

PIROLISIS BIOMASSA KAYU PINUS (*WOOD PINE*) DENGAN KATALIS Mo/LEMPUNG MENJADI *BIO-OIL*

M. Arfi Adharyandy Firman¹, Syaiful Bahri², Khairat²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²Dosen Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293
Email : arfichemeng@yahoo.com

Abstract

Indonesia high dependence on fossil fuels from year to year makes the conditions of dwindling fossil fuel reserves. This condition implies the need to optimize the use of renewable energy in order to maintain the availability of energy in the future. An alternative of renewable energy and eco friendly bio-oil. Bio-oil can be produced by pyrolysis process of the pine wood biomass with a Mo/Clay catalyst. This research examines the influence of variations containing Mo (0%, 1%, 2% and 3% w/w) and variations in the weight of the catalyst, Mo/clay (3%, 5% and 7% w/w) in the pyrolysis determine fir wood into bio-oil against the yield obtained and determine the physical and chemical properties of the bio-oil produced from pine wood pyrolysis process. In this research, pine wood biomass, as much as 50 grams with a size of 100 mesh, silinap 500 ml, and the catalyst Mo/clay incorporated in the pyrolysis reactor. Pyrolysis is carried out at 320°C and 300 rpm stirring speed for 120 minutes carried out by flowing nitrogen gas (N₂) as an inert gas. The results showed that the optimum yield 61.89% was obtained on the catalyst, Mo/Clay 5% w/w with Mo metal content of 3% w/w. The result of the physical and chemical properties, obtained by the density (0.967 g / ml), viscosity (6.459 cSt), acidity (105.282 mg NaOH / g sample) and flash point (48°C). The results of chemical composition analysis by GC-MS, chemical components of the dominant acquired bio-oil m methylcyclohexyl bromide 9.42%, 3-butene-1,2-diol, 1- (2-furyl) - 6.95%, 2,2,3,3-tetramethyl butane 6.12%, cis-2,2-dimethyl-4-decene and 4.58% 1-propene, 2-methyl, tetramer 3.78%

Keywords: Biomass, bio-oil, Mo/ clay catalyst, wood pine, pyrolysis

1. Pendahuluan

Saat ini Indonesia tengah menghadapi permasalahan yang juga dihadapi dunia global yaitu permasalahan energi. Data menunjukkan pada tahun 2011, minyak masih menjadi energi dengan pangsa terbesar yang mencapai 49,5 persen dari jumlah total energi sebesar 1.176 miliar Setara Barel Minyak (SBM). Pangsa terbesar selanjutnya adalah Batubara dan Gas dengan jumlah proporsi masing-masing sebesar 26 persen dan 20,4 persen. Hal ini menunjukkan sangat tingginya ketergantungan Indonesia

terhadap energi fosil yang mencapai 95 persen (BPPN, 2012).

Kondisi ini perlu mendapat perhatian serius mengingat dari tahun ke tahun kondisi cadangan energi fosil semakin menipis. Berdasarkan data neraca energi tahun 2011 (Tabel 1.1), diperkirakan potensi minyak bumi Indonesia akan habis sekitar 23 tahun lagi, sementara gas bumi dan batubara diperkirakan akan habis masing-masing pada 55 tahun dan 83 tahun (BPPN, 2012). Neraca energi fosil Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Neraca Energi Fosil Indonesia

No.	Energi Fosil (tidak terbarukan)	Sumber Daya (SD)	Cadangan (Cad)	Rasio SD/Cad (%)	Produksi (Prod)	Rasio Cad/Prod (Tahun)
1.	Minyak Bumi	56,6	7,99 *)	14	0,346	23
2.	Gas Bumi	334,5	159,64	51	2,9	55
3.	Batu Bara	104,8	20,98	18	0,254	83

*) termasuk blok Cepu

Sumber: BPPN (2012)

Kondisi tersebut mengisyaratkan keharusan untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan untuk menjaga ketersediaan energi di masa mendatang. Dengan kondisi geologis dan letak geografisnya, Indonesia memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang sangat besar (BPPN, 2012). Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan adalah *bio-oil*. *Bio-oil* dapat diproduksi menggunakan biomassa melalui proses pirolisis. Salah satu biomassa yang berpotensi dapat digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi *bio-oil* adalah kayu pinus.

Selama ini kayu pinus hanya dimanfaatkan oleh perusahaan kecil dan besar sebagai bahan dalam pembuatan *pulp and paper*, korek api, dan *furniture* dari kayu pinus misalnya pembuatan lemari. Sementara dikalangan masyarakat itu sendiri kayu pinus yang ditebang masih dianggap sebagai limbah dan belum dimanfaatkan secara maksimal oleh masyarakat. Padahal jika dilihat dari kadar lignoselulosanya, kayu pinus berpotensi untuk dijadikan sebagai biomassa dalam pembuatan *bio-oil*.

