

# PIROLISIS KULIT KAYU PINUS (*PINUS MERCUSII*) MENJADI *BIO-OIL* MENGGUNAKAN KATALIS Ni/LEMPUNG

Laila Kusmiati<sup>1</sup>, Syaiful Bahri<sup>2</sup>, Khairat<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293

[lailabunnylala@gmail.com](mailto:lailabunnylala@gmail.com)

## ABSTRACT

*Requirement for the source of energy which increasing and petroleum reserve as source of primary energy which continuing attenuate to become the main reason for the importance of searching for alternative energy sources instead of petroleum. Biomass specially pine bark only considered as waste that pollutes the environment, whereas the pine bark is biomass that can be processed to become alternative energy that is bio-oil. Bio-oil can be produced through pyrolysis process using catalyst Ni/clay. This research aim to study the effect of the ratio of amount of catalyst to biomass which variation to 3%, 5% and 7% b/b and also the effect of Ni metal concentrate on clay equal to 0%, 1%, 2% and 3% w /w of the yield bio-oil produced. In this research, pine bark biomass as much 50 grams with size of --60+80 mesh, silinap 500 ml, and catalyst Ni/clay entered into pyrolysis reactor. Process of pyrolysis is conducted at temperature 320 °C and stirring speed of 300 rpm during 120 minute with stream of nitrogen gas (N<sub>2</sub>) as inert gas. The result obtained indicate that optimum yield obtained at 2% catalyst Ni/clay as much as 7% of biomass that is equal to 61,03%. Physical properties test result obtained that is density (0,856 gr/ml), viscosity (9,306 cSt), acidity number (24,986 mg of NaOH/gr of sample) and flash point (54 °C). Result of chemical analysis with GC-MS, obtained the dominant chemical components in bio-oil are 2-Pentene 22,31%, Pentane 13,46%, 1-propene 7,55%, 2-Hexene 7,35 and 1-Pentene 5,95%.*

**Keywords:** Biomass, Bio-oil, Catalyst Ni/Clay, Pine Bark, Pyrolysis

## 1. Pendahuluan

Penggunaan energi di Indonesia masih dominan pada bahan bakar fosil. Menurut data statistik energi, pada tahun 2008 diketahui penggunaan energi terbesar yaitu dari minyak bumi. Namun, produksi BBM Indonesia berbanding terbalik dengan konsumsi energi BBM tersebut [BP *Statistical Review of World Energy*, 2010]. Jika sumber energi ini digunakan secara terus - menerus maka akan berakibat pada krisis energi [Mandala, 2011]. Oleh sebab itu perlu adanya sumber energi baru yang

dapat diperbaharui dan jumlahnya memadai. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan yaitu *bio-oil*.

*Bio-oil* dapat diolah menjadi bahan bakar minyak dan dapat diproduksi dari biomassa. Salah satu biomassa yang dapat dimanfaatkan adalah kulit kayu pinus. Selama ini kulit kayu pinus hanya dianggap sebagai limbah yang mencemari lingkungan, padahal kulit kayu pinus ini memiliki potensi yang bagus untuk dijadikan bahan baku produksi *bio-oil*. Selain memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi, kulit

kayu pinus juga banyak ditemukan di Indonesia karena pohon pinus merupakan tumbuhan yang tumbuh secara alami di Indonesia dan banyak tersebar di Pulau Jawa, Sumatra dan Sulawesi.

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. Pada proses pirolisis, adanya katalis dapat mempercepat terbentuknya *bio-oil*. Salah satu bahan yang dapat dijadikan katalis adalah lempung. 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.

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

## 2. Metode Penelitian

### Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang diperlukan adalah lempung dari Desa Cengar Kecamatan Kuantan Mudik Kabupaten Kuantan Singingi,  $H_2SO_4$  1,2 M,  $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ,  $BaCl_2$ , aquades, gas  $N_2$ ,  $O_2$ , dan  $H_2$ , kulit kayu pinus, NaOH, asam oksalat dan silinap 280M (*thermo oil*).

