

Pirolisis Katalitik Kayu Akasia (*Acacia mangium*) menjadi *Bio-oil* dengan Katalis Mo/Lempung

Aulia Rahman¹, Syaiful Bahri² dan Khairat³

Laboratorium Teknik Reaksi Kimia

Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

*Email : awlia.rahman13@gmail.com

ABSTRACT

*Decreasing in fuel oil production capabilities and the increasing need for fuel oil will make Indonesia more addicted to fuel oil, thereby increasing the amount of fuel imports. In consequence, we need an innovation of energy conversion that does not rely on fossil resources, renewable and equal in value and function with fuel oil. One of that such innovation is the conversion of biomass derived from wood acacia (*Acacia mangium*) into bio-oil. Bio-oil can be produced through the pyrolysis process acacia (*Acacia mangium*) with catalyst Mo / Clay. The aims of this research is to produce bio-oil from acacia wood, determine the effect of pyrolysis temperature variations, the percentage and the amount of catalyst metal pengembanan Mo / clay and characterization of physical and chemical properties of bio-oil. Pyrolysis process carried out at the pyrolysis temperature variations 300°C, 320°C and 340°C, silinap 500 ml, biomass 50 grams with a size of -100 + 200 mesh sieve, the percentage variation of impregnation Mo metal to clay of 1%; 2% and 3%, as well as variations in the amount of catalyst Mo / clay of the biomass of 3%; 6% and 9%. The Results of this study is largest bio-oil yield in pyrolysis temperature of 320°C, the percentage of metal impregnation 2% and the use of catalysts Mo / clay 6% is 73,64%. Characterization of physical properties of bio-oil obtained in the form of density of 0,971 gr / ml, 2,079 cSt viscosity, acidity 58,369 mg NaOH / gram sample, the flash point 48°C and the calorific value of 29,567 MJ / kg. While the characterization of the chemical properties of bio-oil using Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GCMS), several dominant chemical components such as acetic acid with a total area of 35,86%, 2-propanone with an area of 17,69%, 2-amino, 1-propanol with an area of 7,05%, propionic acid and an area of 6,20% and 1-hydroxy-2-butanone with an area of 4,12%.*

Keywords: bio-oil, catalyst Mo/Lempung, pyrolysis, Acacia mangium wood

1. Pendahuluan

Penurunan kemampuan produksi minyak dalam negeri dan meningkatnya kebutuhan bakar minyak akan menyebabkan ketergantungan Indonesia terhadap minyak. Pada periode tahun 2011 - 2030 diperkirakan kebutuhan minyak dalam negeri akan meningkat hampir dua kali lipat dari 327 juta barel pada tahun 2011 menjadi 578 juta barel pada tahun 2030, tetapi tidak demikian dengan produksi minyak. Produksi minyak selama periode tersebut menurun lebih dari 60%, yaitu dari

329 juta barel menjadi 124 juta barel. [Sugiyono, dkk., 2013].

Oleh karena itu, diperlukan adanya usaha untuk mengurangi ketergantungan manusia terhadap energi tidak terbarukan tersebut. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui adalah pemanfaatan biomassa menjadi *bio-oil*. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan karena biomassa merupakan sumber energi yang ramah lingkungan serta jumlahnya yang berlimpah. Salah satu biomassa yang potensial untuk digunakan adalah kayu

akasia (*Acacia mangium*). Tanaman akasia dapat tumbuh baik pada tanah yang memiliki pH 4,2. Tumbuh pada daerah dengan curah hujan tahunan dengan variasi antara 1.000 mm/tahun sampai lebih dari 4.500 mm/tahun. Tanaman ini tumbuh pada ketinggian antara 30-130 mdpl [Irwanto, 2007].

Disisi lain, Provinsi Riau juga kaya akan sumber daya alam yang sangat potensial seperti lempung alam. Diperkirakan terdapat sekitar 562.500 m³ lempung jenis kaolinit yang tersebar di daerah Desa Air buluh dan Desa Pangkalan kabupaten Kuantan Singingi [Bahri, dkk., 2008]. Lempung alam telah dimanfaatkan menjadi material baru yang lebih berguna, salah satunya sebagai katalis. Lempung ini biasa disebut zeolit dua dimensional karena strukturnya berpori menyerupai zeolit akan tetapi karakteristik lempung sebagai material dua dimensional masih tampak sehingga lempung ini bersifat lebih fleksibel dibanding zeolit [Istina, dkk., 2002].

