

PIROLISIS BIOMASSA PELEPAH SAWIT MENJADI BIO-OIL DENGAN KATALIS NATURAL ZEOLIT DEALUMINATED (NZA)

Rajib Azri*, Syaiful Bahri, dan Aman****

*Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau

**Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

rajib.azri@yahoo.com

ABSTRACT

Petroleum as a primary energy source at this time, increasingly limited supply. Beside the population growth will lead to the increasing need for petroleum. To overcome these problems needed alternative energy sources that can be updated is one of the bio-oil. Bio-oil produced by pyrolysis process using biomass with warming, in the absence of oxygen. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the catalyst on the yield of bio-oil produced, knowing the value of density, viscosity, acid number and flash point of bio-oil as well as knowing the chemical components of the bio-oil by GC-MS method. Pyrolysis uses palm frond as much as 50 grams along with 500 ml silinap with NZA catalysts variation of 0%, 1%, 2%, 3%, and 4% w / w with a stirring speed of 300 rpm and a temperature of 320 ° C for 120 minutes. In this penelitian largest yield obtained on the catalyst NZA 3% variation of 44.4%. Characteristics of physical properties obtained are: density of 0.996 g / ml, 11.733 cSt viscosity, acid number 79.34 g NaOH / g sample, as well as the flash point 58 ° C. The results of GC-MS analysis, the dominant chemical components in bio-oil are acetic acid (40.90%); methanol (9.60%); methyl ester (2.30%); phenol (32.88%); 2-furancarboxaldehyde (8.98%).

Keywords : Bio-oil, Pyrolysis, NZA, Palm Frond

1. Pendahuluan

Saat ini dunia sangat bergantung pada minyak bumi sebagai sumber energi. Namun seperti yang kita ketahui, minyak bumi merupakan sumber energi yang tak dapat diperbaharui. Masalah yang akan menjadi pertanyaan *apakah* minyak akan habis, tetapi *kapan* minyak akan habis. Ini yang kita sebut sebagai krisis minyak dunia

Salah satu usaha untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi tidak terbarukan tersebut ialah

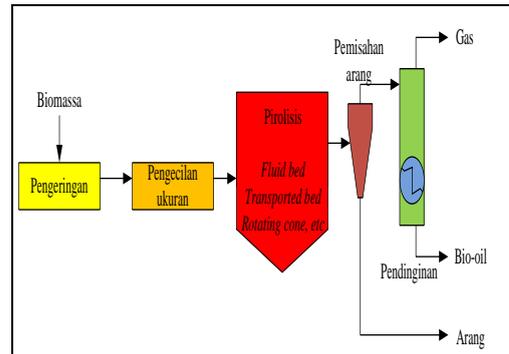
dengan memproduksi *bio-oil* dari biomassa yang diproses melalui teknologi pirolisis.

Indonesia adalah negara produsen kelapa sawit nomor dua di dunia setelah Malaysia. Di Indonesia, luas perkebunan kelapa sawit di daerah Riau terluas dibandingkan daerah lainnya. Luas areal kelapa sawit di Riau tahun 2012 mencapai 2.372.402 ha, dengan produksi kelapa sawit sebesar 7.340.809 ton [Dinas Perkebunan Provinsi Riau, 2012]. Kelapa sawit memiliki usia produktif

sekitar 25 tahun, setelah 25 tahun kelapa sawit harus diremajakan. Yang menjadi permasalahan pada industri kelapa sawit adalah limbah. Salah satu limbah yang dihasilkan dari pohon sawit yaitu pelepah sawit.

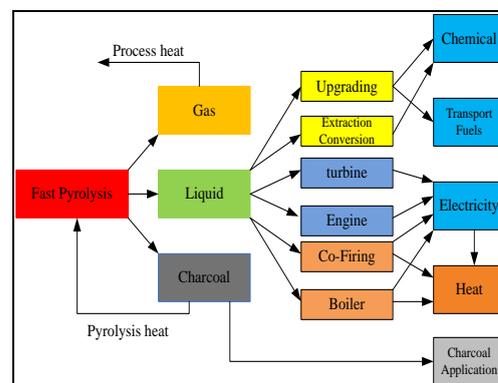
Disisi lain, Indonesia juga merupakan salah satu negara dengan potensi zeolit alam yang besar dan tersebar di pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara dan Maluku dengan jumlah zeolit alam sebesar 16.600.000 ton [Dirjen Dikti, 2009]. Selama ini zeolit alam belum dimanfaatkan secara optimal, karena banyak penelitian pembuatan *bio-oil* yang menggunakan zeolit sintesis. Padahal, jika dilihat dari segi biaya harga zeolit alam jauh lebih murah yaitu Rp.4000/kg dibandingkan dengan zeolit sintesis yang harganya jauh lebih mahal yaitu Rp.100.000/kg [Marliani, 2011].

