

PYROLYSIS CANGKANG SAWIT MENJADI *BIO-OIL* DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS CoMo/NZA

Andika Syahputra, Syaiful Bahri, Sunarno

Laboratorium Teknik Reaksi Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik,

Universitas Riau 28293

Email : Andika_syah86@yahoo.com

HP : 085278084532

ABSTRAK

Aromatic hydrocarbons are an important component of petroleum constituent. So far, the only aromatic hydrocarbons obtained from the distillation process. For that, we need some conversion to get the aromatic hydrocarbons. One of them is to produce bio-oil. Bio-oil is produced from the pyrolysis. Biomass used in the pyrolysis process is shell oil. Furthermore pyrolysis also uses a metal catalyst with high levels of CoMo developing of 0%, 0.5%, 1%, and 1.5% w / w to NZA. Biomass shell oil 50 grams with a size of -40 +60 mesh, silinap 500 ml, and the catalyst CoMo / NZA 1.5 grams entered into a slurry reactor, and pyrolysis processes performed on the operating conditions of temperature 320⁰C and stirring speed of 300 rpm with a flow of nitrogen gas (N₂) as an inert gas. The results showed that the optimum yield obtained at the level of developing of a metal catalyst CoMo by 1% to 61.6% in the amount NZA. The test results obtained by the physical properties of density 1.077 g / ml, 10.803 cSt viscosity, acid number of 82.73 g NaOH / g sample, calorific value of 45.848 MJ / kg, and the flash point is 57 ° C. Results of analysis of chemical constituents by GC-MS, obtained the dominant chemical components of bio-oil is propanal, 2-oxo 15.47%, 13.78% Acetic acid, Ethyl 2-hidroxybutyrate 9.03%, 6.93% Ethanol , Hidroperoxide,1-Methylhexyl 6.22%. The results obtained have characteristics approaching the characteristics of standard fuel oil and bio-oil.

Keywords: Biomass, Bio-oil, Catalyst CoMo / NZA, Pyrolysis

1. PENDAHULUAN

Data Kementerian ESDM tahun 2010, menyatakan bahwa keberadaan cadangan energi fosil di Indonesia tidak akan lama. Berdasarkan data prediksi kebutuhan dan produksi minyak bumi dari DESDM [2007], bahwa kebutuhan minyak bumi akan mengalami peningkatan hingga pada tahun 2025 mencapai angka 610 juta barrel, sementara produksi minyak bumi realistis yang dapat dicapai semakin menurun hingga pada tahun 2025 mencapai angka 280 juta barrel. Untuk minyak bumi diperkirakan akan bertahan sekitar 24 tahun lagi [Hasrul dan Unik, 2011]. Oleh karena itu sudah menjadi kenyataan bahwa minyak berbasis fosil akan terus berkurang, sehingga harus dilakukan inovasi baru untuk lima tahun mendatang

menghasilkan minyak bumi berbasis non-fosil (*go greener*).

Di Indonesia, luas perkebunan sawit di daerah Riau terluas dibandingkan daerah lainnya. Luas areal kelapa sawit di Riau hingga 2010 mencapai 1.911.110 Ha, dengan produksi kelapa sawit sebesar 5.937.539 ton [BPS, 2011]. Masalah yang ditimbulkan oleh industri kelapa sawit salah satunya adalah limbah Pada industri minyak sawit setiap harinya dihasilkan limbah yang terdiri dari limbah padat berupa tandan kosong sawit, serabut, dan cangkang sawit, sedangkan limbah cair berupa *sludge oil*. Limbah cangkang sawit yang dihasilkan sebanyak 6,5 % per ton tandan buah segar [Deptan, 2006]. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik kelapa sawit di provinsi Riau akan

menghasilkan limbah cangkang sawit sebanyak 1057,37 ton/hari. Menurut penelitian Febijanto [2011], bahwa penggunaan cangkang sawit sebagai bahan bakar boiler hanya mampu mengurangi 40% dari keseluruhan jumlah limbah cangkang sawit yang ada di pabrik kelapa sawit. Jadi, terdapat 635 ton/hari limbah cangkang sawit yang belum dimanfaatkan di provinsi Riau. Limbah cangkang sawit yang dihasilkan akan bernilai ekonomis tinggi jika diolah lebih lanjut menjadi *bio-oil*.