Untuk mendapatkan hasil yang baik dalam peningkatan kualitas *bio-oil* digunakan lempung alam sebagai katalis dalam proses pirolisis. Lempung alam mempunyai cadangan yang cukup besar di daerah Riau. Di Kecamatan Kuantan Mudik saja lempung jenis tanah liat mempunyai cadangan kira-kira 4.313.700

m³ yang tersebar di beberapa lokasi yaitu Desa Toar, hulu sungai Batang Salo (Desa Cengar), kawasan hutan lindung Bukit Batabuh, Desa Kasang, Desa Telukberingin dan Desa Airbuluh (Bahri dan Rivai, 2010).

Lempung digunakan sebagai katalis karena struktur lempung memiliki pori yang lebih besar dibandingkan zeolit, stabilitas termal tinggi, luas permukaan lebih luas dan aktivitas katalitik yang baik. Katalis lempung cengar memiliki stabilitas yang tinggi terhadap asam dan tahan terhadap suhu tinggi. Dengan penggunaan katalis lempung cengar dapat menurunkan energi aktivasi pada proses pirolisis, sehingga dengan energi aktivasi yang semakin rendah akan menyebabkan nilai konstanta laju reaksi semakin besar (Amelisa, 2012).

Pengembangan logam kedalam katalis paling bagus menggunakan logam dari gol.VIII (seperti Ru, Pt, Rh, Ir, dan Pd) yang telah diselidiki bahwa logam mulia mempunyai aktivitas yang tinggi dan stabil. Namun, karena logam mulia harganya mahal dan ketersediaannya terbatas, maka penggunaan Molibdenum (Mo) sebagai logam pengemban merupakan pilihan yang bagus karena Mo banyak tersedia dan harganya murah jika dibandingkan dengan logam mulia (Anugra, 2010). Hal inilah yang melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian tentang pembuatan *bio-oil* dari pirolisis biomassa kayu pinus dengan katalis Mo/Lempung.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan adalah kayu pinus, lempung cengar, gas N₂, O₂, dan H₂, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, silinap 280 M, BaCl₂, aquades, H₂SO₄ 1,2 M, NaOH, asam oksalat, *porcelain bed*, dan *glass woll*.

2.2 Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan adalah lumping porselin, pengayak 100 mesh, reaktor alas datar ukuran 1L, satu set motor pengaduk, oven, *magnetic stirrer*, *hot plate*, *tube furnace*, timbangan analitik, tabung serta regulator gas N₂, O₂, dan H₂, reaktor pirolisis, kondensor, *heating mantle*, *thermometer*, piknometer, viscometer *ostwald*, *cleveland flash point tester*, gelas piala 250 ml, gelas ukur 100 ml, GC-MS, dan mesin gerinda.

2.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap yang dilakukan adalah biomassa yang digunakan adalah kayu pinus, temperature reaktor pirolisis 320°C, ukuran biomassa 100 mesh, dan berat biomassa 50 gram. Sedangkan variabel berubahnya adalah variasi pengembangan logam Mo sebesar 0%; 1%; 2%; dan 3% b/b terhadap lempung cengar dan variasi jumlah katalis Mo/Lempung sebesar 3%; 5%; dan 7% b/b terhadap biomassa kayu pinus.

2.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

1. Pembuatan Katalis Mo/Lempung

Lempung yang sudah membatu ditumbuk dan diayak dengan ukuran ayakan 100 mesh dengan ketentuan ukuran partikel yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 mesh.

Lempung yang dihasilkan sebanyak 150 gram selanjutnya diaktivasi selama 6 jam pada suhu 50°C dengan penambahan larutan H₂SO₄ 1,2 M sebanyak 500 ml sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar volume 1 liter.

Sampel kemudian disaring dan dicuci menggunakan aquades berulang kali sampai tidak ada ion SO₄²⁻ yang terdeteksi oleh larutan BaCl₂, *cake* yang terbentuk kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 4 jam dalam oven.

Sampel lempung yang telah diaktivasi dilarutkan dalam 100 ml (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O dan dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 60°C selama 3 jam. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 6 jam (diperoleh sampel Mo/Lempung).

Sampel katalis yang sudah diperoleh kemudian dimasukkan kedalam *tube* sebanyak 30 gram. *Tube* ditempatkan dalam *tube furnace* secara vertikal, dikalsinasi pada suhu 500°C selama 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar ±400 ml/menit, dilanjutkan dengan oksidasi pada suhu 400°C menggunakan gas oksigen sebesar ±400 ml/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu 400°C menggunakan gas hidrogen sebesar ±400 ml/menit selama 2 jam.

