serta kayu bakar dimana sekitar 50,8 % dari jumlah total kayu yang digunakan tidak dimanfaatkan dengan baik (Kementerian Kehutanan, 2013).

Bio-oil dihasilkan melalui proses pirolisis. Pirolisis 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 70% berat dari umpan yang dimasukkan (Wang, 2011).

Pada proses pirolisis diperlukan katalis agar mempercepat terjadinya reaksi serta dilakukan pengembanan logam nikel dan molibdenum terhadap zeolit untuk memaksimalkan fungsi zeolit sebagai katalis. Zeolit alam dipilih sebagai katalis karena memiliki kemampuan yang baik sebagai dalam mempercepat terjadinya suatu reaksi serta 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 (Ikhwansyah, 2015). Pada penelitian ini dilakukan pirolisis kayu pinus (*Pine merkusii*) menjadi *bio-oil* menggunakan katalis NiMo/NZA. Kadar logam yang diembankan yaitu 0%; 1%; 2% dan 3% terhadap NZA, sedangkan berat katalis NiMo/NZA terhadap biomassa 3%; 5% dan 7%.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini biomassa yang digunakan sebanyak 50 gram, ukuran 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 Nikel (Ni) dan Molibdenum (Mo) terhadap katalis NZA adalah 0%; 1%; 2% dan 3% sedangkan variasi persentase berat katalis NiMo/NZA terhadap biomassa 3%, 5% dan 7%.

Pada tahapan prosesnya, Zeolit alam digerus dalam lumpang porselein kemudian diayak dengan ukuran -100+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 dan didapatlah katalis berupa (*Natural Zeolite Dealuminated*) NZA .

Tahap berikutnya dilakukan impregnasi logam Ni dan Mo sebesar 0%; 1%; 2% dan 3% dari berat NZA. Proses dimulai dengan melarutkan sampel NZA ke dalam 100 ml (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O (Molibdenum) 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 Mo/NZA sesuai dengan persentase berat logam. Selanjutnya katalis Mo/NZA dengan proses yang sama dimpregnasikan dengan logam (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O (Nikel). Setelah

impregnasi kedua logam maka dihasilkanlah katalis berupa NiMo/NZA. Katalis NiMo/NZA selanjutnya 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.

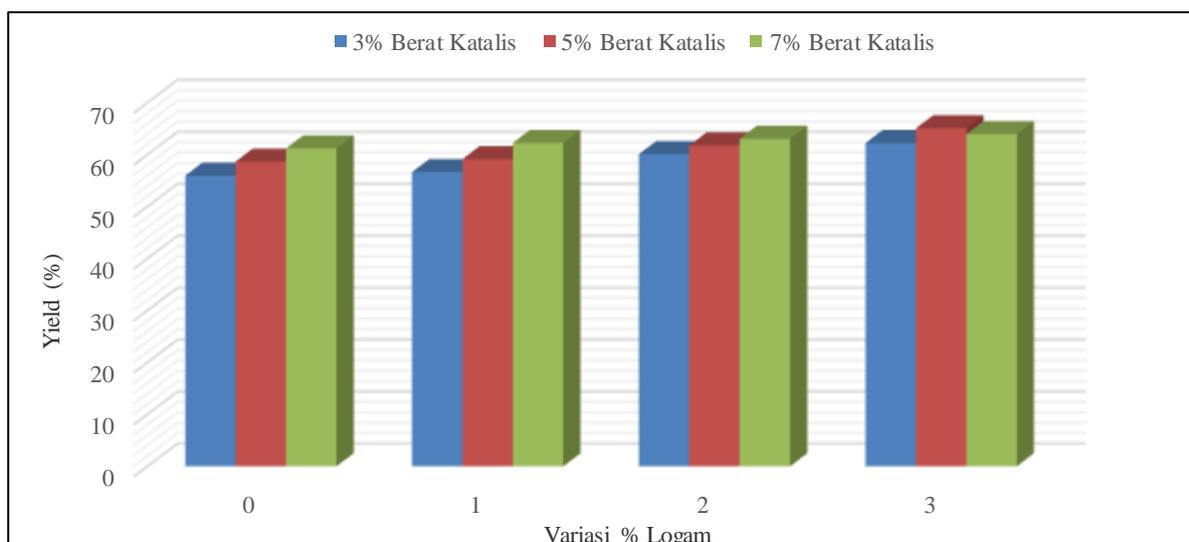
Biomassa kayu pinus dipotong lalu dijemur di bawah terik matahari, kemudian dihaluskan menggunakan *crusher* untuk selanjutnya dikeringkan kembali di bawah terik matahari. Biomassa tersebut kemudian diayak untuk memperoleh ukuran yang lolos ayakan -100+200 *mesh*. Selanjutnya biomassa berupa kayu pinus yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermo-oil* (silinap) dan katalis NiMo/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 Kadar Logam Nikel (Ni) dan Molibdenum (Mo) Pada Katalis NiMo/NZA Terhadap Yield Bio-oil