Untuk memproduksi *bio-oil* dari bahan baku kayu akasia, maka dilakukan dengan proses pirolisis. Palsongkram [2010] telah meneliti tentang potensi beberapa biomassa yaitu *Acacia mangium*, *Jatropha curcas* dan *Eucalyptus camaldulensis* sebagai *bio-oil* dengan teknologi pirolisis lambat. Penelitian ini menunjukkan bahwa *bio-oil* dari kayu akasia memiliki nilai kalor tertinggi dibanding dua biomassa lainnya dan menyatakan bahwa kayu akasia sangat direkomendasikan untuk dikembangkan sebagai bahan baku produksi bioenergi.

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia untuk menghasilkan produk dan proses yang terjadi adalah tanpa menggunakan oksigen. Untuk mempercepat terjadinya reaksi maka diperlukan adanya katalis. Dimana, katalis yang banyak

digunakan secara umum adalah katalis dalam bentuk logam teremban, karena logam dapat terdispersi secara merata pada permukaan pengemban [Sukma, 2014].

Mengingat jumlah tanaman akasia yang tersebar luas di Propinsi Riau dan potensi lempung yang berlimpah, maka perlu dilakukan suatu terobosan yang dapat mengolah tanaman akasia menjadi *bio-oil* sebagai sumber energi alternatif terbarukan dengan proses pirolisis menggunakan katalis Mo/Lempung.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

Pembuatan katalis Mo/Lempung

Proses pembuatan katalis Mo/Lempung dimulai dengan memperkecil ukuran lempung yang kemudian diayak dengan ayakan -100+200 *mesh* dengan ketentuan ukuran partikel yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 *mesh* dan tertahan pada pengayak 200 *mesh*.

Selanjutnya dilakukan proses aktivasi lempung. Sebanyak 150 gram lempung direfluks dalam 500 ml H₂SO₄ 1,2 M selama 6 jam pada suhu 50°C sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar bervolume 1 liter, kemudian disaring dan dicuci berulang kali sampai tidak ada ion SO₄²⁻ yang terdeteksi oleh larutan BaCl₂, *cake* dikeringkan pada suhu 120°C selama 4 jam dalam oven.

Tahap berikutnya, dilakukan pengembanan (impregnasi) logam Mo sesuai variasi yang ditentukan (1%; 2%, dan 3%) terhadap lempung. Proses dimulai dengan pengadukan sampel lempung aktif dan 200 ml (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O dalam reaktor alas datar ukuran 1 L pada suhu 60°C selama 3 jam. Selesai di aduk, sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 6 jam. Didapat katalis Mo/Lempung sesuai dengan persentase berat logam. Katalis

Mo/Lempung lalu diaktivasi katalis, dimana 50 gram Mo/Lempung dengan persentase logam Mo 1; 2; dan 3% dimasukkan ke dalam *tube* yang sebelumnya telah diisi dengan *porcelain bed* sebagai *heat carrier* dan diantara *porcelain bed* dengan unggun katalis diselipkan *glass woll* sebagai penyeimbang unggun katalis. *Tube* dipasang pada *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.

Proses Pembuatan *Bio-oil*

Biomassa berupa kayu akasia dijemur, kemudian dihaluskan untuk selanjutnya diayak dengan ayakan -100+200 *mesh*. Untuk tahapan pembuatan *bio-oil*, biomassa berupa kayu akasia yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermo-oil* (silinap) dan katalis Mo/Lempung dengan persentase (variasi 3%; 6% dan 9% terhadap biomassa) dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Proses pirolisis dilakukan pada variasi suhu 300°C, 320°C dan 340°C dengan mengalirkan gas nitrogen. Diaduk dengan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 2 jam. Kemudian terbentuk gas, gas yang terbentuk ini akan di kondensasi menggunakan kondensor sehingga dihasilkan *bio-oil*.

Produk berupa *bio-oil* selanjutnya dikarakterisasi dengan melakukan analisa fisika (densitas, viskositas, titik nyala dan nilai kalor) dan analisa kimia (angka asam dan GC-MS).