2. Pembuatan *Bio-oil*

Biomassa berupa kayu pinus dikupas kulitnya, kemudian di potong menjadi serbuk menggunakan mesin gerinda, lalu dijemur sampai kering dibawah terik matahari, kemudian dihaluskan lagi menggunakan *blender* dan selanjutnya dikeringkan kembali dibawah terik matahari. Biomassa tersebut kemudian diayak (*screening*) dengan ayakan 100 mesh.

Kayu pinus yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermo-oil* (silinap) dan katalis Mo/Lempung dengan persentase tertentu (variasi 3%; 5%; 7% b/b terhadap biomassa kayu pinus) dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Pirolisis dilakukan pada suhu 320°C tanpa kehadiran oksigen. Kemudian kedalam reaktor dialirkan gas nitrogen 1,35 ml/detik dan diaduk dengan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 2 jam. Uap keluaran reaktor akan melalui

kondensor untuk dikondensasikan menjadi *bio-oil*. *Bio-oil* keluaran kondensor dicatat volumenya setiap 5 menit pada 1 jam pertama dan 10 menit pada jam berikutnya hingga tidak ada lagi *bio-oil* yang menetes.

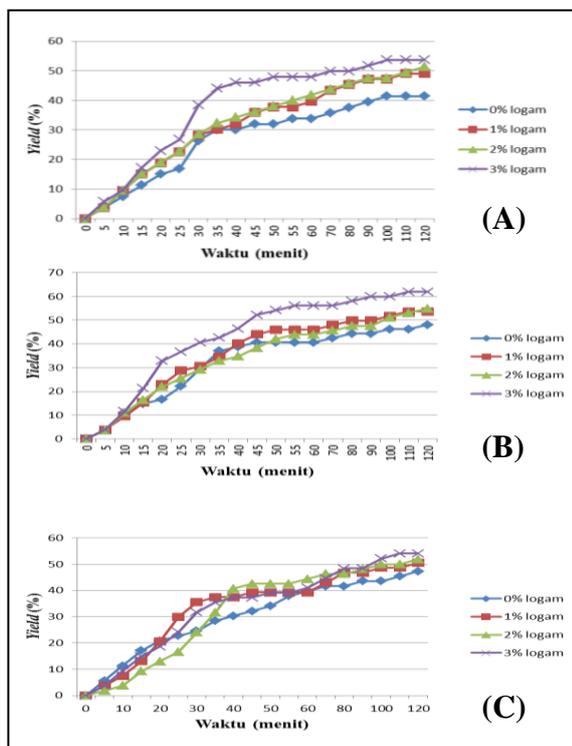
3. Analisa Produk

Produk *bio-oil* yang terbentuk pada kondisi proses optimum dari tiap-tiap variasi katalis yang digunakan dilakukan karakterisasi fisika yang meliputi densitas, viskositas, dan titik nyala serta analisa kimia yang meliputi angka keasaman dan menggunakan alat GC-MS untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung pada *bio-oil*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Pengembunan Logam Molibdenum (Mo) pada Katalis Mo/Lempung terhadap Yield Bio-oil yang Diperoleh

Proses pirolisis dilakukan dengan variasi logam Molibdenum (Mo) 0%; 1%; 2%; dan 3% b/b terhadap lempung, dan variasi berat katalis Mo/Lempung 3%; 5%; dan 7% b/b terhadap biomassa kayu pinus. Hubungan variasi kadar logam Mo yang diimbangkan pada katalis Mo/Lempung terhadap *yield bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 3.1.

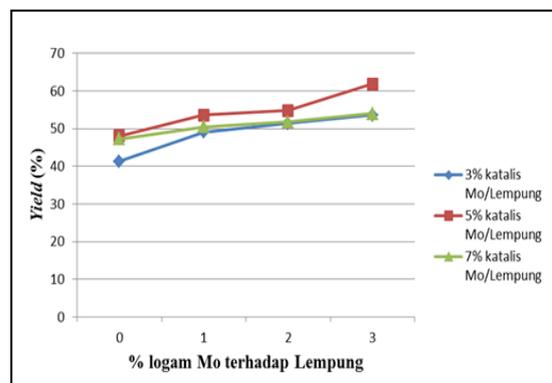


Gambar 3.1 Pengaruh Rasio Berat Katalis Mo/Lempung 3% (A), 5% (B), dan 7% (C) b/b Terhadap Biomassa Kayu Pinus

Berdasarkan Gambar 3.1 dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar logam Mo yang diimpregnasikan kedalam katalis Lempung, *yield bio-oil* yang dihasilkan akan semakin besar pula. Hal ini dikarenakan menurut Anugra (2010) semakin banyak logam yang didispersikan, maka luas permukaan katalis tersebut juga akan meningkat. Rahayu (2012) menjelaskan bahwa dengan luas permukaan katalis yang besar, maka kontak yang terjadi antara reaktan dengan permukaan katalis juga besar sehingga menyebabkan *yield bio-oil* yang dihasilkan akan semakin besar pula.