Salah satu teknologi proses yang digunakan dalam pembuatan *bio-oil* yaitu *pyrolysis*. Pyrolysis biomassa cangkang sawit dengan katalis perlu dilakukan untuk mempercepat terjadinya reaksi pada suatu proses Pyrolysis. Katalis yang digunakan adalah katalis yang berbasis zeolit alam, Hal ini dikarenakan zeolit alam merupakan kristal yang memiliki sifat stabil terhadap panas [Indra, 2010]. Selain itu, Indonesia kaya akan zeolit alam yang tersebar di pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara dan Maluku dengan jumlah zeolit alam sebesar 16.600.000 ton [Dirjen Dikti, 2009]. Selama ini zeolit alam belum dimanfaatkan secara optimal, karena banyak penelitian pembuatan *bio-oil* yang menggunakan zeolit sintesis. Padahal, jika dilihat dari segi biaya harga zeolit alam jauh lebih murah yaitu Rp.4.000 /kg dibandingkan dengan zeolit sintesis yang harganya jauh lebih mahal yaitu Rp.100.000 /kg [Marliani, 2011]. Oleh karena itu, maka penting untuk dilakukan penelitian ini.

2. METODE PENELITIAN

Bahan- bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Zeolit alam Yogyakarta, HCl 6 N, NH₄Cl 1 N, Co(NO₃)₂.6H₂O, (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, aquades, gas N₂, O₂, dan H₂ AgNO₃, Cangkang Sawit, dan silinap 280 M (*thermo oil*). Sedangkan alat-alat yang digunakan yaitu lumpang porcelain, pengayak 40,60, 100 dan 200 mesh, reaktor alas datar ukuran 1 L, satu set motor pengaduk, oven, furnace tube, timbangan analitik dan tabung serta regulator gas N₂, O₂ dan H₂, reactor pyrolysis, condenser, heating mantle, thermocouple thermometer (Barnant), gelas piala, piknometer, viscometer Oswald, pengaduk listrik (Heidolph), dan GC – MS (Kromatografi

Gas-Spektroskopi Massa). Tahapan penelitian terdiri dari pembuatan katalis CoMo/NZA dan pembuatan *bio-oil*.

1) Pembuatan Katalis CoMo/NZA terdiri dari 4 tahap yaitu :

a. Perlakuan Awal Zeolit

Zeolit yang sudah membatu ditumbuk dan diayak dengan ukuran 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.

b. Aktivasi Zeolit

Aktivasi zeolit dengan cara refluks zeolit alam sebanyak 200 gram dalam larutan HCl 6 N sebanyak 500 ml selama 30 menit pada suhu 50°C sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar volume 1 liter, kemudian disaring dan dicuci berulang kali sampai tidak ada ion Cl⁻ yang terdeteksi oleh larutan AgNO₃, *cake* dikeringkan pada suhu 130°C selama 3 jam dalam oven. Sampel tersebut kemudian direndam kembali dalam 500 ml larutan NH₄Cl 1 N pada temperatur 90°C sambil diaduk pada reaktor alas datar selama 3 jam per hari yang dilakukan sampai satu minggu. Sampel tersebut kemudian disaring dan dicuci setelah itu dikeringkan dalam oven selama 24 jam. Pada tahap ini didapat sampel yang dinamai dengan sampel NZA.

c. Pengembunan (Impregnasi) Logam CoMo

Pengembunan (Impregnasi) logam Co dan Mo dengan cara sampel NZA direndam dalam larutan (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O dan direfluks pada suhu 90°C selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1 L, kemudian disaring dan dicuci. *Cake* kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 3 jam (diperoleh sampel Mo/NZA). Sampel tersebut kemudian direfluks kembali dengan larutan Co(NO₃)₂.6H₂O pada suhu 90 °C dengan waktu yang sama, kemudian disaring dan dicuci. Sampel ini dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 3 jam sehingga didapat sampel CoMo/NZA. Pengembunan logam divariasikan sebesar 0%, 0,5%, 1 % dan 1,5% b/b terhadap sampel NZA.