Pirolisis merupakan proses termokimia dari dekomposisi termal biomassa menjadi molekul-molekul yang lebih kecil baik dalam bentuk padat, cair, ataupun gas tanpa kehadiran oksigen [Demirbas, 2007 dalam Xu *et al.*, 2012]. Nilson, *et al.*, [1999] dalam Mohan *et al.*, [2006] menyebutkan bahwa proses degradasi utama dari pirolisis terjadi pada suhu 225°C-325°C. Tipikal proses pirolisis terlihat pada Gambar 1, yang menggambarkan langkah-langkah persiapan biomassa, alternatif-alternatif reaktor yang digunakan, dan proses pengumpulan produk *bio-oil*.



Gambar 1. Konseptual proses pirolisis cepat [IEA Bioenergy, 2007]

Selain beberapa keunggulan dari *bio-oil*, diantaranya emisi NO_x yang 50% lebih sedikit daripada bahan bakar konvensional dan bebas dari CO₂ [Contained Energy Indonesia, 2011], *bio-oil* juga memiliki beberapa kelemahan yang menyebabkan penggunaannya masih terbatas hingga saat ini. Kelemahan-kelemahan tersebut antara lain, yaitu: keasaman yang tinggi (pH ~2,5), viskositas dan densitas tinggi, volatilitas rendah, serta tidak dapat bercampur dengan bahan bakar fosil [Xu *et al.*, 2012]. Menurut Williams *et al.*, [1994] dalam Mohan *et al.*, [2006] penggunaan katalis dapat meningkatkan kualitas *bio-oil*.



Gambar 2. Berbagai aplikasi produk-produk pirolisis [IEA Bioenergy, 2007]

Gambar 2 merangkum beberapa kemungkinan penggunaan dari produk-produk pirolisis, dimana terlihat bahwa *bio-oil* memiliki banyak manfaat bagi kehidupan. Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat diketahui potensi pelepah sawit untuk dijadikan *bio-oil* sebagai bahan bakar alternatif serta mengetahui pengaruh variasi katalis NZA terhadap biomassa pada *yield* dan kualitas *bio-oil* yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan

Zeolit alam Yogyakarta, Pelepah Sawit, HCl 6 N, NH₄Cl 1 N, AgNO₃, aquades, gas N₂, NaOH 0,1 N, asam oksalat 0,04 M, indikator PP dan silinap 280M (*thermo oil*).

Alat yang dipakai

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpang porcelain, pengayak 60, 80, 100 dan 200 mesh, reaktor alas datar ukuran 1 L, satu set motor pengaduk, *oven*, *heating mantel*, timbangan analitik, tabung dan regulator gas N₂, reaktor pirolisis, kontrol temperatur, pengaduk listrik, *condenser*, *thermocouple thermometer* (Barnant), *pignometer*, *viskometer* Ostwald, gelas piala, buret, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur, *Cleveland flash point tester*, dan GC – MS (Kromatografi gas-spektrometer massa).

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap yang dilakukan ialah: massa biomassa pelepah sawit 200 gr, ukuran partikel biomassa dan zeolit alam -100+200 mesh, temperature

pirolisis 320°C, waktu pirolisis 2 jam, dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Sedangkan Variabel berubahnya ialah: Persentase katalis NZA terhadap biomassa (0%; 1%; 2% ; 3%; 4% b/b).

Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

1. Pembuatan katalis NZA

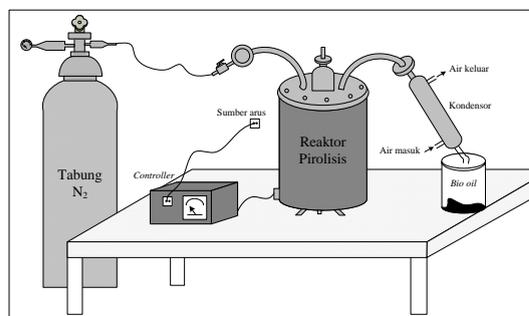
Tahap pertama zeolit alam digerus dalam lumpang porcelain untuk memperkecil ukuran partikel, kemudian diayak dengan ukuran - 100+200 mesh dengan ketentuan ukuran partikel yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 mesh dan tertahan pada pengayak 200 mesh. Tahap berikutnya aktivasi zeolit dengan perlakuan HCl dan NH₄Cl. Zeolit alam sebanyak 100 gram direfluks 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 pada temperatur 90 °C sambil diaduk pada reaktor alas datar selama 3 jam perhari yang dilakukan sampai satu minggu. Sampel tersebut kemudian disaring, dicuci dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam. Pada tahap ini didapat sampel yang dinamakan sampel NZA.

2. Sintesa *bio-oil*

Pada tahap ini, biomassa berupa pelepah sawit dijemur sampai kering

di bawah terik matahari setelah itu dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kadar airnya sampai beratnya konstan. Biomassa tersebut kemudian diayak (*screening*) untuk memperoleh ukuran yang lolos ayakan -60+80 mesh.

Selanjutnya Biomassa sebanyak 50 gram beserta 500 ml silinap dan katalis NZA 0.5 gram, dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Dipirolisis pada suhu 320°C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen 80 mL/menit. Diaduk dengan pengaduk listrik pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama waktu tertentu sampai tidak ada *bio-oil* yang menetes lagi pada penampung setelah melewati kondensor. *Bio-oil* yang dihasilkan ditampung dalam gelas piala. Diulangi untuk variasi katalis NZA 2, 3, 4% b/b. Gambar alat pirolisis dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3. Rangkaian alat proses pirolisis [Yenti, 2011]

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, titik nyala, dan nilai kalor dari *bio-oil* yang dihasilkan. Sedangkan analisa kimia dilakukan dengan GC-MS.

3. Hasil dan Pembahasan

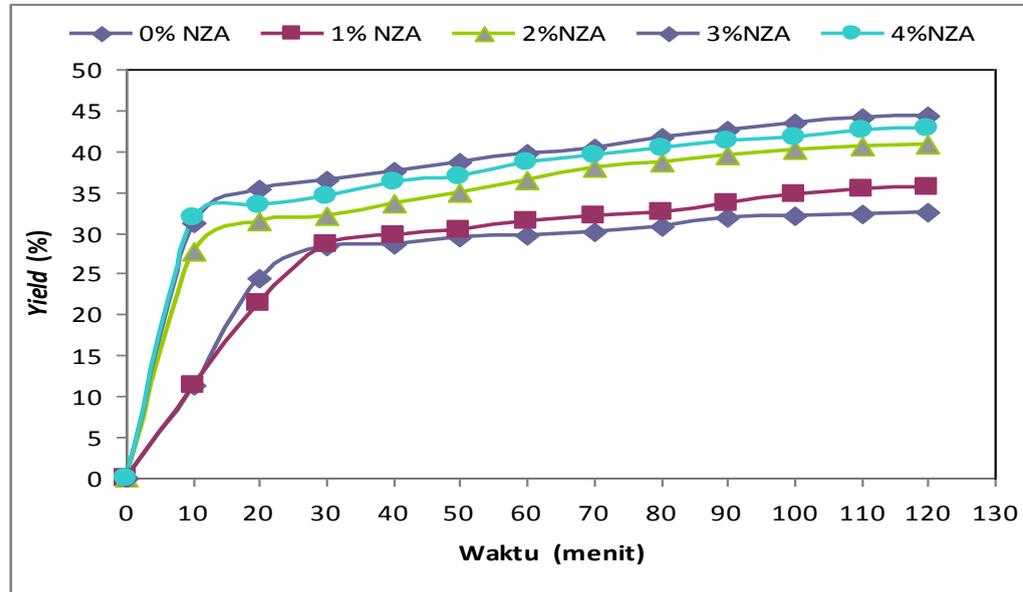
Untuk mengetahui pengaruh variasi katalis NZA yang digunakan terhadap *yield bio-oil* yang diperoleh akan digunakan variasi persen berat katalis NZA terhadap berat biomassa pelepah sawit sebesar 1, 2, 3, 4 %b/b. Sedangkan parameter lain tetap sama seperti yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu massa biomassa yang digunakan 50 gram, ukuran biomassa +100-200 mesh, silinap 500 ml, suhu pirolisis 320°C dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Pemilihan variasi katalis NZA ini untuk mengetahui perolehan *yield bio-oil* pelepah sawit.