### 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 tube*, timbangan analitik, tabung serta regulator gas  $N_2$ ,  $O_2$  dan  $H_2$ , reaktor pirolisis, *condenser*, *heating mantle*, *thermocouple thermometer* (Barnant), piknometer, *viskometer* Ostwald, gelas piala, pengaduk listrik (*Heidolph*) 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: pengembunan logam Ni divariasikan sebesar 0%, 1%, 2% dan 3% b/b terhadap lempung dan jumlah katalis Ni/lempung divariasikan sebesar 3%, 5%, dan 7% b/b terhadap biomassa.

### Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

#### 1. Pembuatan Katalis Ni/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  $H_2SO_4$  1,2 M. Lempung cengar sebanyak 150 gram dalam larutan  $H_2SO_4$  1,2 M sebanyak 600 ml direfluks selama 6 jam pada suhu  $50\text{ }^\circ\text{C}$  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  $SO_4^{2-}$  yang terdeteksi oleh larutan  $BaCl_2$ , *cake* dikeringkan pada suhu  $110\text{ }^\circ\text{C}$  selama 4 jam dalam oven.

Tahap berikutnya dilakukan impregnasi logam Ni dengan cara lempung yang telah diaktivasi dilarutkan dalam 200 ml ( $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ) dan direfluks pada suhu  $90\text{ }^\circ\text{C}$  selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 liter. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu  $110\text{ }^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Larutan nikel untuk impregnasi divariasikan dengan kadar logam sebesar 0%, 1%, 2% dan 3% b/b terhadap lempung hingga diperoleh katalis Ni/lempung. Selanjutnya, katalis Ni/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  $500\text{ }^\circ\text{C}$  dengan selama 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar  $\pm 400$  ml/menit. Selanjutnya, katalis dioksidasi pada suhu  $400\text{ }^\circ\text{C}$  menggunakan gas oksigen sebesar  $\pm 400$  ml/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu  $400\text{ }^\circ\text{C}$  menggunakan gas hidrogen sebesar  $\pm 400$  ml/menit selama 2 jam.

## 2. Sintesa *Bio-Oil*

Biomassa berupa kulit kayu pinus dijemur sampai kering di bawah terik matahari. Kemudian dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kadar airnya sampai beratnya konstan. Ukuran kulit kayu pinus tersebut diperkecil (dihancurkan) dan diayak (*screening*) untuk memperoleh ukuran yang lolos ayakan -60+80 mesh.

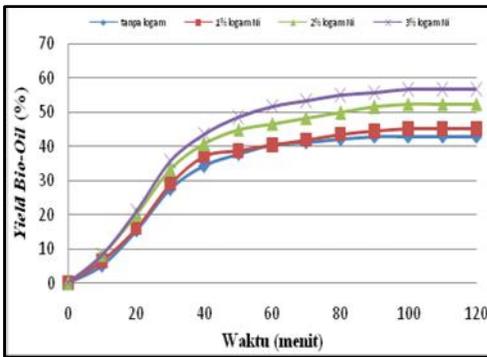
Selanjutnya, 50 gram kulit kayu pinus, 500 ml silinap dan katalis Ni/lempung (sesuai dengan variasi jumlah katalis terhadap biomassa) dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Kemudian dialirkan gas nitrogen dengan laju alir sebesar 1,35 mL/detik ke dalam reaktor. Reaktor dioperasikan pada suhu  $320\text{ }^\circ\text{C}$ , diaduk dengan pengaduk listrik (*heidolph*) pada kecepatan pengadukan 300 rpm. Proses pirolisis akan menghasilkan produk cair (*bio-oil*) akibat proses kondensasi.

## 3. Karakterisasi *Bio-Oil*

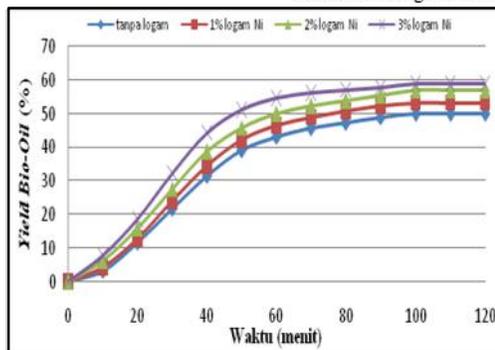
Produk berupa *bio-oil* selanjutnya dikarakterisasi dengan melakukan analisa fisika dan kimia. Analisa fisika yang dilakukan terdiri dari: penentuan densitas, viskositas, angka keasaman, dan titik nyala dari *bio-oil* yang dihasilkan. Sedangkan analisa kimia dilakukan dengan GC-MS.