d. Kalsinasi, Oksidasi dan Reduksi

Sampel katalis dimasukkan ke dalam tube sebanyak 10 gram. Sebelumnya ke dalam tube telah diisi dengan *porcelain bed* sebagai *heat carrier* dan penyeimbang unggun katalis, di antara *porcelain bed* dengan unggun katalis diselipkan *glass woll*. Tube ditempatkan dalam *tube furnace* secara vertikal, dikalsinasi pada suhu 500°C selama 7 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*

a. Tahap Persiapan Biomassa

Pada tahap ini, biomassa berupa cangkang yang diambil dari PTPN V Sei Galuh, dicuci kemudian dijemur sampai kering di bawah terik matahari setelah itu dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kadar airnya sampai beratnya konstan. Biomassa tersebut kemudian dihaluskan dan diayak (*screening*) untuk memperoleh ukuran - 40+60 mesh.

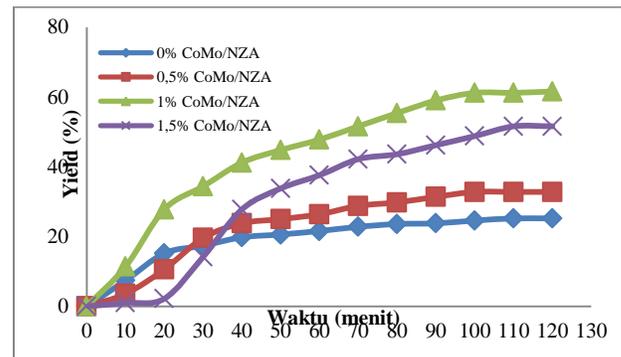
b. Tahap Penelitian

Biomassa yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermal oil* (silinap) dan katalis CoMo/NZA 1,5 gram, dimasukkan ke dalam reaktor *pyrolysis*. Pyrolysis dilakukan pada suhu 320°C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen 1,35 mL/detik. Diaduk dengan pengaduk listrik (*Heidolph*) pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama waktu tertentu hingga tidak ada *bio-oil* yang menetes lagi, dan aliran air dengan menggunakan kondensor. *Bio-oil* yang dihasilkan ditampung dalam gelas piala. Selanjutnya *bio-oil* yang dihasilkan dianalisa sifat fisika seperti densitas, viskositas, angka keasaman, nilai kalor, dan titik nyala serta analisa kimia menggunakan alat GC-MS untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung pada *bio-oil*.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Variasi Katalis CoMo/NZA terhadap *Yield Bio-oil* yang dihasilkan

Pengembangan logam CoMo/NZA diharapkan mempengaruhi *yield bio-oil* yang dihasilkan, pengaruh pengembangan logam diharapkan dapat meningkatkan *yield bio-oil*, proses pirolisis ini dilakukan pada suhu 320°C dengan menghitung massa *bio-oil* setiap 10 menit secara berkala, diperlukan waktu 120 menit sampai *bio-oil* tidak ada lagi menetes. Variasi kadar logam CoMo yang diembankan pada NZA adalah 0; 0,5; 1; dan 1,5% b/b, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Hubungan antara *Yield Bio-oil* terhadap Waktu pada Pengembangan logam CoMo (0; 0,5; 1 dan 1,5 % b/b) pada NZA

Dari Gambar 3.1 kurva hubungan variasi katalis terhadap *yield bio-oil* yang diperoleh dapat dilihat pengaruh katalis terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan. Dari penelitian ini *yield bio-oil* yang dihasilkan pada masing-masing pengembangan logam secara berurutan adalah 0% CoMo/NZA dihasilkan *yield bio-oil* (25,2%) ; 0,5% CoMo/NZA dihasilkan *yield bio-oil* (32,8%); 1% CoMo/NZA dihasilkan *yield bio-oil* (61,6%), 1,5% CoMo/NZA dihasilkan *yield bio-oil* (51,6%). Dari gambar 3.1 dapat dilihat *yield bio-oil* optimum didapatkan pada katalis 1 % CoMo/NZA sebesar 61,6%. Dari kurva pengaruh variasi katalis terhadap *yield bio-oil* ini menunjukkan hubungan pengembangan logam dengan *yield bio-oil*, penggunaan katalis meningkatkan *yield bio-oil* yang dihasilkan dibandingkan tanpa logam pengembangan, tetapi peningkatan kadar katalis CoMo/NZA berlebih pada 1,5% menunjukkan penurunan *yield bio-oil* yang