Pengaruh Variasi Katalis NZA Terhadap *Yield Bio-oil* Pelepah Sawit

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa variasi katalis NZA mempengaruhi *yield bio-oil* yang di peroleh. Adapun perolehan *yield bio-oil* masing-masing pada penelitian ini terdiri dari *bio-oil* dengan variasi katalis NZA 0% (tanpa katalis) di peroleh *yield* 32,6%, dengan menggunakan variasi katalis NZA 1% di peroleh *yield* 35,6%, dengan menggunakan variasi katalis NZA 2% di peroleh *yield* 40,8 %, dengan menggunakan variasi katalis NZA 3% di peroleh *yield* 44,4 %, dan untuk variasi katalis NZA 4% di peroleh *yield* 42,8 %. Dari gambar 4.1 juga dapat dilihat bahwa *yield bio-oil* optimum terletak pada katalis 3% NZA yakni 44,4 %. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan katalis pada proses pirolisis dapat meningkatkan *yield bio-oil*. Namun pada variasi katalis NZA 4% terjadi penurunan *yield* yang diperoleh. Hal ini disebabkan pada saat proses

pyrolysis catalytic cracking uap organik banyak menghasilkan gas yang tidak terkondensasi dan cairan

bio-oil menurun, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan sedikit [Yenti, 2011].



Gambar 4 Pengaruh Variasi Katalis NZA Terhadap *Yield Bio-Oil* yang Dihasilkan

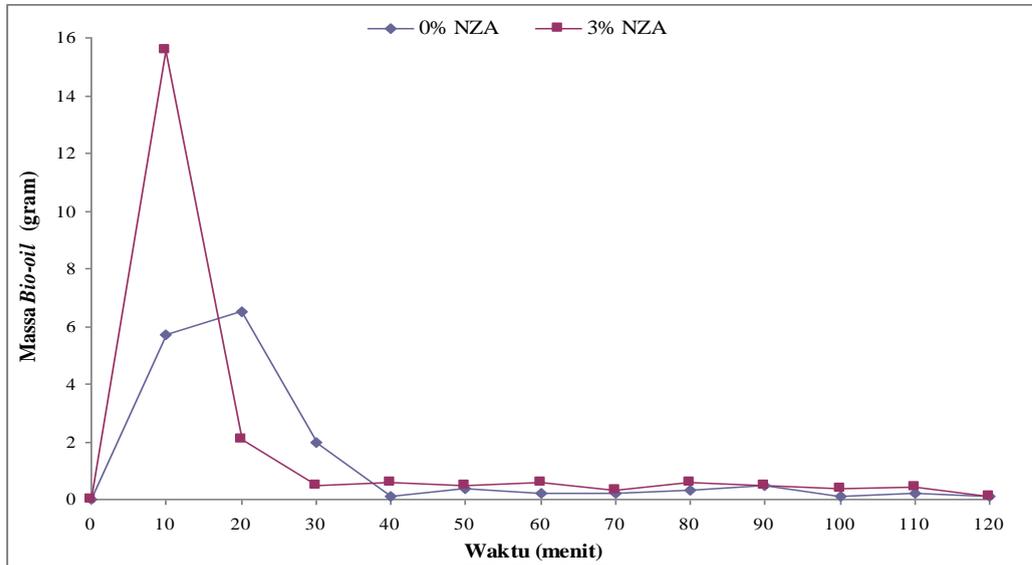
Pengaruh Katalis NZA Terhadap Penambahan Massa *Bio-oil*