Impregnasi logam Nikel (Ni) dan Molibdenum (Mo) terhadap *natural zeolite dealuminated* (NZA) mempengaruhi *yield bio-oil* yang di dapat dari proses pirolisis kayu pinus (*Pine merkusii*). 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 Ni dan Mo 0%; 1%; 2% dan 3% pada katalis Ni/NZA. Selain itu berat katalis NiMo/NZA terhadap biomassa yang digunakan juga di variasikan sebesar 3%; 5% dan 7% berat.



Gambar 3.1 Pengaruh Kadar Logam NiMo/NZA Terhadap *Yield Bio-oil* dengan Variasi Berat Katalis

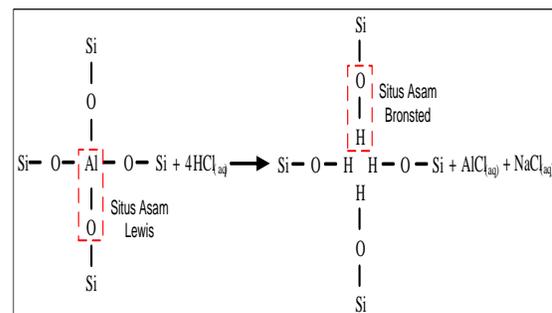
Gambar 3.1 menunjukkan bahwa semakin banyak kadar logam yang di impregnasikan ke dalam katalis NZA maka *yield bio-oil* yang dihasilkan akan semakin besar pula. Anugra (2010) menyatakan bahwa semakin banyak logam Nikel dan Molibdenum yang diimpregnasikan maka perolehan *yield bio-oil* yang di dapat akan semakin banyak pula. Hal ini disebabkan karena semakin banyak logam yang terdapat pada permukaan katalis NZA maka akan meningkatkan luas permukaan katalis tersebut. Luas permukaan katalis NiMo/NZA akan mempengaruhi aktivitas katalis, semakin luas permukaan suatu katalis maka fasa aktifnya semakin banyak sehingga akan meningkatkan aktivitas produk. *Yield bio-oil* tertinggi didapat pada penggunaan katalis NiMo/NZA 5% berat dengan kadar logam 3% sebesar 65,076%.

Luas permukaan yang relatif besar pada katalis NiMo/NZA disebabkan oleh keberadaan logam *bimetal* (nikel dan molibdenum) dibandingkan satu jenis logam. Indra (2010) menjelaskan bahwa logam aktif yang terimpregnasi pada permukaan pengembangan sangat mempengaruhi luas permukaan pengembangan. 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. 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

