

PIROLISIS KULIT KAYU PINUS *MERKUSII* MENJADI BIO-OIL MENGGUNAKAN KATALIS Mo/LEMPUNG CENGAR

Inget Yester Yunanda, Syaiful Bahri, Edy Saputra

Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
yester.yunanda@yahoo.com

ABSTRACT

Increasing population and industrial activities in Indonesia caused the consumption of petroleum increased while petroleum reserves continue to decline, so is very important of searching for alternative energy sources instead of petroleum. the biomass of pine bark considered as waste that pollutes the environment it can be used as source of fuel to produce bio-oil by means of pyrolysis using catalyst Mo/ Clay. The purpose of this research is to make bio-oil from pine bark 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 pine of bark by the size of -60+80 mesh, 50 grams, 500 ml silinap and catalyst Mo / clay inserted into of pyrolysis reactor. This process conducted at a temperature 320°C and the stirring speed of 300 rpm operate for about 120 minutes by flowing nitrogen gas. For the optimum yields obtained at 1% catalyst Mo/clay as much as 9% of biomass that is equal to 68.46%. The test results physical properties obtained density of 0.78 g/ml, 1.77 cSt viscosity, acidity 25.79 mg NaOH /g sample and the flash point 54°C. Results of analysis compound chemical using GC-MS, obtained the dominant chemical components in the bio-oil is 2-Pentene 19.05%, 1-Pentene 9.88%, 8.72% Cyclohexane, Pentane 7.7% and Silane 3, 32%.

Keywords: biomass, bio-oil, catalyst mo/clay, pine bark, pyrolysis

1. Pendahuluan

Bahan bakar merupakan kebutuhan energi yang sangat penting. Hampir semua kegiatan yang dilakukan membutuhkan bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan selama ini berasal dari minyak mentah yang diambil dari perut bumi, sedangkan minyak bumi merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Kebanyakan masyarakat Indonesia masih menggunakan bahan bakar dari minyak bumi. Cadangan minyak bumi di Indonesia tidak akan lama lagi. Kontribusi minyak bumi terhadap kebutuhan energi nasional tinggal 20% pada Tahun 2025. Angka ini menurun drastis dibanding saat ini

yang mencapai 50,66% [ESDM, 2010]. Maka dari itu untuk mengatasi masalah defisit energi tersebut, berbagai inovasi energi alternatif yang dapat diperbaharui telah dikembangkan, seperti mengkonversikan biomassa menjadi *bio-oil* menggunakan proses pirolisis, [Anugra, 2011].

Kulit kayu pinus merupakan salah satu biomassa yang dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk menghasilkan *bio-oil*. Selama ini kulit kayu pinus hanya dianggap sebagai limbah yang mencemari lingkungan. Dahlia dan Hartoyo [1997] melaporkan hampir semua bagian pohon pinus dapat

dimanfaatkan, antara lain bagian batangnya dapat disadap untuk diambil getahnya. Lempung alam mempunyai cadangan yang cukup besar di daerah Riau. Di kabupaten Kuantan Singingi khususnya, lempung jenis kaolinit diperkirakan terdapat sekitar 62.500 m³ yang tersebar di daerah Air Buluh dan Desa Pangkalan [Bahri dkk, 2010]. Lempung alam sudah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, diantaranya sebagai adsorben, resin penukar ion, katalis, komposit, membran dan bahan pembuat keramik. Metal berpengemban lempung dapat dimanfaatkan sebagai katalis untuk menyempurnakan proses pirolisis kulit pinus menjadi *bio-oil*.

Pentingnya penelitian ini dikarenakan *bio-oil* merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. *Bio-oil* dapat digunakan untuk berbagai keperluan industri antara lain sebagai *combustion fuel* dan *power generation* untuk memproduksi bahan kimia serta dapat dicampur dengan minyak diesel sebagai bahan bakar. Berdasarkan data dari Hassan [2009] diketahui bahwa kandungan holoselulosa kulit kayu pinus cukup tinggi yakni 59,38%. Menurut Detrina [2006] semakin tinggi kandungan holoselulosa maka laju pembentukan produk akan semakin tinggi.