dihasilkan. Hal ini disebabkan adanya distribusi logam Co-Mo yang tidak merata pada permukaan zeolit yang menyebabkan keasaman dan aktifitas katalis semakin menurun. Berdasarkan penelitian sebelumnya disebabkan kenaikan pengembunan logam Co-Mo akan memberikan persentase jumlah di rongga zeolit akan semakin kecil di karenakan semakin banyak logam yang di impregnasikan maka, semakin banyak pula yang tidak tertampung ke dalam zeolit karena melebihi kapasitas zeolit yang terbatas atau terjadinya akumulasi logam aktif pada pori - pori zeolit sehingga menyebabkan dispersi logam-logam yang kurang baik yang akan berpengaruh pada keasaman dan kristalitasnya [Trisunaryanti, dkk., 2005].

3.3 Karakterisasi *Bio-oil*

Karakterisasi *bio-oil* dilakukan untuk menguji sifat fisika dan sifat kimia *bio-oil* yang diperoleh. Karakterisasi sifat fisika *bio-oil* meliputi pengujian densitas, viskositas, angka keasaman, titik nyala, dan nilai kalor. Sedangkan karakterisasi *bio-oil* yang dilakukan meliputi pengujian GC-MS.

3.3.1 Sifat Fisika *Bio-oil*

Hasil karakteristik sifat fisika *bio-oil* dari penelitian sebelumnya yaitu, Anugra[2011], Jusniwarlis [2011], Khor [2009], Sukiran [2008] dan Yi [2008] dengan biomassa yang berbeda-beda .

Perbandingan Karakteristik Sifat Fisika *Bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Perbandingan Karakteristik Sifat Fisika *Bio-oil*

Peneliti	Sifat Fisika			
	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Angka Keasaman (gr NaOH/gr sampel)	Titik Nyala (^o C)
Syahputra, 2012 1% CoMo/NZA	1,077	10,80	82,729	57
Anugra, 2011 3% Ni/NZA	1,0323	25,85	97,42	50
Jusniwarlis, 2011 1% CoMo/NZA	1,0468	27,34	79,699	55
Khor, 2009	1,031	13, 52	102,9	65
Sukiran, 2008	0,88-1	-	62,19-92,3	-
Yi, 2008	1,171	5,84-13,11	-	60

Dari Tabel 3.1, dapat dilihat sifat fisika *bio-oil* yang didapatkan masih berada pada range spesifikasi sifat fisika *bio-oil*. Densitas *bio-oil* diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 1,038 – 1,078 gr/ml. Adapun densitas tertinggi didapatkan dari *bio-oil* menggunakan katalis CoMo/NZA 0,5% (1,078 gr/ml), sedangkan densitas terendah didapatkan dari *bio-oil* dengan katalis CoMo/NZA 0 % (1,038 gr/ml). Nilai densitas yang didapatkan pada penelitian ini telah mendekati densitas *bio-oil* penelitian-penelitian sebelumnya seperti pada Tabel 3.1. Dengan massa jenis yang kecil, penggunaan *bio-oil* sebagai bahan bakar akan menguntungkan karena lebih ringan (Yi,2008).

Densitas *bio-oil* yang diperoleh pada setiap kadar pengembunan logam, dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Densitas *Bio-oil* dari Cangkang Sawit

Katalis		Densitas (gr/ml)
Support	Logam CoMo	
NZA	0%	1,038
NZA	0,5%	1,078
NZA	1%	1,077
NZA	1,5%	1,055

Pengujian viskositas *bio-oil* dilakukan dengan viskometer ostwald. Nilai viskositas yang didapatkan berkisar 10,42-10,82 cSt. Nilai viskositas terendah didapatkan pada katalis CoMo/NZA 0 % (10,42 cSt) sedangkan nilai viskositas tertinggi didapatkan pada katalis CoMo/NZA 0,5 % (10,82 cSt). Viskositas yang

rendah juga memudahkan *bio-oil* mengalir dari tangki bahan bakar ke mesin pembakaran (Yi,2008)