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah *Central Composite Design* (CCD) yang terdiri dari dua faktor yang terdapat dua taraf dari setiap faktor yang diberi kode

sebagai -1 dan +1 dan dilakukan lima pengulangan pengamatan pada titik pusat dengan kode 0. Pada penelitian ini terdapat tiga variabel berubah yaitu suhu pirolisis (X_1), pengembanan logam Mo (X_2) dan jumlah katalis Mo/Lempung (X_3).

Program untuk pengolahan data statistik diperoleh dari *download* melalui internet dengan alamat www.Statease.com yaitu program *Design-Expert DX6.0.8 (trial version)*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Desain dan Analisis Model *Yield Bio-oil*

Pengujian model dilakukan dengan *coded variable* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh koefisien – koefisien model yaitu suhu pirolisis, pengembanan logam dan jumlah katalis terhadap respon berupa *yield bio-oil*.

Rancangan percobaan dengan menggunakan kode variabel untuk tempuhan model ditampilkan pada Tabel 3.1. Kode variabel pada Tabel 3.1 akan digunakan untuk pengolahan data hasil percobaan.

Tabel 3.1 Variabel dan Kode Variabel pada Tempuhan Model

Perlakuan	Satuan	Level				
		-a	-1	0	1	+a
(X_1)	°C	286,36	300	320	340	353,64
(X_2)	%	0,32	1	2	3	3,68
(X_3)	%	0,95	3	6	9	11,05

Data *yield bio-oil* seterusnya diolah dengan menggunakan program Design Expert 6.0.8 sehingga diperoleh persamaan orde dua sebagai berikut :

$$y = 70,82 + 3,28 X_1 - 2,48 X_2 + 5,48 X_3 - 7,69 X_1^2 - 5,59 X_2^2 - 4,42 X_3^2 - 1,26 X_1X_2 - 2,02 X_1X_3 + 0,73 X_2X_3$$

Selanjutnya dilakukan pengujian kecocokan model terhadap respon dari hasil percobaan dengan analisis varian. Hipotesis

yang berlaku untuk pengujian adalah sebagai berikut :

H_0 : $X_1 = X_2 \dots = X_i$ tidak terdapat kesesuaian terhadap model

H_1 : Tidak semua X_i terdapat kesesuaian terhadap model

Nilai F_0 (Fhitung) lebih besar dibandingkan nilai $F_{0,05,9,10}$ (Ftabel). Hal ini berarti hipotesis H_0 dapat ditolak dan hipotesis H_1 diterima yang menunjukkan kesesuaian model yang diperoleh terhadap variabel bebas berupa suhu pirolisis (X_1), pengembangan logam (X_2) dan jumlah katalis (X_3).). Kemudian dari hasil analisis statistik akan didapat nilai koefisien determinasi (R^2) yang digunakan untuk mengetahui ketepatan sebuah model regresi dengan Y yang merupakan respon percobaan. Nilai R^2 yang didapat dari model regresi pada penelitian ini adalah 0,9814 yang mendekati nilai 1, sehingga model regresi memiliki kecocokan dengan respon percobaan.

Dilanjutkan dengan menentukan variabel yang berpengaruh dan yang tidak berpengaruh terhadap yield bio-oil yang dihasilkan. Hal ini dapat ditentukan dengan uji P-value. Pada uji P-value, H_0 dapat diterima apabila nilai P-value lebih besar dari nilai α dan sebaliknya H_0 ditolak apabila nilai P-value lebih kecil dari nilai probabilitas error ($\alpha = 5\%$) [Montgomery, 1991]. Hasil pengujian P-value pada penelitian ini yaitu nilai variabel – variabel yang besar dari nilai α adalah, X_1X_2 dan X_2X_3 sedangkan nilai variabel – variabel yang lebih kecil dari nilai α adalah X_1 , X_2 , X_3 , X_1^2 , X_2^2 , X_3^2 , dan X_1X_3 . Dari pengujian P-value tersebut maka persamaan sebelumnya dapat ditulis sebagai :