Pada penelitian ini *yield bio-oil* tertinggi pada variasi logam Mo 0%; 1%; 2%; dan 3% b/b terhadap lempung didapat pada variasi logam Mo 3% b/b terhadap lempung, yaitu 53,65% pada berat katalis Mo/Lempung 3% b/b terhadap biomassa kayu pinus, 61,89% pada berat katalis Mo/Lempung 5% b/b terhadap biomassa kayu pinus, dan 53,99% pada berat katalis Mo/Lempung 7% b/b terhadap biomassa kayu pinus.

3.2 Pengaruh Variasi Berat Katalis Mo/Lempung terhadap Yield Bio-oil yang Diperoleh



Gambar 3.2 Pengaruh Berat Katalis Mo/Lempung Terhadap Perolehan Yield Bio-oil

Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa *yield bio-oil* yang didapat pada penggunaan katalis Mo/Lempung 3%; 5%; dan 7% b/b terhadap biomassa kayu pinus terus mengalami kenaikan. Pada penelitian ini, *yield bio-oil* tertinggi didapat pada variasi berat katalis Mo/Lempung 5% b/b terhadap biomassa kayu pinus. Sementara pada berat katalis Mo/Lempung 7% b/b terhadap biomassa kayu pinus mengalami penurunan. Secara teori seharusnya dengan penambahan berat katalis *yield bio-oil* juga semakin besar. Terjadinya penurunan *yield bio-oil* disebabkan karena semakin banyaknya produk gas *non-condensable* yang terbentuk yaitu gas CH₄, CO₂, dan H₂ yang tidak terkondensasi (Amelisa, 2012). Pada penelitian ini *yield bio-oil* optimum berada pada variasi berat katalis Mo/Lempung 5% b/b terhadap biomassa kayu pinus dengan kadar logam Mo yang diimbangkan sebesar 3% b/b terhadap katalis Mo/Lempung.

3.3 Analisa Fisika dan Kimia *Bio-oil*

3.3.1 Analisa Fisika *Bio-oil*

Hasil uji karakteristik sifat fisika *bio-oil* dari biomassa kayu pinus yang diperoleh secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Analisa Fisika *Bio-oil* dari Biomassa Kayu Pinus

Logam	Katalis	Densitas (gram/ml)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)	Yield (%)
0%	3%	0,940	7,527	52	41,36
	5%	0,924	3,559	48	48,05
	7%	0,946	5,187	46	47,30
1%	3%	0,943	6,764	46	49,04
	5%	0,958	7,222	46	53,65
	7%	0,935	5,950	50	50,49
2%	3%	0,951	6,154	46	51,35
	5%	0,914	4,831	48	54,84
	7%	0,925	4,984	50	51,80
3%	3%	0,958	7,628	46	53,65
	5%	0,967	6,459	48	61,89
	7%	0,931	4,933	50	54,00

Dari Tabel 3.1 tersebut dapat dilihat bahwa densitas *bio-oil* yang dihasilkan berada pada *range* 0,914-0,967 gram/ml. Berdasarkan standar *range bio-oil* yang dikemukakan oleh Mohan dkk (2006), maka secara umum rata-rata densitas yang dihasilkan dengan menggunakan katalis Mo/Lempung berada pada *range* standar *bio-oil* yaitu 0,94-1,2 gram/ml. Menurut Mohan dkk (2006) nilai densitas dipengaruhi oleh berat molekul komponen-komponen yang terkandung didalamnya. Semakin tinggi berat molekulnya, maka densitas yang dihasilkan juga akan semakin besar. Nilai densitas *bio-oil* yang mendekati nilai densitas air ini menunjukkan bahwa *bio-oil* memiliki kandungan air yang cukup besar. Ningrum (2011) menjelaskan bahwa kehadiran air ini berasal dari kadar kelembaban (*moisture*) didalam umpan biomassa dan mengindikasikan masih adanya sedikit oksigen didalam reaktor yang memungkinkan terjadinya reaksi pembakaran biasa yang menghasilkan air dan karbon dioksida. Kondisi reaktor yang bebas dari oksigen tidak dapat diidentifikasi secara terukur.

Dari Tabel 3.1 juga dapat dilihat bahwa viskositas *bio-oil* yang didapat pada penelitian ini berada pada *range* 3,559-7,628 cSt. Berdasarkan data standar *bio-oil* yang dikemukakan oleh Mohan dkk (2006), maka viskositas *bio-oil* yang didapat pada penelitian ini secara umum sudah memenuhi standar *range bio-oil* yaitu 4-7 cSt. Menurut Mohan dkk (2006), viskositas yang tinggi menyebabkan *bio-oil* sulit untuk mengalir dengan baik selama proses distribusi dan penyimpanannya.