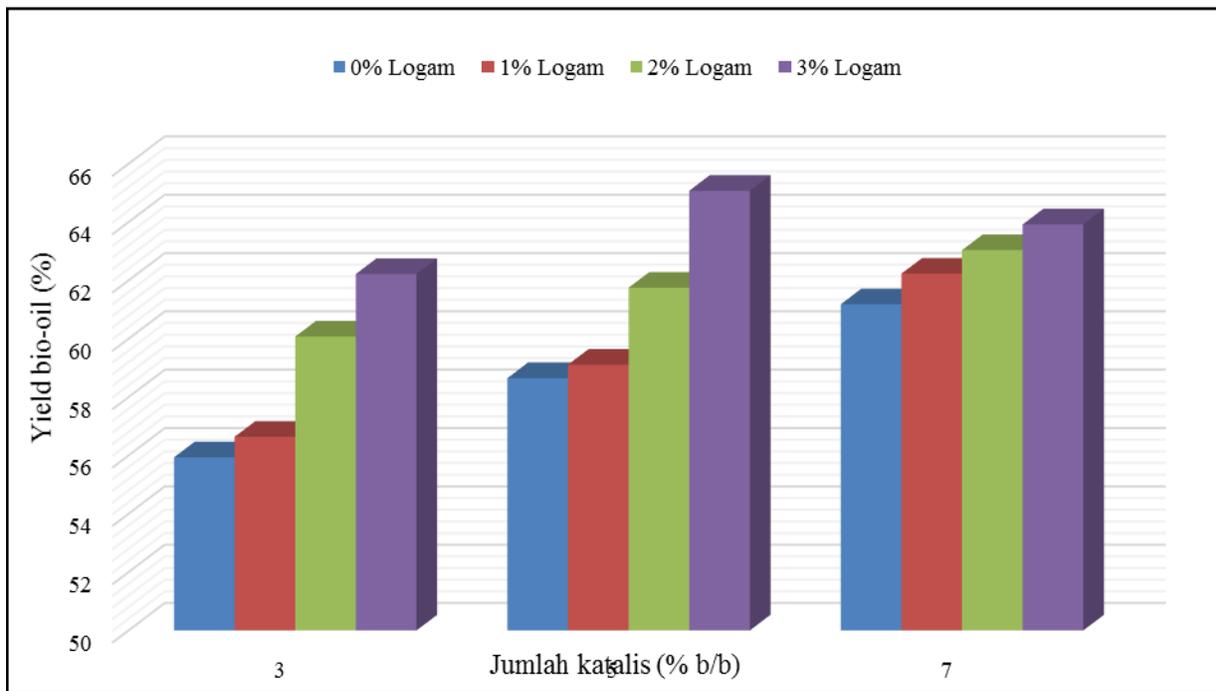
Kemudian zeolit yang direndam menggunakan larutan NH₄Cl akan menyebabkan terbentuknya situs asam Bronsted. Adanya larutan NH₄Cl akan menyebabkan terjadinya pertukaran ion di mana kation-kation dalam zeolit diganti oleh ion amonium dari larutan NH₄Cl. Selanjutnya pada saat kalsinasi, ion

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 (Ikwansyah,2015). 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 Berat Katalis NiMo/NZA Terhadap Yield Bio-oil

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa *yield bio-oil* yang didapat pada penggunaan katalis NiMo/NZA 3% sampai 5% berat selulosa pada bahan baku menjadi *bio-oil* tidak terbukti. Kenaikan signifikan hanya

terjadi pada penambahan 3% dan 5% berat NiMo/NZA terhadap biomassa terhadap biomassa terus mengalami kenaikan. Sunarno *et al* (2013) menyatakan bahwa semakin besar konsentrasi katalis maka makin mudah terdekomposisinya sedangkan pada penambahan 7% berat katalis terjadi penurunan. Pada penelitian ini, *yield bio-oil* yang di hasilkan pada penggunaan katalis NiMo/NZA 7% berat mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penggunaan katalis pada variasi berat 7% 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 NiMo/NZA Terhadap Yield Bio-oil

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa *yield bio-oil* yang didapat pada penggunaan katalis NiMo/NZA 3%; 5% dan 7% berat terhadap biomassa terus mengalami

kenaikan. *Yield* tertinggi didapat pada penggunaan katalis NiMo/NZA 5% berat terhadap biomassa dengan variasi logam 3% berat NZA.

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 pinus (*Pine merkusii*) dengan *bio-oil standard* terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perbandingan Karakteristik Fisika *Bio-oil* yang Berasal dari Kayu Pinus (*Pine merkusii*) dengan *Bio-oil Standard*

Parameter	<i>Bio-oil</i> Kayu Pinus	<i>Bio-oil</i> <i>Standard</i> *
Densitas (gram/ml)	0,986	0,94 - 1,21
Viskositas (cSt)	15,816	15 – 35
Titik Nyala (°C)	48	45 – 100
Angka Asam (mg NaOH/ gram sampel)	36,879	35,1 – 50
Nilai Kalor (MJ/kg)	39,12	16,5 - 17,5

Keterangan : * = Lehto [2013]

Tabel 3.1 menampilkan bahwa nilai densitas *bio-oil* dari kayu pinus berada dalam rentang nilai densitas *bio-oil standard*. Densitas *bio-oil* biasanya berada pada rentang 0,94 - 1,21 gram/ml dimana nilainya tergantung pada jenis biomassa serta kondisi proses pirolisis. Densitas *bio-oil* lebih besar dari pada *gasoline* ataupun *diesel oil* karena masih banyak memiliki kandungan air serta molekul-molekul yang terbentuk akibat dekomposisi hemiselulosa (Xu, 2012).