## 3. Hasil dan Pembahasan

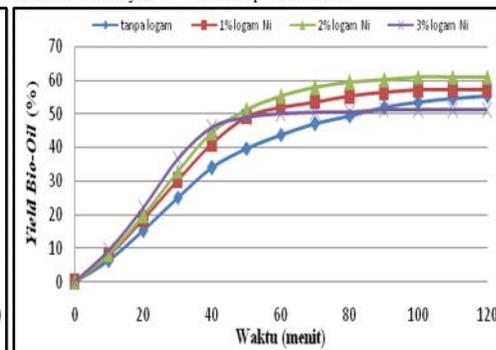
Untuk mengetahui pengaruh kadar logam Ni yang diembankan pada lempung terhadap *yield bio-oil* yang diperoleh digunakan variasi kadar logam 0%, 1%, 2% dan 3% b/b dengan jumlah katalis yang digunakan sebanyak 3%; 5% dan 7% b/b terhadap biomassa. . Dimana maksud dari kadar logam 0% adalah tanpa adanya pengembanan logam. Pengaruh variasi kadar logam pada katalis Ni/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 Ni/Lempung terhadap Yield Bio-oil yang Dihasilkan dengan Jumlah Katalis Sebanyak 3% terhadap Biomassa.



Gambar 1b. Pengaruh Kadar Logam Ni/Lempung terhadap Yield Bio-oil yang Dihasilkan dengan Jumlah Katalis Sebanyak 5% terhadap Biomassa.

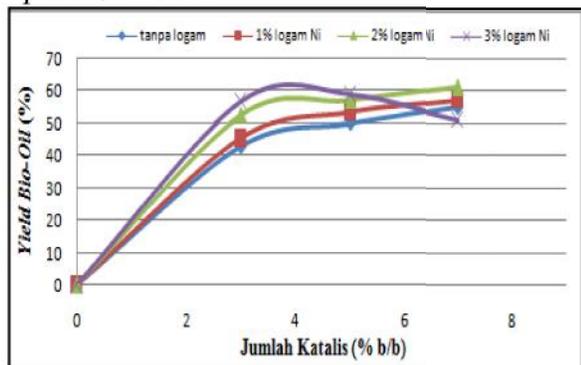


Gambar 1c. Pengaruh Kadar Logam Ni/Lempung terhadap Yield Bio-oil yang Dihasilkan dengan Jumlah Katalis Sebanyak 7% terhadap Biomassa.

Gambar 1a, b dan 1c menunjukkan hubungan variasi kadar logam yang diembankan pada katalis terhadap *yield bio-oil* yang diperoleh. Pada penggunaan katalis sebesar 3% b/b terhadap biomassa persentase *yield bio-oil* yang diperoleh pada logam 0%, 1%, 2% dan 3% b/b Ni/lempung berturut-turut adalah 42,94%, 45,17%, 52,47% dan 56,56%. Pada penggunaan katalis sebesar 5% b/b terhadap biomassa persentase *yield bio-oil* yang diperoleh pada logam 0%, 1%, 2% dan 3% b/b Ni/lempung berturut-turut adalah 49,88%, 53,29%, 57% dan 58,81%. Sedangkan pada penggunaan katalis sebesar 7% b/b terhadap biomassa persentase *yield bio-oil* yang diperoleh pada logam 0%, 1%, 2% dan 3% b/b Ni/lempung berturut-turut adalah 55,19%, 57,15%, 61,03% dan 51,14%. Perolehan *yield bio-oil* pada penggunaan katalis sebesar 3% dan 5% b/b terhadap biomassa mengalami peningkatan. Diketahui bahwa

penggunaan katalis dengan adanya pengembanan logam dapat meningkatkan *yield bio-oil* yang dihasilkan dibandingkan dengan katalis tanpa adanya pengembanan logam. Menurut Setiadi dan Pertiwi [2007], sistem katalis logam pengembanan dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari lempung sehingga aktivitas dari katalis juga semakin meningkat. Logam sebagai fasa aktif berperan untuk mempercepat dan mengarahkan reaksi. Sedangkan penyangga atau *support* berfungsi untuk memberikan luas permukaan yang lebih besar bagi fasa aktif, meningkatkan stabilitas termal dan efektivitas katalis. Dapat dilihat juga semakin besar kadar logam yang diembankan, maka *yield bio-oil* yang diperoleh juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Septriana [2006], semakin tinggi kadar Ni yang diembankan ke dalam *support* 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 memungkinan 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 diembankan 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 Jumlah Katalis Ni/Lempung terhadap *Yield Bio-oil*