Selain densitas dan viskositas *bio-oil*, pada Gambar 3.1 juga dapat dilihat bahwa titik nyala *bio-oil* dari penelitian ini berada pada *range* 46-52°C. Berdasarkan data standar *bio-oil* yang dikemukakan oleh Mohan dkk (2006) yaitu 48-100°C, maka *range* titik nyala yang didapat pada penelitian ini secara umum sudah berada didalam *range*

standar *bio-oil* yang dikemukakan oleh Mohan dkk (2006). Ikhwansyah (2015) menjelaskan bahwa dengan titik nyala yang relatif rendah akan semakin mudah untuk terbakar. Mohan dkk (2006) juga menjelaskan bahwa titik nyala *bio-oil* yang terlalu rendah akan mempersulit dalam penanganan.

3.3.2 Analisa Kimia *Bio-oil*

a. Analisa Angka Keasaman

Hasil uji analisa angka keasaman *bio-oil* dari biomassa kayu pinus yang diperoleh secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Analisa Angka Keasaman *Bio-oil* dari Biomassa Kayu Pinus

Logam	Katalis	Angka Keasaman (mg NaOH/gram sampel)
0%	3%	74,783
	5%	80,450
	7%	78,579
1%	3%	72,831
	5%	70,848
	7%	66,541
2%	3%	75,617
	5%	91,939
	7%	71,628
3%	3%	64,944
	5%	105,282
	7%	60,752

Dari Tabel 3.2 dapat dilihat bahwa angka keasaman *bio-oil* dari biomassa kayu pinus berada pada *range* 60,752-105,282 mg NaOH/gr sampel. Angka keasaman yang didapat pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan *range* standar *bio-oil* yang dikemukakan oleh Mohan dkk (2006) yaitu sebesar 35,1-50 mg NaOH/gr sampel. Besarnya angka keasaman yang didapat pada penelitian ini

disebabkan karena proses pirolisis berlangsung pada suhu 320°C. De Wild (2011) mengemukakan bahwa proses pirolisis pada *range* suhu 150-300°C akan menghasilkan banyak senyawa asam hasil dekomposisi hemiselulosa. Mohan dkk (2006) menjelaskan bahwa kadar asam yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bio-oil* bersifat korosif terhadap bahan-bahan yang digunakan untuk penyimpanan ataupun pendistribusiannya, terutama bahan yang berasal dari *carbon steel*. Untuk itu disarankan media penyimpanan dan pendistribusiannya menggunakan bahan *stenlees steel* dan bahan polimer yang berasal dari olefin.

Pada penelitian ini *yield bio-oil* tertinggi didapat pada variasi berat katalis Mo/Lempung 5% dengan kadar logam Mo yang diimbangkan sebesar 3%. Hasil karakterisasi fisika dan kimia yang telah dilakukan selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil standar *bio-oil* dan dengan hasil dari peneliti terdahulu yang menggunakan bahan yang berbeda. Perbandingan sifat fisika dan kimia *bio-oil* dari biomassa kayu pinus dengan standar *bio-oil* dan perbandingan dengan hasil peneliti terdahulu secara berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Perbandingan Sifat Fisika dan Kimia *Bio-oil* dengan *Bio-oil Standard*

Parameter	<i>Bio-oil</i> dari Kayu Pinus	<i>Bio-oil Standard</i>
Densitas (gram/ml)	0,967	0,94 - 1,2*
Viskositas (50°C) (cSt)	6,459	4-7*
Titik Nyala (°C)	48	48 - 100*
Angka Keasaman (mg NaOH/gr sampel)	105,282	35,1-50*

Sumber: * Mohan dkk (2006)

Tabel 3.4 Perbandingan Sifat Fisika dan Kimia *Bio-oil* dengan Hasil *Bio-oil* Peneliti Terdahulu

Peneliti	Katalis	Yield (%)	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Analisa Fisika dan Kimia		Biomassa
					Angka Keasaman (mg NaOH/gr sampel)	Titik Nyala (°C)	
Penelitian Ini, 2015	Mo/Lempung	61,89	0,967	6,459	105,282	48	Kayu Pinus
Kusmiati, 2015	Ni/Lempung	61,03	0,856	9,306	24,986	54	Kulit Kayu Pinus
Hutabarat, 2012	Mo/NZA	54,7	0,918	3,091	55,14*	61	Pelepah Sawit
Sandra, 2012	Ni.Mo/Lempung	40,4	0,9625	8,990	45,71*	48	Cangkang Sawit