Nilai viskositas *bio-oil* kayu pinus berada dalam rentang viskositas *conventional bio-oil*, namun lebih besar dibandingkan nilai viskositas *diesel oil*. Viskositas *bio-oil* berada pada rentang 15 – 35 cSt dimana kadar air yang tinggi dapat mengurangi viskositas *bio-oil* tersebut (Smallwood, 2008). Tabel 3.1

menunjukkan kesimpulan 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 pinus (*Pine merkusii*) sangat potensial dikembangkan sebagai sumber bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar yang berasal dari sumber daya fosil.

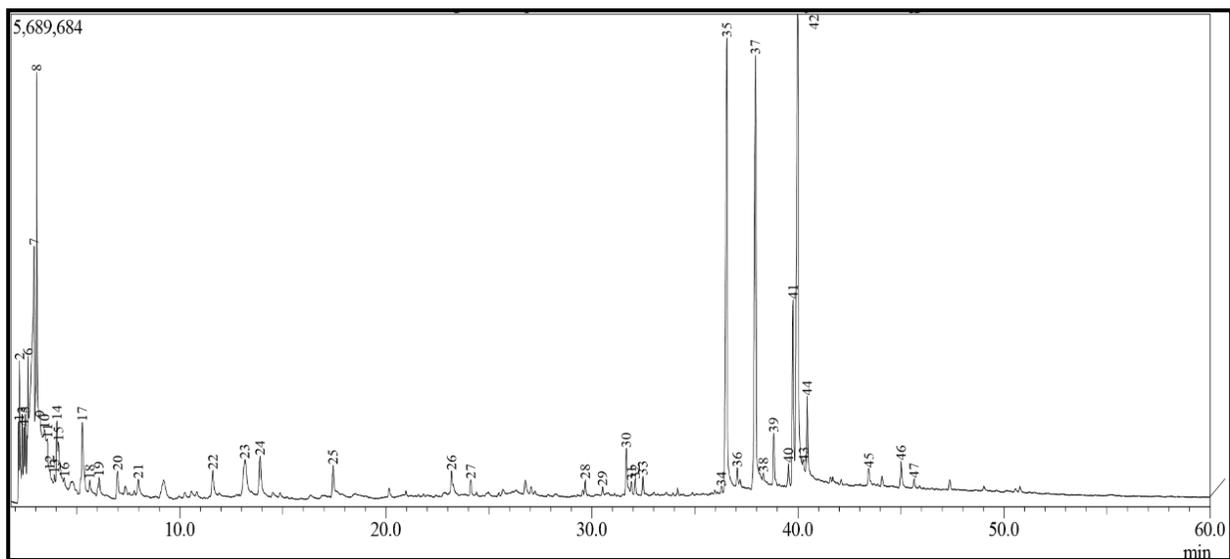
3.4.2 Analisa Kimia *Bio-oil*

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 NiMo/NZA dengan kadar logam 3% adalah yang menghasilkan *yield* tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya, baik pada penggunaan 3% berat, 5% berat dan 7% 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 NiMo/NZA 5% berat dengan kadar logam 0% juga dilakukan analisa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk melihat efek penggunaan logam pada katalis. Jumlah senyawa pada 0%, 1%, 2%, dan 3% logam adalah 112, 103, 52, dan 47 senyawa, dimana dengan bertambahnya jumlah variasi logam menunjukkan bahwa katalis bersifat selektif.