Salah satu teknologi proses yang dapat digunakan dalam pembuatan *bio-oil* yaitu pirolisis. Pirolisis merupakan suatu bentuk insinerasi yang menguraikan bahan organik secara kimia melalui pemanasan dengan mengalirkan nitrogen sebagai gas *inert*. Uap organik kemudian dikondensasikan menjadi cairan. Cairan hasil pirolisis dikenal sebagai *bio-oil* [Anugra, 2011]. Keunggulan lempung sebagai katalis yaitu memiliki struktur pori yang lebih besar dibandingkan zeolit, stabilitas termal tinggi, luas permukaan yang lebih besar dan aktivitas katalitik yang baik. Selain itu, keberadaan lempung di Indonesia sangat melimpah. Salah satu lempung yang

dapat digunakan adalah lempung Cengar yang diperoleh dari Desa Cengar, Kecamatan Kuantan Mudik, Kabupaten Kuantan Singingi.

Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan pengotor (*impurities*) lainnya. Oleh karena itu lempung perlu diaktivasi dan dimodifikasi agar dapat meningkatkan karakternya terutama aktivitas katalitiknya. Proses aktivasi dilakukan dengan menggunakan asam sulfat. Asam sulfat merupakan asam yang memiliki bilangan ekuivalen H⁺ lebih tinggi dibanding dengan asam klorida maupun asam nitrat. Aktivasi lempung menggunakan asam akan menghasilkan lempung dengan situs aktif lebih besar dan keasaman permukaan yang lebih besar [Suarya, 2008].

Penempelan logam dalam pengemban bertujuan untuk memperluas permukaan aktif (situs aktif). Teknik yang biasa digunakan adalah impregnasi. Logam-logam yang sering digunakan sebagai katalis adalah jenis logam transisi yang memiliki orbital d setengah penuh [Augustine, 1996]. Penggunaan logam Mo dalam katalis berperan sebagai promotor yang dapat meningkatkan kinerja katalis. Pengembanan logam transisi pada suatu pengemban dapat juga meningkatkan selektivitas katalis (Satterfield, 1980).

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah lempung alam yang berasal dari Desa Cengar, Kecamatan Kuantan Mudik, Kabupaten Kuantan Singingi, kulit kayu pinus *merkusii* yang diperoleh dari Sumatra Barat, H₂SO₄, BaCl₂, aquades, (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O, silinap 280 M, Asam

oksalat, NaOH, dan Indikator PP (*Phenolphthalein*).

Alat yang dipakai

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini lumpang porselin, pengayak 60, 80, 100 dan 200 mesh, reaktor alas datar ukuran 1 L, satu set motor pengaduk, oven, *furnace*, timbangan analitik, tabung gas N₂, gas O₂, dan gas H₂ serta regulator, reaktor pirolisis, *condenser*, *heating mantle*, termometer air raksa, piknometer, *viscometer oswald*, gelas piala, erlenmeyer, labu ukur, buret, *hot plate*, *magnetic stirrer*, pengaduk listrik 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 kulit kayu pinus, temperatur reaktor pirolisis (320 °C), kecepatan pengadukan (300 rpm), proses pirolisis dilakukan selama 2 jam dan silinap yang digunakan adalah series 280M. Sedangkan Variabel berubahnya ialah: pengembangan kadar logam Mo divariasikan sebesar 0%, 0,5%, 1% dan 1,5% b/b terhadap lempung dan berat katalis Mo/lempung divariasikan sebesar 3%, 6%, dan 9% b/b terhadap biomassa.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

1. Persiapan Biomassa Kulit Kayu Pinus
Kulit kayu pinus dihaluskan kemudian diayak (*screening*) untuk memperoleh ukuran ayakan -60+80 mesh.

2. 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 H₂SO₄ 1,2 N. Lempung cengar sebanyak 150 gram dalam larutan H₂SO₄ 1,2 N sebanyak 500 ml direfluks selama 6 jam pada suhu 50 °C 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 SO₄⁻² yang terdeteksi oleh larutan BaCl₂, *cake* dikeringkan pada suhu 110 °C selama 4 jam dalam oven.