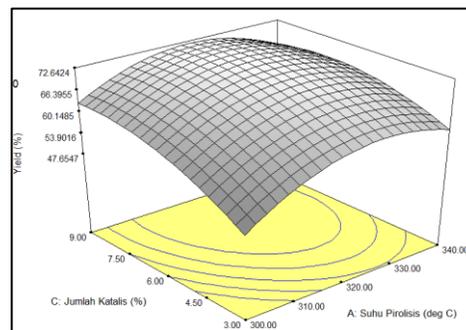
$$y = 70,82 + 3,28 X_1 - 2,48 X_2 + 5,48 X_3 - 7,69 X_1^2 - 5,59 X_2^2 - 4,42 X_3^2 - 2,02 X_1X_3$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui koefisien model yang paling

berpengaruh terhadap respon (*yield bio-oil*) berturut turut adalah adalah X_1^2 mewakili suhu pirolisis kuadratik, X_2^2 mewakili pengembangan logam kuadratik, X_3^2 mewakili jumlah katalis Mo/Lempung, X_3^2 mewakili jumlah katalis Mo/Lempung kuadratik, X_1 mewakili suhu pirolisis, X_2 mewakili pengembangan logam dan X_1X_3 yang merupakan interaksi antara suhu pirolisis dengan jumlah katalis Mo/Lempung, sedangkan interaksi antara suhu pirolisis dan pengembangan logam (X_1X_2) dan interaksi antara pengembangan logam dan jumlah katalis (X_2X_3) tidak berpengaruh terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan.

3.2 Pengaruh Kondisi Proses terhadap Yield Bio-oil

Terdapat tiga kondisi proses yang dipelajari yaitu suhu pirolisis (X_1), pengembangan logam (X_2) dan jumlah katalis Mo/Lempung (X_3). Berdasarkan hasil pengujian P-value, kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield bio-oil* adalah suhu pirolisis kuadratik. Pengaruh kondisi proses terhadap *yield bio-oil* ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 3.1 Pengaruh Suhu Pirolisis (oC) dan Jumlah Katalis (%) Terhadap *Yield Bio-oil* pada Pengembangan Logam 2%

Semakin tinggi suhu pirolisis yang diberikan maka *yield bio-oil* yang dihasilkan juga semakin tinggi hingga mencapai temperatur 320°C namun apabila temperatur

ditingkatkan lagi maka *yield* yang dihasilkan akan menurun. Hal ini terjadi karena dengan naiknya suhu, maka tumbukan antar partikel semakin besar, sehingga reaksi berjalan semakin cepat. Akan tetapi ketika suhu pirolisis terlalu tinggi, maka semakin banyak gas tak terkondensasi yang dihasilkan.

Menurut Setiadi dan Pertiwi [2007], sistem katalis logam pengemban dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari lempung sehingga aktivitas dari katalis juga semakin meningkat. Logam dapat meningkatkan keasaman katalis, dimana keasaman katalis yang tinggi dapat memberikan medium yang kondusif untuk proses katalitik. Oleh sebab itu, semakin besar kadar logam yang digunakan maka keasaman katalis akan semakin meningkat, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan juga semakin meningkat [Ginting, dkk., 2007].

Pada penggunaan katalis sebesar 9% b/b terhadap biomassa perolehan *yield bio-oil* mengalami penurunan pada kadar logam 3% Mo/Lempung. Penurunan *yield bio-oil* ini kemungkinan disebabkan karena banyaknya produk gas *non condensable* yang terbentuk, dimana pada saat proses perengkahan lebih banyak menghasilkan fraksi-fraksi hidrokarbon ringan yang tidak dapat dikondensasi [Onay, 2007]. 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

3.3 Karakterisasi *Bio-oil*

Untuk hasil analisa fisika berdasarkan *yield bio-oil* tertinggi, yaitu pada suhu pirolisis 320°C, persentase pengembanan logam 2% dan penggunaan katalis Mo/Lempung 6% berat diperoleh densitas 0,971 gram/ml, viskositas 2,079 cSt, angka

asam 58,369 mg NaOH/gram sampel, titik nyala 48 °C dan nilai kalor 29,567 MJ/kg. Data hasil perbandingan karakterisasi sifat fisika *bio-oil* dari kayu akasia, dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3

Tabel 3.2 Perbandingan Karakteristik Fisika *Bio-oil* dari Kayu Akasia dengan *Bio-oil* Referensi

No	Karakteristik	Satuan	<i>Bio-oil</i> Hasil Penelitian	<i>Bio-oil</i> Referensi
1	Densitas	gr/ml	0,971	0,94 - 1,21*
2	Viskositas Kinematik	cSt	2,079	15 - 35***
3	Titik nyala	°C	48	45 - 100*
4	Angka asam	mg-NaOH/g- <i>Bio-oil</i>	58,369	35,1 - 50*
5	Nilai Kalor	MJ/kg	29,567	16,5 - 17,5**