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa perolehan *bio-oil* pada pelepah sawit tanpa menggunakan katalis, 20 menit pertama mengalami peningkatan, dengan perolehan tertinggi pada 20 menit, yaitu sebesar 6,5 gram. Pada rentang 20-120 menit, perolehan *bio-oil* mengalami penurunan kecuali pada menit 50 (0,4 gram), dan 90 (0,5 gram). Perolehan *bio-oil* pada pelepah sawit dengan menggunakan katalis 3% NZA, 10 menit pertama mengalami peningkatan, dengan perolehan tertinggi pada 10 menit, yaitu sebesar 15,6 gram. Pada rentang 10-120 menit, perolehan *bio-oil* mengalami penurunan kecuali pada menit 40 (0,6 gram), 60 (0,6 gram), dan menit 80 (0,6 gram). Adanya penurunan massa *bio-oil* yang dihasilkan berhubungan

dengan kecepatan reaksi, dimana kecepatan reaksi dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan. Berdasarkan penelitian Anugra [2011] dan Jusniwarlis [2011] pada awal reaksi konsentrasi reaktan masih tinggi, dengan meningkatnya waktu akan mengurangi konsentrasi dari reaktan, sehingga akan mengurangi volume serta mengurangi massa dari *bio-oil*.

Dengan pemakaian katalis 3% NZA pada *pyrolysis* pelepah sawit di dapat *bio-oil* yang lebih tinggi dari pada yang tidak memakai katalis, pada 10 menit awal mencapai 31,2 % dari total massa yang di peroleh (15,6 gr) bila dibandingkan tanpa katalis pada 20 menit awal yang hanya mencapai 24,4 % dari total massa yang di peroleh (6,5 gr). Secara keseluruhan *yield bio-oil* yang didapat dari proses *pyrolysis* menggunakan katalis NZA 3% jauh lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan

katalis NZA (0% NZA) hal ini meningkatkan *yield bio-oil*.
 menunjukkan bahwa katalis dapat



Gambar 5 Perbandingan Massa *Bio-oil* Pelepah Sawit terhadap Waktu dengan Katalis 0% NZA dan 3% NZA

Analisa Fisika Bio-Oil

Hasil karakterisasi fisika *bio-oil* yang meliputi pengujian densitas, viskositas, angka keasaman dan titik nyala akan dibandingkan dengan standar *bio-oil* dari peneliti lainnya. Berikut merupakan tabel perbandingan sifat fisika *bio-oil* dengan biomassa pelepah sawit

dengan katalis 3% NZA dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Dari Tabel 4.1 terlihat bahwa uji karakteristik *bio-oil* yang terdiri dari Densitas, Viskositas, Angka keasaman dan titik nyala yang didapat masih terdapat pada rentang yang dihasilkan oleh Peneliti sebelumnya.

Peneliti	Uji Sifat Fisika			
	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Angka keasaman (mg NaOH/gr sampel)	Titik nyala (°C)
3%NZA Azri, 2014	0,996	11,733	79,34	59
Yenti, 2011	0,998	10,37	68,65	52
Jusniwarlis, 2011	1,047	27,34	79,70	55
Hassan, 2009	1,2	25 - 1000	80,8 – 130,1	-
Khor, 2009	1,205	13,52	102,9	65
Smalwood, 2008	0,94 – 1,2	8,13-150	-	48-55
Sukiran, 2008	0,88 – 1,0	-	62,19 - 92,392	-
Yi, 2008	1,171	5,84-13,11	-	60

Tabel 1 Hasil Perbandingan Spesifikasi *Bio-oil*

Nilai densitas *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 0,946 – 1,016 gr/ml. Dimana nilai densitas terendah terletak pada penggunaan katalis 0% NZA sebesar 0,946 gr/ml, sedangkan nilai densitas tertinggi terletak pada penggunaan katalis 4% NZA sebesar 1,016 gr/ml. Nilai densitas *bio-oil* yang di dapat mendekati Jusniwarlis [2011]. Untuk keseluruhan densitas *bio-oil* yang di peroleh dari pelepah dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Variasi Katalis NZA	Densitas <i>Bio-oil</i> (gr/ml)
0%	0,946
1%	0,971
2%	0,985
3%	0,996
4%	1,016