Tahap berikutnya dilakukan impregnasi logam Mo dengan cara sampel lempung yang telah diaktivasi dilarutkan dalam 200 ml (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O dan dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan menggunakan *Hot plate* pada suhu 60°C selama 3 jam, kemudian dipanaskan dalam oven selama 6 jam pada suhu 110°C (diperoleh sampel Mo/lempung). Pengembangan kadar logam divariasikan sebesar 0%, 0,5%, 1 % dan 1,5% b/b terhadap sampel Lempung Cengar. 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 °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. Proses Pirolisis Bio-Oil

Biomassa berupa kulit kayu pinus sebanyak 50 gram beserta 500 ml silinap dan berat katalis Mo/ Lempung dengan persentase (variasi 3%, 6%, dan 9% terhadap biomassa)

dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, lalu dilakukan proses pirolisis dengan mengalirkan gas Nitrogen 1,35 mL/detik ke reaktor. Reaktor dioperasikan pada suhu 320°C, diaduk dengan pengaduk listrik pada kecepatan pengadukan 300 rpm. Kemudian terbentuk gas, gas yang terbentuk ini akan di kondensasi oleh kondensor sehingga dihasilkan *bio-oil*, selanjutnya produk *bio-oil* tersebut ditampung dalam *beaker glass* dan dicatat pertambahan volume *bio-oil* tiap 10 menit sampai produk tidak menetes lagi. *Bio-oil* yang didapat kemudian dianalisa senyawa kimianya.

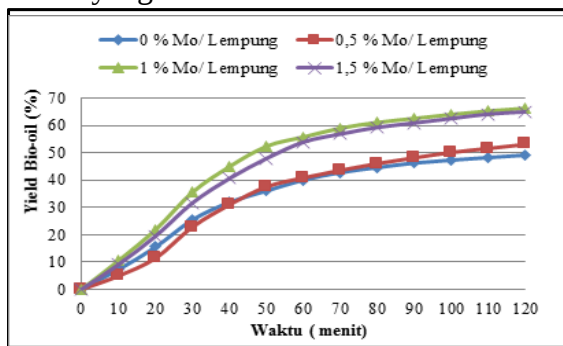
3. Karakterisasi *Bio-Oil*

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

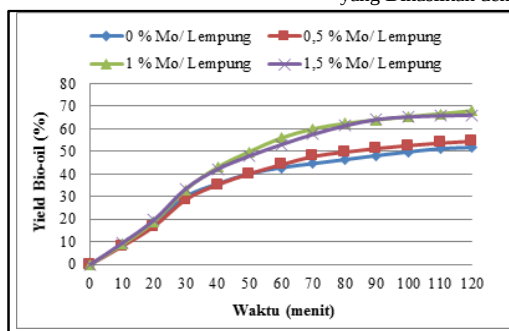
dihasilkan. Sedangkan analisa kimia dilakukan dengan GC-MS dan penentuan angka keasaman.

3. Hasil dan Pembahasan

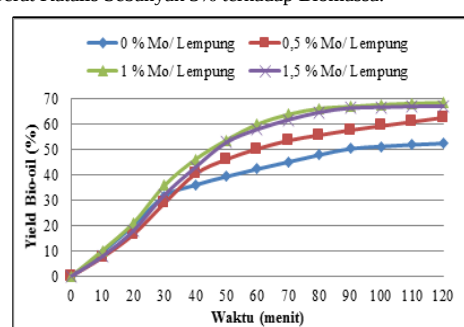
Untuk mengetahui pengaruh kadar logam Mo yang diimbangkan pada lempung terhadap *yield bio-oil* yang diperoleh digunakan variasi kadar logam 0%, 0,5%, 1% dan 1,5% b/b dengan berat katalis yang digunakan sebanyak 3%; 6% dan 9% b/b terhadap biomassa. . Dimana maksud dari kadar logam 0% adalah tanpa adanya 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 Berat Katalis Sebanyak 3% terhadap Biomassa.



Gambar 1b. Pengaruh Kadar Logam Mo/Lempung terhadap *Yield Bio-oil* yang Dihasilkan dengan berat Katalis Sebanyak 6% terhadap Biomassa.