Keterangan : * : Mohan [2006]
 ** : Smallwod [2008]
 *** : Lehto, dkk., [2013]

Tabel 3.3 Perbandingan Hasil Karakterisasi Sifat *Bio-oil*

Peneliti	Katalis	Analisa Fisika					
		Y (%)	ρ (gr/ml)	μ (cSt)	Angka Asam (mg NaOH/gr sampel)	Titik Nyala (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)
Penelitian Ini, 2015 (Kayu akasia)	Mo/Lempung	73,64	0,971	2,079	58,369	48	29,635
Romadani, 2013 (Pelepah nipah)	NiMo/Lempung	63,64	0,884	9,486	47,92	45	54
Kusmiati, 2015 (Kulit pinus)	Ni/NZA	61,87	0,856	9,306	24,986	54	-
Meliaagustin, 2015 (Kayu akasia)	Mo/NZA	76,08	0,94	2,416	88,67	51	-

Dari Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 terlihat bahwa karakteristik *bio-oil* dari kayu akasia telah termasuk ke dalam *range* karakteristik dari *bio-oil* referensi, serta jika dibandingkan dengan karakteristik-karakteristik *bio-oil* dari peneliti sebelumnya tidak jauh berbeda.

Namun, viskositas yang didapat lebih kecil daripada viskositas *bio-oil* referensi (15-35 cSt), yaitu sebesar 2,079 cSt. Hal ini disebabkan hidrokarbon rantai pendek yang terdapat dalam *bio-oil* kayu akasia lebih banyak dari pada *bio-oil* referensi, dimana saat proses pirolisis banyak hidrokarbon rantai panjang yang terengkah menjadi hidrokarbon yang lebih pendek. Sehingga

menyebabkan viskositas *bio-oil* kayu akasia lebih kecil dibandingkan dengan *bio-oil* standar.

Berdasarkan hasil karakteristik fisiknya, maka *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis kayu akasia (*Acacia mangium*) potensial untuk dikembangkan sebagai sumber bahan bakar alternatif.

Dilakukan analisa kimia *bio-oil* berupa kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS) pada suhu pirolisis 320°C, persentase pengembunan logam 2% dan penggunaan katalis Mo/Lempung 6% untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung di dalam *bio-oil*. Dari hasil GC-MS, terdapat sebanyak 26 puncak jumlah senyawa pada *bio-oil*. Lima senyawa kimia paling dominan antara lain: asam asetat, 2-propanon, 2-amino, 1-propanol, asam propionat dan 1-hidroksi-2-butanon. Lima senyawa dominan ini merupakan komponen-komponen dalam *bio-oil* yang sebagian besar merupakan hasil dekomposisi dari selulosa dan hemiselulosa. Dapat dilihat bahwa *bio-oil* yang dihasilkan mengandung komponen-komponen yang diperlukan untuk menjadi *bio-oil*, seperti yang telah dijelaskan oleh Goyal dkk [2006], dimana komponen organik yang terdapat di dalam *bio-oil* yakni memiliki kandungan-kandungan dari kelompok asam, ester, alkohol, keton, aldehyd, alkena, furan dan senyawa lainnya yang merupakan karakteristik dari *bio-oil*.

Pada penelitian ini dapat dilihat bahwa *bio-oil* yang dihasilkan bersifat asam, hal ini disebabkan karena suhu pirolisis yang digunakan adalah 320°C, akibatnya yang banyak terdekomposisi adalah senyawa-senyawa yang terkandung di dalam selulosa dan hemiselulosa. Dimana, hemiselulosa terdekomposisi pada suhu 200-260 °C, dan selulosa terdekomposisi pada suhu 240-350 °C [Mohan, dkk., 2006]. *Bio-oil* yang dihasilkan dalam penelitian ini masih jauh dari produk tujuan, yaitu *bio-oil* dengan kandungan fenol lebih dari 50%, agar bisa

digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi. Hal ini disebabkan karena fenol didapat dari lignin, dimana lignin terdekomposisi pada suhu di atas 300°C. Suhu pirolisis yang digunakan adalah 320°C, sehingga sebagian besar lignin di dalam biomassa kayu akasia belum terdekomposisi. De wild [2011] telah menjelaskan bahwa pembentukan senyawa fenol merupakan hasil dekomposisi lignin di dalam biomassa pada rentang suhu 400-500 °C.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, *bio-oil* yang dihasilkan belum memenuhi kriteria sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi.