Dari Gambar 2 dapat dilihat hubungan antara jumlah katalis yang digunakan dan *yield bio-oil* yang dihasilkan. Persentase *yield bio-oil* tertinggi yang diperoleh pada penggunaan katalis 3% terhadap biomassa, 5% terhadap biomassa dan 7% terhadap biomassa berturut-turut adalah 56,56% pada pengembanan logam 3% Ni/lempung, 58,81% pada pengembanan logam 3% Ni/lempung dan 61,03% pada pengembanan logam 2% Ni/lempung. Semakin besar

jumlah katalis yang digunakan, maka *yield bio-oil* yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa dengan adanya penambahan jumlah katalis akan menyebabkan energi aktivasi menjadi semakin kecil dan kecepatan reaksi semakin besar, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan juga semakin besar.

### Analisa Fisika *Bio-oil*

Hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* dari kulit pinus menggunakan katalis 0%, 1%, 2% dan 3% b/b Ni/lempung secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

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

Variasi Jumlah Katalis terhadap Biomassa	Variasi Logam Pengembanan terhadap Katalis	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Angka Keasaman (mg NaOH/gr sampel)	Titik Nyala (°C)	Yield (%)
3%	0%	0,8588	9,307	14,114	52	42,94
	1%	0,8313	9,001	20,037	48	45,17
	2%	0,8116	9,866	26,221	50	52,47
	3%	0,8066	9,052	34,503	51	56,56
5%	0%	0,8595	9,764	13,609	53	49,88
	1%	0,893	9,765	14,103	54	53,29
	2%	0,8629	9,357	16,331	50	57,00
	3%	0,7917	9,612	22,171	52	58,81
7%	0%	0,8247	9,154	18,9176	51	55,19
	1%	0,808	9,205	19,003	56	57,15
	2%	0,8565	9,306	24,986	54	61,03
	3%	0,8523	9,510	25,599	53	51,14

Dari Tabel 1 terlihat bahwa uji karakteristik *bio-oil* yang terdiri dari densitas, viskositas, angka keasaman dan titik nyala. Nilai uji fisika berdasarkan *yield bio-oil* optimum yang diperoleh pada katalis 2% Ni/lempung sebanyak 7% katalis yaitu densitas 0,8565 gr/ml, viskositas 9,306 cSt, angka keasaman 24,986 mg NaOH/gr sampel dan titik nyala 54 °C.

Hasil uji karakteristik *bio-oil* kulit kayu pinus menggunakan katalis dengan kadar logam Ni sebanyak 2% terhadap lempung dengan jumlah katalis 7% 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*

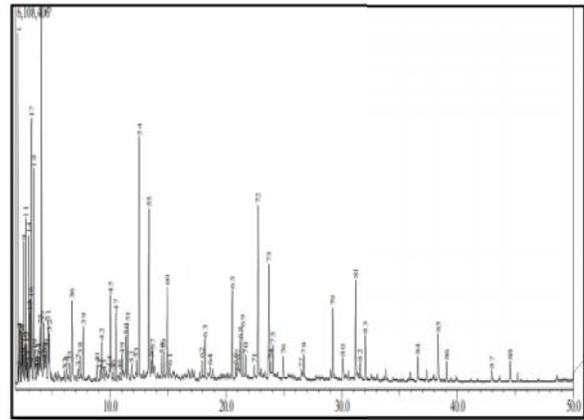
Parameter	<i>Bio-Oil</i> dari Kulit Kayu Pinus	<i>Conventional Bio-Oil</i> *	<i>Diesel Oil</i> **
Densitas (gr/ml)	<b>0,856</b>	0,94-1,2	0,81-0,89
Viskositas (cSt)	<b>9,306</b>	8,13-150	1,3-24,0
Titik Nyala (°C)	<b>54</b>	48-55	38-55
Angka Keasaman (mg NaOH/gr sample)	<b>24,986</b>	102,9	42,6-45,6***