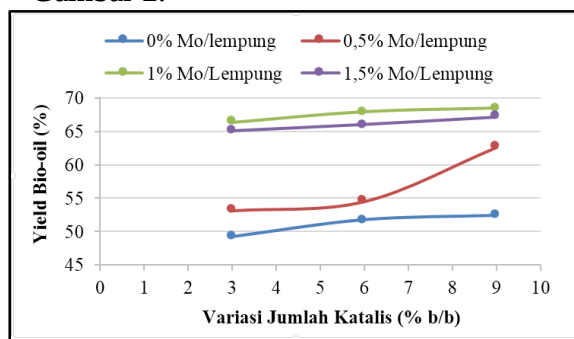
Gambar 1c. Pengaruh Kadar Logam Mo/Lempung terhadap *Yield Bio-oil* yang Dihasilkan dengan Berat Katalis Sebanyak 9% terhadap Biomassa.

Gambar 1a, 1b dan 1c menunjukkan hubungan variasi kadar logam yang diimbangkan pada katalis terhadap *yield bio-oil* yang diperoleh. Pada penggunaan berat

katalis sebesar 3% 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 49,19%,

53,11%, 66,34% dan 65,04%. Pada penggunaan berat katalis sebesar 6% 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%, 54,47%, 67,92% dan 66,02%. Sedangkan pada penggunaan berat katalis sebesar 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 52,38%, 62,55%, 68,46% dan 67,17%. Dapat dilihat bahwa proses pirolisis kulit kayu pinus *merkusii* dengan menggunakan berat katalis 3%, 6% dan 9% b/b terhadap biomassa diperoleh *yield bio-oil* terbesar pada variasi kadar logam Mo sebesar 1% terhadap lempung dengan berat katalis 9% yaitu sebesar 68,46%. Hal ini disebabkan karena adanya distribusi logam yang tidak merata pada pori-pori lempung. Dengan semakin banyaknya kadar logam yang diimbangkan mengakibatkan jumlah pori-pori lempung semakin kecil, sehingga banyak logam yang tidak tertampung ke dalam pori-pori lempung sehingga terjadi aglomerasi (penumpukan logam aktif di permukaan lempung) yang mengakibatkan luas permukaan katalis menurun. [Jusniwarlis, 2011]. Penurunan *yield bio-oil* ini kemungkinan juga disebabkan karena banyaknya produk *non condensable gas* 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, memungkinkan 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]. lempung, maka luas permukaan katalis semakin meningkat dan *yield bio-oil* yang diperoleh juga akan

meningkat. Sedangkan pada penggunaan katalis sebesar 7% b/b terhadap biomassa perolehan *yield bio-oil* mengalami penurunan pada kadar logam 3% Ni/lempung. Penurunan *yield bio-oil* ini kemungkinan disebabkan karena dengan semakin banyaknya jumlah katalis dan semakin besarnya kadar logam yang digunakan memungkinkan 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. Hal ini disebabkan karena logam Ni yang diimbangkan cenderung selektif terhadap pemutusan rantai C-C dan C-H [Vang dkk, 2005]. Untuk mengetahui hubungan antar jumlah katalis yang digunakan terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.



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

Dari Gambar 2 dapat dilihat hubungan antara jumlah katalis yang digunakan dan *yield bio-oil* yang dihasilkan. Untuk *yield bio-oil* optimum terletak pada variasi berat katalis 9% dengan 1% kadar logam Mo yaitu sebesar 68,46%. Katalis merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempercepat laju reaksi. Katalis Mo/Lempung memiliki stabilitas yang tinggi terhadap asam dan tahan terhadap suhu yang tinggi. Penggunaan katalis Mo/Lempung dapat menurunkan energi aktivasi pada proses pirolisis, sehingga dengan rendahnya energi aktivasi

menyebabkan nilai konstanta laju reaksi akan semakin tinggi [Risqan, 2011].

Analisa Fisika *Bio-oil*

Hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* dari kulit pinus pada kadar logam 0%, 0,5%, 1% dan 1,5% b/b Mo/lempung secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik *Bio-oil* dari Kulit Kayu Pinus

Variasi Berat Katalis terhadap Biomassa (%)	Variasi Kadar Logam Pengemban terhadap Katalis (%)	Densitas (gr/ml)	Viskositas kinematik (cSt)	Angka Keasaman (mg NaOH/gr sampel)	Titik Nyala (°C)	Yield (%)
3	0	0,911	1,532	23,606	48	49,194
	0,5	0,817	2,155	22,813	52	53,105
	1	0,809	2,426	17,722	54	66,338
	1,5	0,813	1,365	10,581	57	65,04
6	0	0,892	2,117	14,465	54	51,736
	0,5	0,801	1,383	24,163	48	54,468
	1	0,799	2,517	19,738	56	67,915
	1,5	0,786	1,779	13,68	52	66,024
9	0	0,873	1,814	18,065	45	53,38
	0,5	0,823	1,511	13,936	53	62,584
	1	0,778	1,769	25,799	52	68,464
	1,5	0,781	1,657	12,85	56	67,166