Pengembunan logam ke dalam katalis serta jumlah katalis Mo/Lempung terhadap biomassa mempengaruhi *yield bio-oil* yang dihasilkan. Pada penelitian ini *yield bio-oil* terbesar diperoleh pada suhu pirolisis 320°C, persentase pengembunan logam 2% dan penggunaan katalis Mo/Lempung 6%, yaitu 73,64%.

Karakteristik fisika *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini adalah densitas 0,971 gram/ml, viskositas 2,079 cSt, angka asam 58,369 mg NaOH/gram sampel, titik nyala 48 oC dan nilai kalor 29,567 MJ/kg. Serta senyawa kimia paling dominan antara lain: asam asetat, 2-propanon, 2-amino, 1-propanol, asam propionat dan 1-hidroksi-2-butanon.

5. Daftar Pustaka

- De Wild, P.J., Reith, H dan Heeres, H.J. 2011. *Biomass Pyrolysis for Chemicals*. Biofuels. 2 (2). 185 – 208. Chapter 1.
- Ginting, A. Br., Dian, A., Sutri, I. dan Rosika, K. 2007. Karakterisasi Komposisi Kimia. Luas Permukaan Pori dan Sifat Termal dari Zeolit Bayah. Tasikmalaya. dan Lampung.

- Goyal, H.B., D. Seal., dan R.C. Saxena. 2006. Bio-Fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources. A Review, India Institute of petroleum, India.
- Irwanto. 2007. Budidaya Tanaman Kehutanan. <http://www.irwantosht.com/pdf>. diakses pada 19 Maret 2015, Pkl 14:20 WIB.
- Istinia, Y., Rambat., dan Warjani, S., 2002, Penggunaan Cr₂O₃ Bentonit Sebagai Katalis Konverter Biofuel Menjadi Fraksi Benin, Buletin Penalaran Mahasiswa UGM,2(10)
- Kusmiati, L. 2015. Pirolisis Kulit Kayu Pinus (*Pinus merkusii*) menjadi *Bio-Oil* menggunakan Katalis Ni/Lempung. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- 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.
- Meliagustin, A. 2015. Konversi Termal Kayu Akasia (*Acacia mangium*) menjadi *Bio-Oil* dengan Teknologi Pirolisis menggunakan Katalis Mo/NZA. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Mohan, D., C.U. Pittman, dan P.H. Steel. 2006. *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*. *Journal Energy and Fuels* 20: 848-889.
- Onay, O. 2007. Influence of Pyrolysis Temperature and Heating Rate on the Production of Bio-oil and Char from Safflower Seed by Pyrolysis, Using a Well-Swept Fixed-Bed Reactor. Porsuk Vocational School, Anadolu University, Turkey.
- Palsongkram, M. 2010. Investigating the Potential for Energy Production from Different Short Rotation Coppices by Fixed Bed Pyrolysis Reactor. National Reasearch Tomsk Polytechnic University, Tomsk.
- Romadani, S. 2013. Konversi Pelepah Nipah menjadi *Bio-Oil* dengan Variasi Katalis Nimo/Lempung Cengar melalui Proses Pirolisis. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Setiadi dan A. Pertiwi. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa Abe menjadi Hidrokarbon
- Smallwod. 2008. Hydroprocessing of Pyrolysis Bio-oil to Fuel and Chemical. Pacific Northwest National Laboratory us. Departemant of Energy, www.saferalliance.net/2008/05/smallwod-2008-and-bioenergy-w.html.
- Sugiyono, A., Permana, A.D., Boedoyo, M.s., dan Adiarso. 2013. Pengembangan Energi dalam Mendukung Sektor Transportasi dan Industri Pengolahan Mineral. *Outlook Energy Indonesia*. BPPT.
- Sukma, A. A. 2014. Konversi Termal Kayu Ketapang (*Terminalla Catappa L.*) menjadi *Bio-oil* dengan Teknologi Pirolisis menggunakan Katalis NiMo/NZA. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.