Sumber : \* : Khor [2009]  
 \*\* : IARC monographs volume 45 [1989]  
 \*\*\* : Boundy dkk [2011]

Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai densitas *bio-oil* kulit kayu pinus berada dalam rentang nilai densitas *diesel oil*. Pada nilai viskositas *bio-oil* kulit kayu pinus berada dalam rentang viskositas *conventional bio-oil*, namun lebih kecil dibandingkan nilai viskositas *diesel oil*. Sedangkan nilai titik nyala pada *bio-oil* kulit kayu pinus sudah cukup bagus, angka ini berada pada rentang titik nyala *conventional bio-oil* dan *diesel oil*. Untuk angka keasaman *bio-oil* kulit kayu pinus jauh lebih rendah dibandingkan *conventional bio-oil* dan *diesel oil*. Rendahnya angka keasaman ini merupakan dampak atas rendahnya nilai-nilai asam relatif yang terkandung dalam *bio-oil* tersebut.

### Analisa Kimia *Bio-oil*

Analisa komponen kimia *bio-oil* dilakukan dengan menggunakan GC-MS. 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 61,03% pada jumlah katalis 7% terhadap biomassa dengan kadar logam 2% Ni/lempung. Komposisi 5 senyawa paling dominan yang terdapat dalam *bio-oil* tersebut adalah 2-Pentene 22,31%, Pentane 13,46%, 1-Propene 7,55%, 2-Hexene 7,35%, 1-Pentene 5,95%. 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 Ni/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 Ni/lempung. Adanya variasi pengembunan logam Ni pada lempung dan variasi jumlah katalis yang digunakan pada proses pirolisis kulit kayu pinus terbukti mempengaruhi *yield bio-oil* yang diperoleh. Semakin besar kadar logam yang diembankan dan jumlah katalis yang digunakan, maka *yield bio-oil* yang diperoleh juga semakin besar. *Yield bio-oil* tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis sebanyak 7% terhadap biomassa dan kadar logam 2% Ni/lempung yaitu sebesar 61,03% dengan hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* yaitu densitas 0,856 gr/ml, viskositas 9,306 cSt, angka keasaman 24,986 mg NaOH/gr sampel dan titik nyala 54 °C serta 5 senyawa yang paling dominan yaitu 2-Pentene 22,31%, Pentane 13,46%, 1-Propene 7,55%, 2-Hexene 7,35%, 1-Pentene 5,95%.

#### Daftar Pustaka

- Boundy, B., S.W. Diegel, L. Wright, dan S.C. Davis. 2011. *Biomass energy Data Book (Edition 4)*. Amerika Serikat: U.S. Department of Energy.
- BP Statistical Review of World Energy. 2010. *Review of World Energy*. <http://www.bp.com/statisticalreview>, diakses pada 20 Februari 2014.
- 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.
- Hassan E.M. 2009. The Potential Use of Whole-tree Biomass for Bio-oil Fuels, *Energy Sources, Part A*, 31, 1829–1839
- IARC Monograph (Volume 45). 1989. Occupational Exposures in Petroleum Refining; Crude Oil and Major Petroleum Fuels. Prancis: IARC intern. tech. Rep.
- Khor, K.H., K.H. Lim dan Z.A. Zainal, 2009, *Characteristic of Bio-Oil : A By-Product from Slow Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches*, University Sains Malaysia.
- Mandala, S.P. 2011. Referensi Ilmiah Indonesia, *Biomassa Sumber Energi Masa Depan Indonesia*. Palembang.
- Putra, Z.A. 2010. *Kilang Minyak Bumi*. Universiti Teknologi Petronas. Malaysia
- Septriana, Desy. 2006. *Pembuatan Katalis Ni/Lempung Untuk Reaksi Hidrogenasi Crude Palm Oil (CPO)*. Skripsi, Program Studi Teknik Kimia Universitas Riau, Pekanbaru.
- Setiadi dan A. Pertiwi. 2007. *Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa Abe menjadi Hidrokarbon*. Prosiding Kongres dan Simposium Nasional Kedua MKICS 2007.
- Setyawan, D. dan P. Handoko. 2001. *Preparasi Katalis Cr/Zeorlit Melalui Modifikasi Zeolit Alam*.
- 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