Dari Tabel 1 terlihat bahwa uji karakteristik *bio-oil* yang telah dilakukan terdiri dari densitas, viskositas, angka keasaman dan titik nyala. Nilai uji fisika berdasarkan *yield bio-oil* optimum yang diperoleh pada berat katalis 9% Mo/lempung terhadap biomassa dengan sebanyak 1% kadar logam pengemban diperoleh densitas 0,778 gr/ml, viskositas 1,769 cSt, angka keasaman 25,799 mg NaOH/gr sampel dan titik nyala 52°C.

Hasil uji karakteristik *bio-oil* kulit kayu pinus *merkusii* menggunakan katalis dengan kadar logam pengemban Mo sebanyak 1% terhadap lempung dengan berat katalis 9% terhadap biomassa sudah hampir mendekati karakteristik *conventional bio-oil* dan *diesel oil*. Perbandingan hasil karakterisasi fisika *bio-oil* dari kulit kayu pinus 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* Kulit Kayu Pinus dengan *Conventional Bio-Oil* dan *Diesel Oil*

Parameter	<i>Bio-Oil</i> dari Kulit Kayu Pinus <i>Merkusii</i>	<i>Conventional Bio-Oil</i> *	<i>Diesel Oil</i> **
Densitas (gr/ml)	0,778	0,94-1,2	0,81-0,89
Viskositas kinematik (cSt)	1,769	8,13-150	1,3-24,0
Titik Nyala (°C)	52	48-55	38-55
Angka Keasaman (mg NaOH/gr sample)	25,799	102,9	42,6-45,6***

Sumber : *

: Khor [2009]

** : IARC monographs volume 45 [1989]

*** : Boundy dkk [2011]

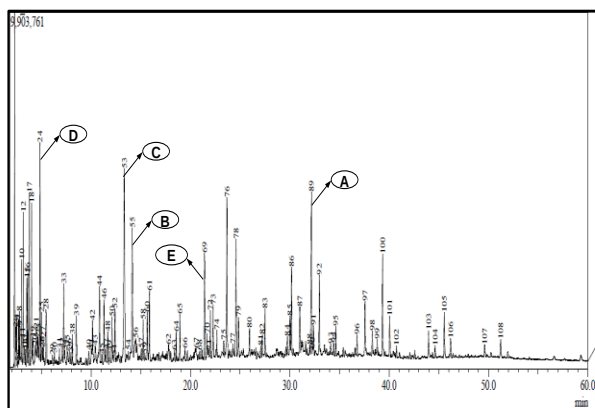
Dari Tabel 2 menunjukkan spesifikasi *bio-oil* dari kulit kayu pinus yang diperoleh, dimana penggunaan katalis Mo/Lempung ternyata diperoleh viskositas rendah dibandingkan

viskositas dari *bio-oil* konvensional. Ini berarti *bio-oil* dari kulit kayu pinus *merkusii* lebih mudah dalam hal penyimpanan dan pendistribusiannya. Selain itu, juga terlihat

bahwa viskositas *bio-oil* yang dihasilkan berada pada rentang viskositas *diesel oil*. Untuk titik nyala berada pada rentang *diesel oil*. Namun, pada perolehan angka keasaman jauh berbeda, hal ini disebabkan oleh biomassa kulit kayu pinus *Merkusii* memiliki nilai asam relatif yang rendah.