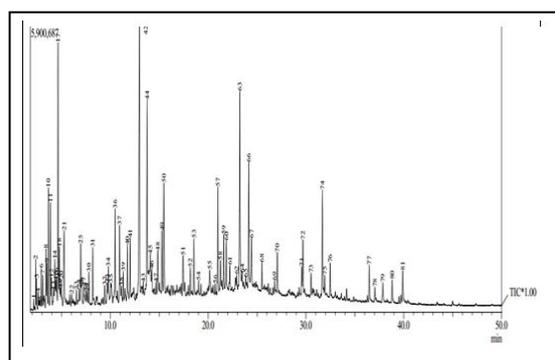
Keterangan: * gr NaOH/gr sampel

Dari Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa karakteristik fisika dan kimia yang didapat telah memenuhi *range* standar *bio-oil*. Tabel 3.4 juga dapat dilihat bahwa jika melihat acuan dari Kusmiati (2015), maka *yield bio-oil* yang didapat pada penelitian ini lebih besar dibandingkan dengan *yield bio-oil* yang didapat oleh Kusmiati (2015). Dengan demikian maka *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis biomassa kayu pinus berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar yang berasal dari sumber daya fosil. Namun untuk perkembangan berikutnya perlu adanya *treatment* tambahan untuk memperbaiki sifat fisika dan kimianya.

b. Analisa kimia GC-MS

Analisa komponen kimia *bio-oil* dilakukan dengan menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography - Mass Spectroscopy*). *Bio-oil* yang dianalisa adalah *yield bio-oil* tertinggi yang dihasilkan pada tiap-tiap variasi berat katalis Mo/Lempung yang digunakan. Pada penelitian ini *yield bio-oil* tertinggi pada tiap-tiap variasi katalis Mo/Lempung berada pada penggunaan logam Mo sebanyak 3% b/b terhadap lempung. Hasil kromatogram *bio-oil* untuk perolehan *yield* tertinggi yaitu sebesar 61,89% pada berat katalis Mo/Lempung 5% b/b terhadap biomassa

dengan kadar logam Mo 3% b/b terhadap lempung cengar dapat dilihat pada Gambar 3.3.



senyawa fenol. Hal ini dikarenakan suhu pirolisis yang digunakan adalah 320°C dan sebagian besar lignin didalam biomassa kayu pinus belum terdekomposisi.

Secara umum kinerja katalis dengan kadar pengembanan logam Mo sebesar 3% b/b terhadap lempung dalam proses pirolisis kayu pinus menjadi *bio-oil* sudah baik, karena telah dapat memperkecil jumlah komponen senyawa kimia *bio-oil* yang diperoleh serta memperbesar persentase beberapa komponen senyawa kimia penting yang terdapat pada *bio-oil*.

4. Kesimpulan

1. Kayu pinus dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan *bio-oil* dengan menggunakan katalis Mo/Lempung
2. Semakin banyak kadar logam Mo yang diembankan kedalam Lempung, maka *yield bio-oil* yang dihasilkan juga akan semakin besar.
3. *Yield bio-oil* tertinggi dihasilkan pada penggunaan katalis Mo/Lempung 5% b/b terhadap biomassa kayu pinus dengan kadar logam Mo 3% b/b terhadap lempung sebesar 61,89%. Sedangkan *yield bio-oil* terendah dihasilkan pada penggunaan katalis Mo/Lempung 3% b/b terhadap biomassa kayu pinus dengan kadar logam 0% b/b terhadap Lempung sebesar 41,36%.
4. Pada penelitian ini terjadi penurunan *yield bio-oil* pada penggunaan katalis Mo/Lempung sebesar 7% b/b terhadap biomassa kayu pinus.
5. Karakteristik sifat fisika dan kimia *bio-oil* dengan *yield* tertinggi pada penelitian ini yaitu densitas 0,967 gr/ml, viskositas 6,459 cSt, angka keasaman 105,282 mg NaOH/gr sampel dan titik nyala 48°C.
6. Senyawa dominan yang terkandung didalam *bio-oil* pada penggunaan katalis Mo/Lempung 5% b/b terhadap biomassa kayu pinus dengan kadar logam 3% b/b terhadap Lempung yaitu m-Methylcyclohexyl bromide 9,42%,

3-Butene-1,2-diol, 1-(2-furyl)- 6,95%, 2,2,3,3-Tetramethylbutane 6,12%, cis-2,2-Dimethyl-4-Decene 4,58%, dan 1-Propene, 2-methyl-, tetramer 3,78%.