Senyawa-senyawa tersebut merupakan turunan fenol, asam, hidrokarbon, toluen, aldehyd dan alkohol. Selulosa dapat terdegradasi pada suhu 240°C-350°C, hal ini masih berada pada rentang suhu pirolisis. Dekomposisi selulosa menghasilkan levoglukosan, furfural, hidroksi-asetaldehyd, asetol, formaldehyd, dan *oligosugars*. Hemiselulosa terdekomposisi pada suhu 200°C-260°C, yang berarti bahwa senyawa ini lebih volatil dan lebih sedikit kandungan

tar dan char-nya dibandingkan dengan selulosa, dekomposisi hemiselulosa menghasilkan turunan asam dan furan. Menurut Xu (2012) menjelaskan bahwa *bio-oil* memiliki senyawa yang kompleks jadi sulit untuk dikarakterisasi secara sempurna, namun timbulnya puncak-puncak pada analisa GC-MS tersebut telah membuktikan bahwa proses pirolisis yang dilakukan dapat mendekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin dari kayu pinus. Berdasarkan hasil analisa kromatogram dari seluruh variasi

katalis (NiMo/NZA 5% berat biomassa dengan 0%; 1%; 2% dan 3% berat logam) terlihat bahwa semakin besar jumlah kandungan logam dalam katalis maka jumlah senyawa yang dihasilkan semakin selektif serta senyawa yang dihasilkan lebih spesifik dengan luas area yang cukup besar. Hasil kromatogram *bio-oil* pada pemakaian katalis 3% logam dengan 5% berat dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Hasil Kromatogram *Bio-oil* Menggunakan Katalis NiMo/NZA 5% berat terhadap biomassa dengan Kadar Logam 3%

4. Kesimpulan

Pirolisis kayu pinus (*Pine merkusii*) dengan menggunakan katalis NiMo/NZA dapat menghasilkan *bio-oil*. Semakin banyak katalis NiMo/NZA yang digunakan dalam proses pirolisis tidak selalu menghasilkan *yield bio-oil* yang semakin tinggi. Pada penelitian ini penggunaan katalis NiMo/NZA 7% berat mengalami penurunan *yield bio-oil*. *Yield bio-oil* tertinggi di dapat pada penggunaan katalis NiMo/NZA 5% berat. Dealuminasi dan impregnasi logam Nikel (Ni) dan Molibdenum (Mo) yang dilakukan pada zeolit dapat mengoptimalkan fungsi katalis.

Semakin tinggi kadar logam Ni dan Mo yang diimpregnasikan pada zeolit alam maka akan menghasilkan *yield bio-oil* lebih tinggi. *Yield bio-oil* tertinggi dihasilkan pada penggunaan katalis NiMo/NZA 5% berat dengan kadar logam 3% sebesar 65,076%. Sedangkan *yield bio-oil* terendah dihasilkan pada penggunaan katalis NiMo/NZA 3% berat dengan kadar logam 0% sebesar 55,936%. Karakteristik fisika rata-rata *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini sudah sesuai dengan standar *bio-oil*. Karakteristik tersebut antara lain adalah densitas 0,986 gram/ml, viskositas 15,816 cSt, angka keasaman 36,879 mg NaOH/gram sampel

serta titik nyala 48 °C. Senyawa dominan yang terkandung di dalam *bio-oil* pada penggunaan katalis NiMo/NZA 5% berat dengan kadar logam 3% adalah turunan golongan fenol, asam, hidrokarbon, toluen, keton, dan aldehyd.

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.
- 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.
- Ikhwansyah, A., I., . 2015. *Konversi Thermal Kayu Ketapang (Terminalia Cetappa)*, Skripsi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Indra, Y. 2010. *Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/NZA untuk Proses Catalytic Cracking Tandan Kosong Sawit Menjadi Bahan Bakar Cair*, Skripsi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- 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.
- Pertamina. 2014. *Realisasi Pemanfaatan Minyak dan Gas Bumi Tahun 2014*, Jurnal Mineral & Energi. Skk Migas, Jakarta.
- Smallwod, 2008. *Hydroprocessing of Pyrolysis Bio-oil to Fuel and Chemical*. Pacific Northwest National Laboratory U.S.. Departemant of Energy.
- Sunarno, Syaiful, B., M.I. Fermi dan R. Widiyanto. 2012. *Catalytic Cracking Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil dengan Katalis Ni/Zsm-5 dalam Reaktor Slurry*, Prosiding SNTK TOPI 2012. Pekanbaru. 11 Juli 2012: ISSN. 1907 – 0500.
- 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.
- Xu, C. & Lad, N. 2012. *Direct Liquefaction of Woody Biomass in Sub/Near-critical Water*, Energy & Fuels, 22(1), 635-642.