Tabel 3.3 Viskositas *Bio-oil* dari Cangkang Sawit

Katalis		Viskositas (cSt)
Support	Logam CoMo	
NZA	0%	10,42
NZA	0,5%	10,82
NZA	1%	10,80
NZA	1,5%	10,57

Nilai angka keasaman *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 62,948 – 95,716 (gr NaOH/gr Sampel), Nilai angka keasaman tertinggi pada katalis CoMo/NZA 1,5% (95,716 gr NaOH/gr sampel) sedangkan angka keasaman terendah pada katalis 0 % (62,948 gr NaOH/gr sampel). Semakin rendah angka keasaman pada *bio-oil*, maka semakin sedikit asam-asam organik yang terkandung pada *bio-oil* [Sukiran, 2008].

Angka keasaman *bio-oil* yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Angka Keasaman *Bio-oil* dari Cangkang Sawit

Katalis		Angka Keasaman (gr NaOH/gr Sampel)
Support	Logam CoMo	
NZA	0%	62,948
NZA	0,5%	74,571
NZA	1%	82,729
NZA	1,5%	95,716

Titik nyala *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 40 - 65 °C, Titik nyala tertinggi pada katalis 1,5 % yaitu 65 °C, sedangkan titik nyala terendah pada katalis 0 % yaitu 40 °C. Semakin besar persentase logam yang diembankan titik nyala yang didapatkan semakin tinggi. Diharapkan titik nyala *bio-oil* cukup tinggi, karena semakin rendah titik nyala dari *bio-oil* maka memiliki resiko yang besar untuk menimbulkan api dan terbakar [Yi, 2008].

Data Titik nyala yang diperoleh pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Titik Nyala *Bio-oil* dari Cangkang Sawit

Katalis		Titik nyala (°C)
Support	Logam Molibdenum	
NZA	0%	40,0
NZA	0,5%	44,0
NZA	1%	57,0
NZA	1,5%	65,0

Nilai kalor merupakan ukuran panas atau energi yang dihasilkan, dan diukur sebagai nilai kalor kotor / *gross calorific value*. Nilai kalor *bio-oil* yang diuji pada penelitian ini hanya satu sampel *bio-oil* yang terbaik yaitu pada 1% CoMo/NZA nilai kalornya adalah 45.848 Mj/kg setara dengan 10.958 kKal/kg. Nilai kalor beberapa bahan bakar minyak dibandingkan nilai kalor *bio-oil* hasil penelitian ini.

Tabel 3.6 Nilai kalor berbagai bahan bakar dan *bio-oil*

Bahan Bakar Minyak*	Nilai Kalor (kKal/kg)	Nilai Kalor <i>Bio-Oil</i> (kKal/kg)
Minyak Tanah	11.100	10.958
Minyak Diesel	10.800	
L.D.O	10.700	
Minyak Tungku/Furnace	10.500	
LSHS	10.600	

*Sumber : UNEP,2006

3.3.2 Analisa Kimia *Bio-oil*

Analisa sifat kimia *bio-oil* dilakukan dengan alat GC-MS (Kromatografi gas-spektrometer massa), sampel *bio-oil* yang dianalisa adalah sampel *bio-oil* 0% CoMo/NZA (tanpa katalis) dan 1 % CoMo/NZA. Dapat kita bandingkan hasil karakterisasi kedua sampel *bio-oil*.

Hasil kromatogram kedua sampel *bio-oil* adalah gambar 3.3 dan 3.4 di bawah ini :

digunakan. Kandungan biomassa yang terdiri dari karbon dan hidrogen dapat dijadikan dasar sebagai kandungan senyawa yang terdapat dalam bahan bakar [Quebec,2004]. Selain itu katalis juga mempunyai peran sebagai penyaring molekul yaitu menyeleksi reaktan, hasil dan produk akhir yang terlibat dalam proses katalitik [Ensyn Group INC 2001].