Analisa Kimia *Bio-oil*

Analisa komponen kimia *bio-oil* dilakukan dengan menggunakan GC-MS. titrasi asam-basa untuk menghitung angka keasaman *bio-oil*. Timbulnya puncak-puncak pada analisa GC-MS tersebut telah membuktikan bahwa proses pirolisis yang dilakukan dapat mendekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin. Puncak-puncak senyawa pada *bio-oil* hasil pirolisis kulit kayu pinus dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Kromatogram *Bio-oil*

Hasil analisa komponen dilakukan pada *bio-oil* dengan *yield* tertinggi yaitu sebesar 68,46% pada berat katalis 9% terhadap biomassa dengan kadar logam 1% Mo/lempung. Komposisi 5 senyawa paling dominan yang terdapat dalam *bio-oil* tersebut adalah (A) 2-Pentene 19,05%, (B) 1-Pentane 9,88%, (C) Cyclohexane 8,72%, (D) pentane 7,7%, (E) Silane 3,32%. Senyawa - senyawa tersebut merupakan golongan hidrokarbon jenis paraffin (alkana), olefin (alkena), dan naftena. Dimana, golongan - golongan tersebut merupakan golongan utama penyusun minyak bumi [Putra, Z. A, 2010].

Diketahui bahwa katalis Mo/lempung sudah berperan dalam mengarahkan senyawa yang dihasilkan, yaitu menyerupai senyawa-senyawa kimia yang terkandung dalam minyak bumi.

4. Kesimpulan

Kulit kayu pinus dapat dikonversi menjadi *bio-oil* menggunakan katalis Mo/lempung. Adanya variasi kadar pengembangan logam Mo pada lempung dan variasi Berat katalis yang digunakan pada proses pirolisis kulit kayu pinus terbukti mempengaruhi *yield bio-oil* yang diperoleh. Semakin besar kadar logam yang diimbangkan dan berat katalis yang digunakan, maka *yield bio-oil* yang diperoleh juga semakin besar. *Yield bio-oil* tertinggi diperoleh pada penggunaan berat katalis sebanyak 9% terhadap biomassa dan kadar logam 1% Mo/lempung yaitu sebesar 68,46 % dengan hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* yaitu densitas 0,778 gr/ml, viskositas kinematik 1,769 cSt₂₅, 799 mg NaOH /gr sampel dan titik nyala 52 °C serta 5 senyawa yang paling dominan yaitu 2-Pentene 19,05%, 1-Pentene 9,88%, Cyclohexane 8,72%, Pentane 7,7%, Silane 3,32%

Daftar Pustaka

- Anugra, R.D., 2011, *Efek Kandungan Logam Ni/NZA Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi Bio-oil*, Skripsi, Universitas Riau.
- Augustine, R.L 1996. *Heterogenous Catalysis for The Synthetic Chemist*. New York: Marck Dekker, Inc.
- Bahri, S., dan Rivai. R. 2010, *Chemical Modification On Natural Clay And Its Application On Equilibrium Study Of The Adsorption Of Pb²⁺ In Aqueous Solution*, Jurnal Sains dan Teknologi, Department Of Chemical Engineering, 9, 49-54.

- Dahlia, E., dan Hartoyo, 1997, *Komponen Kimia Terpening dari Getah Tusam (Pinus merkusii) asal Kalimantan Barat*, *Info Hasil Hutan*, 4(1), 38-39.
- Detrina, I. Yusnitawati, S. Bahri, dan E. Saputra. 2006. *Kajian Bio-oil dari Limbah Padat Sawit dengan Metoda Fast Pyrolysis. Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia*, Universitas Riau. Pekanbaru.
- ESDM, 2010, *Upaya Pengembangan Energi Alternatif*, Jakarta.
- Hassan, E., P.H. Steele, B. Mitchell, dan L. Ingram, 2009, *Physical and Chemical Characterization of fast pyrolysis Bio-Oil Produced from Various Southern Forestry Feedstocks*, Forest Products Department, Mississippi State University.
- Jusniwarlis. 2011. *Efek Kandungan Logam Ni-Mo/NZA pada Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi Bio-oil. Skripsi*, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Putra, Z.A. 2010. *Kilang Minyak Bumi*. Universiti Teknologi Petronas. Malaysia.
- Risqan, M. 2011. *Sintesis Katalis HZSM-5 dari abu Sawit untuk Proses Catalytic Cracking Tandan Kosong Sawit (TKS) menjadi Bio-Oil. Skripsi*, Universitas Riau.
- Satterfield, 1980. *Heterogeneous Catalysis in Practice*. Mc Graw Hill Company. New York.
- Suarya, P. 2008. *Adsorpsi Pengotor Minyak daun Cengkeh oleh Lempung Teraktivasi Asam*, *Jurnal Kimia*, 2 19-24.
- 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