Daftar Pustaka

- Abdul, S., dan W. Utami. 2011. *Pabrik Pulp dari Kayu Pinus Merkusii Jungh et de Vriese dengan Proses Acetocell. Tugas Akhir*. Institut Teknologi Surabaya.
- Agustin, Y. 2007. *Pengembangan Montmorillonite Sebagai Katalis Sintesis Biodiesel Melalui Esterifikasi Palm Fatty Acid Distillate*. Tesis. Institut Teknologi Bandung.
- Amelisa, T. 2012. *Pirolisis Limbah Pelepah Kelapa Sawit Menjadi Bio-oil Menggunakan Katalis Lempung Cengar*. Skripsi. Universitas Riau.
- Anggraeni, N.D. 2008. *Analisa SEM (Scanning Electron Microscopy) Dalam Pemantauan Proses Oksidasi Magnetite Menjadi Hematite*. Seminar Nasional-VII. Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri. Kampus ITENAS.
- Annisa, G. 2012. *Hidrodoksigenasi Bio-Oil Menggunakan Katalis CoMo/C untuk Optimasi Produksi Alkana dan Alkohol*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Anugra, R.D. 2010. *Efek Kandungan Logam Ni/NZA Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa Menjadi Bio-oil*. Skripsi. Universitas Riau.
- Auliah, A. 2009. *Lempung Aktif Sebagai Adsorben Ion Fosfat Dalam Air*. *Jurnal Chemica* Vol.10 Nomor 2 Desember 2009, 14-23.
- Awaluddin, A. 2007. *Proses Pencairan Langsung Biomassa Menjadi Bio-oil dengan Menggunakan Thermo-Oil*. I-MHERE Project. HEI-IU Universitas Riau.
- Bahri, S. 2011. *Katalis Logam Pengemban*. Pengantar Kuliah Katalis. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik; Universitas Riau.

- Bahri, S., dan R. Rivai. 2010. *Chemical Modification on Natural Clay and Its Application on Equilibrium Study of The Adsorption of Pb²⁺ in Aqueous Solution*. Jurnal Sains dan Teknologi 9 (2). September 2010: 49-54.
- Bahri, S., Muhdarina., dan Nurhayati. 2008. *Menyibak Potensi Lempung Alam Lokal Sebagai Adsorben Polutan Anorganik di Dalam Air*. Laporan Penelitian. Pekanbaru: Lembaga Penelitian Universitas Riau.
- BPPN. 2012. *Keselarasan Kebijakan Energi Nasional (KEN) dengan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan Rencana Umum Energi Daerah (RUED)*. Policy Paper. Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral, dan Pertambangan Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Btg-btl. 2012. <<http://www.btg-btl.com/en/fast-pyrolysis>>. Diakses tanggal 10 Maret 2015.
- Departemen Kehutanan dan BPS. 2004. *Potensi Hutan Rakyat Indonesia 2003*. <http://www.dephut.go.id/Halaman/pranalogi_kehutanan/PHRI_03/PHRI_03.htm>. Diakses tanggal 09 Mei 2015.
- Devitria, R., Nurhayati., dan S. Anita. 2013. *Sintesis Biodiesel dengan Katalis Heterogen Lempung Cengar yang Diaktivasi dengan NaOH: Pengaruh Waktu Reaksi dan Rasio Molar Minyak:Metanol*. J. Ind.Che.Acta Vol. 3 (2) Mei 2013.
- De Wild, P.J., Reith H., dan Heeres., HJ. 2011. *Biomass Pyrolysis or Chemicals*. Biofuels 2 (2), 185 - 208.
- Endriani, D. 2012. *Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Sawit Terhadap Daya Dukung dan Kuat Tekan Pada Tanah Lempung Ditinjau dari Uji UCT dan CBR Laboratorium*. Tesis. Universitas Sumatera Utara.
- Geankoplis, C.J. 1997. *Transport Processes and Unit Operations*. Third Edition. University of Minnesota.
- Goyal, H.B., D. Seal., dan R.C. Saxena. 2006. *Bio-fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources: A Review*. Indian Institute of Petroleum. India.
- Hassan, E.M., 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.
- Hutabarat, B. 2012. *Pirolisis Pelepah Sawit Menjadi Bio-oil Menggunakan Katalis Mo/NZA*. Skripsi. Universitas Riau.
- Ikhwansyah, A.I. 2015. *Konversi Termal Kayu Ketapang (Terminalia Catappa) Menjadi Bio-oil dengan Teknologi Pirolisis Menggunakan Katalis Ni/NZA*. Skripsi. Universitas Riau.
- Istadi. 2011. *Fundamental dan Aplikasi Teknologi Katalis untuk Konversi Energi*. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta. ISBN: 978-979-756-734-7.
- Jefriadi. 2012. *Peran Katalis Ni/NZA Pada Proses Pyrolysis Ampas Ubi Kayu Menjadi Bio-oil*. Skripsi. Universitas Riau.
- Jumarlina, 2009, *Pembuatan Bio-Oil dari Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Thermo-Oil dengan Proses Pencairan Langsung*. Skripsi. Universitas Riau.
- Jusniwarlis. 2011. *Efek Kandungan Logam Ni-Mo/NZA Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa Menjadi Bio-oil*. Laporan Penelitian. Universitas Riau.
- Kelana, J. 2010. *Pengaruh Pemakaian White Liquor (Lindi Putih) Terhadap Kadar Lignin Pada Proses Pemasakan Serpihan Kayu*. Karya Ilmiah. Universitas Sumatera Utara.
- Kesuma, A.Z. 2012. *Pyrolysis Cangkang Sawit Menjadi Bio-oil Menggunakan Katalis Ni/Lempung*. Skripsi. Universitas Riau.