Oleh karena itu, dari hasil analisa sifat fisika dan kimia, serta data perbandingan dengan peneliti lainnya dapat disimpulkan bahwa *bio-oil* dari penelitian ini dapat diolah lebih lanjut menjadi sumber energi alternatif pengganti minyak bumi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Pengembangan Logam Co-Mo pada NZA mempengaruhi *yield bio-oil* yang dihasilkan, *yield* yang dihasilkan pada 0%; 0,5%; 1%; dan 1,5% berturut-turut adalah 25,2%; 32,8%; 61,6%; dan 51,6%. Sedangkan *yield* optimum diperoleh pada katalis 1% yaitu 61,6%.
2. *Yield* terbaik *bio-oil* pada 1% CoMo/NZA memiliki karakteristik fisika densitas 1,077 gr/ml, viskositas 10,80 cSt, Angka keasaman 82,729 gr NaOH/gr sampel, dan *flash point* 57°C. Sedangkan standar *bio-oil* adalah densitas 0,88-1,205 gr/ml, viskositas 5,48-1000 cSt, dan *flash point* 48-60°C. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini masih dalam range karakteristik standar *bio-oil* yang dapat digunakan menjadi bahan bakar.

4.2 Saran

Pada penelitian ini, masih ada gas-gas yang keluar dari reaktor pyrolysis. Diharapkan pada penelitian-penelitian pyrolysis yang lain harus lebih teliti, sehingga hasil yang didapatkan lebih baik. Namun demikian *bio oil* yang dihasilkan sudah mencapai standar sehingga perlu dilakukan penelitian lanjut mengenai *upgrading bio-oil* menjadi bahan bakar dengan metode HDO (*hydrodeoxygenation*).

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ditujukan kepada Bpk. Dr.Syaiful Bahri, Msi.,Ph.D dan Bpk. Sunarno, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing beserta rekan-rekan sepejuangan yang telah membantu dan memberi semangat dalam menyelesaikan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anugra, R.D., 2011, Efek Kandungan Logam Ni/NZA Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi *Bio-oil*, *Skripsi*, Universitas Riau.
- BP Statistical Review of World Energy., 2010, Review of World Energy, bp.com/statisticalreview, 19 September 2010.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Riau, 2011, Riau dalam Angka 2010, <http://riau.bps.go.id/publikasi-online.html>, 19 Mei 2011
- Departemen ESDM., 2010, *Upaya Pengembangan Energi Alternatif*, Jakarta.
- Departemen ESDM., 2007, *Upaya Pengembangan Energi Alternatif*, Jakarta.
- DEPTAN., 2006, Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit, Departemen Pertanian, Jakarta, 11-17.
- Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi., 2009, Proposal The Sixth Indonesian Seminar on Zeolite, Tangerang, Banten.
- Ensyn Group INC., 2001. *Bio-Oil Combustion Due Diligence : The Conversion of Wood and Another Biomass*. Cole Hill Associates
- Febijanto, I., 2011, Kajian Teknis dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi, Jakarta
- Hasrul dan Unik., 2011, Riau International Energy Expo 2011 (RIEX 2011) – Solusi Baru Sinergi Energi Fosil dan Energi Terbarukan, Indo Petro Magazine.
- Indra, Y.S., 2010, Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Ni/NZA untuk Proses Catalytic Cracking Tandan Kosong Sawit menjadi

- Bahan Bakar Cair, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Jusniwarlis, 2011**, Efek Kandungan Logam Ni-Mo/NZA pada Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi *Bio-oil*, *Skripsi*, Universitas Riau.
- 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
- Marliani, Lani., 2011**, Teknik Pemurnian Etanol,<http://chemicalfunny.wordpress.com/teknik-pemurnian-etanol/>, [30 juni 2011]
- Sukiran, MAB, 2008**, Pyrolysis Of Empty Oil Palm Fruit Bunches Using the Quartz Fluidised- Fixed Bed Reactor, *Dissertation*, University Of Malaya, Kuala Lumpur
- Trisunaryanti, W., E.Triwahyuni, dan S.Sudiono, 2005**, Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam, *TEKNOIN*, 10(4), 269-282.
- UNEP, 2006**.Bahan Bakar dan Pembakaran, United Nations Environment Programme Publisher
- Quebec., 2004**, Biomass, <http://www.mrn.gouv.qc.ca>, 10 Januari 2011
- Yi, L.X., 2008**, Development and Charaterisation of Continuous Fast Pyrolysis of Oil Palm She