- Kusmiati, L. 2015. *Pirolisis Kulit Kayu Pinus (Pinus Merkusii) Menjadi Bio-oil Menggunakan Katalis Ni/Lempung*. Skripsi. Universitas Riau.
- Lailunnazar, L., W. Wijayanti., dan M.N. Sasongko. 2010. *Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kualitas TAR Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni*. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Lestari, H.D., Subagjo., dan IGBN Makertihartha. 2006. *Sintesis Katalis NiMo Hydrotreating Coker Nafta*. Jurnal Teknik Kimia Indonesia, Vol. 5 No. 1 April 2006 : 365-373.
- Mohan, D., C.U. Pittman., dan P.H. Steel. 2006. *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-Oil: A Critical Review*. Energy and Fuels 2006, 20, 848-889.
- Muhdarina., dan A. Linggawati. 2003. *Pilarisasi Kaolinit Alam untuk Meningkatkan Kapasitas Tukar Kation*. Jurnal Natur Indonesia 6 (1): 20-2.
- Ningrum, A.O. 2011. *Proses Pembuatan Bio-oil dari Limbah Kelapa Sawit (Tandan, Cangkang, dan Serat) untuk Bahan Bakar Alternatif dengan Metode Fast Pyrolysis*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Pertamina Lubricants. 2013. *Panduan Pelumas Pertamina (Pertamina Lubricants Guide)*. Pertamina.
- Rachmat, A., Hasanudin, A, Krisna. 2011. *Pengaruh Temperatur Terhadap Distribusi Produk dan Sifat Fisik Produk Pirolisis Ban Karet Bekas Pada Atmosfir Vakum dan N₂*. Universitas Sriwijaya.
- Rahayu, P.E. 2012. *Konversi Minyak Sawit Menjadi Biogasoline Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Ratnasari, F. 2011. *Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit dengan Teknik Pirolisis untuk Produksi Bio-oil. Tugas Akhir*. Universitas Diponegoro.
- Sallata, M.K. 2013. *Pinus (Pinus merkusii Jungh et de Vriese) dan Keberadaannya di Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan*. Info Teknis EBONI Vol.10 No.2, Desember 2013 : 85-98.
- Sandra, A. 2013. *Konversi Cangkang Sawit Menjadi Bio-oil Menggunakan Katalis Ni.Mo/Lempung Cengar*. Skripsi. Universitas Riau.
- Sinaga, E.E. 2012. *Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Bio-oil dari Batang Jagung dengan Kapasitas 2.250 Ton/Tahun*. Universitas Sumatera Utara.
- Suarya, P. 2008. *Adsorpsi Pengotor Minyak Daun Cengkeh oleh Lempung Teraktivasi Asam*. Jurnal Kimia 2 (1), Januari 2008 : 19-24.
- Sulistiandi, T.Y. 2012. *Modifikasi Zeolit Alam Terimobilisasi Nanopartikel Au dengan Ligan 2.4.6-Trithiol-1.3.5-Triazina Sebagai Adsorben Ion Logam Pb(II) Dalam Limbah Cair*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Sunarno., Yelmida., S. Bahri., E. Saputra., dan M. Irfan. 2011. *Pirolisis Tandan Kosong Sawit Menjadi Bio-oil dengan Katalis CoMo/ZSM-5*. Prosiding. SNTK TOPI 2011 ISSN. 1907-0500.
- Sunarno., dan S.R. Yenti. 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.
- Trisunaryanti,W., E. Triwahyuni., dan S. Sudiono. 2005. *Preparasi, Modifikasi, dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam*. Jurnal Teknoin, Vol.10, No.4, Desember 2005, 269-282.
- Ulyani, V. 2008. *Reaksi Katalisis Oksidasi Vanili Menjadi Asam Vanilat Menggunakan Katalis TiO₂Al₂O₃ (1:1) yang Dibuat dengan PEG 6000*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Widiatmono, K., dan H. Siswanto. 2007. *Stabilisasi Tanah Lempung dengan Kapur Pertanian (CaCO₃) di Daerah Rawa Pening Kabupaten Semarang*. Thesis. Universitas Diponegoro.
- Yenti, N., dan S. Bahri. 2011. *Konversi Ampas Tapioka Menjadi Hidrokarbon Aromatik dengan Metode Pirolisis Menggunakan Katalis NZA (Natural Zeolit deAluminated)*. Skripsi. Universitas Riau.