Tabel 2 Nilai Densitas *Bio-oil*

Pengujian Viskositas *bio-oil* pada penelitian ini digunakan viskometer ostwald. Nilai Viskositas pada penelitian ini berkisar 9,416 – 11,733 cSt. Dimana nilai viskositas terendah terletak pada penggunaan variasi katalis 0% NZA sebesar 9,416 cSt, sedangkan nilai viskositas tertinggi terletak pada penggunaan katalis 3% NZA sebesar 11,733 cSt. Nilai Viskositas yang di dapat pada penelitian ini juga sesuai dengan rentang Yenti [2011] dan mendekati viskositas *bio-oil* Smalwood [2009] . Untuk keseluruhan nilai viskositas *bio-oil* dari pelepah sawit dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Variasi Katalis NZA	Viskositas (cSt)
0%	9,416
1%	10,669
2%	11,279
3%	11,733

4%	11,285
----	--------

Tabel 3 Nilai Viskositas *Bio-oil*

Pengujian angka keasaman *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 72,93 – 86,81 NaOH/gr sampel. Disini dapat dilihat bahwa angka keasaman terendah terletak pada penggunaan variasi katalis NZA 0% yakni 72,93 gr NAOH/gr sampel, sedangkan angka keasaman tertinggi terletak pada variasi katalis NZA 4% yakni 86,81 gr NaOH/gr sampel. Semakin rendah angka keasaman pada *bio-oil*, maka semakin sedikit asam-asam organik yang terkandung pada *bio-oil* [Sukiran, 2008]. Untuk keseluruhan nilai dari angka keasaman *bio-oil* dari pelepah sawit dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Variasi Katalis NZA	Angka Keasaman (gr NaOH/gr sampel)
0%	72,93
1%	81,14
2%	77,20
3%	79,34
4%	86,81

Tabel 4 Nilai Angka Keasaman *Bio-oil*

Pengujian titik nyala *bio-oil* menggunakan alat *Cleveland flash point tester*. Titik nyala pada penelitian ini berkisar 52-62. Titik nyala terendah terletak pada penggunaan variasi katalis 0% NZA yakni 52⁰ C, sedangkan titik nyala tertinggi terletak pada penggunaan variasi katalis 4% NZA yakni 62⁰ C . Titik nyala pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan penelitian Jusniwarlis [2009] dan Yenti [2011] Semakin rendah titik nyala suatu bahan bakar, maka semakin susah dalam hal penyimpanannya karna

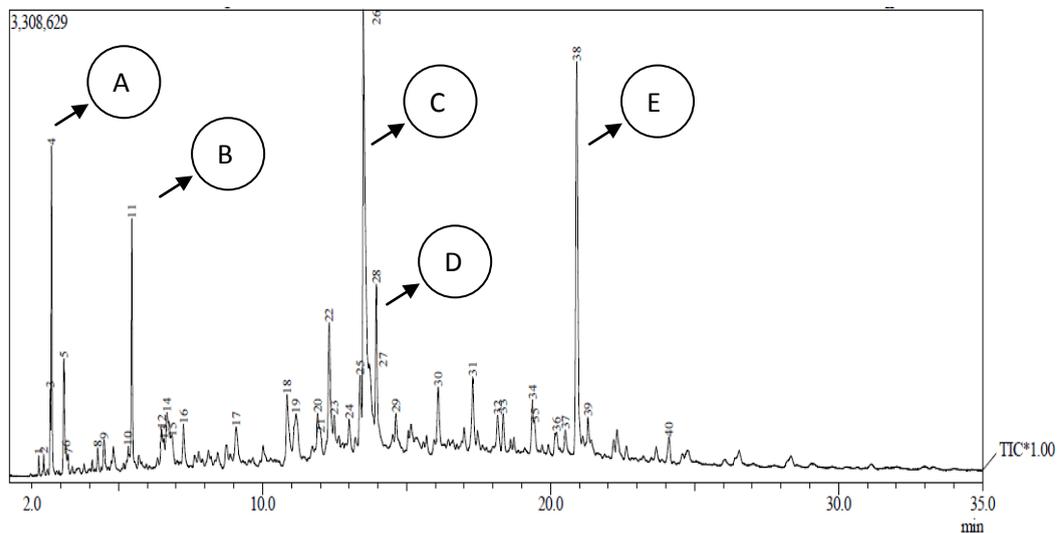
dapat menimbulkan api dan terbakar [Yi, 2008]. Untuk keseluruhan nilai Titik nyala *bio-oil* dari pelepah sawit dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

Variasi Katalis NZA	Titik Nyala (°C)
0%	52
1%	54
2%	57
3%	59
4%	62

Tabel 5 Nilai Angka Keasaman *Bio-oil*

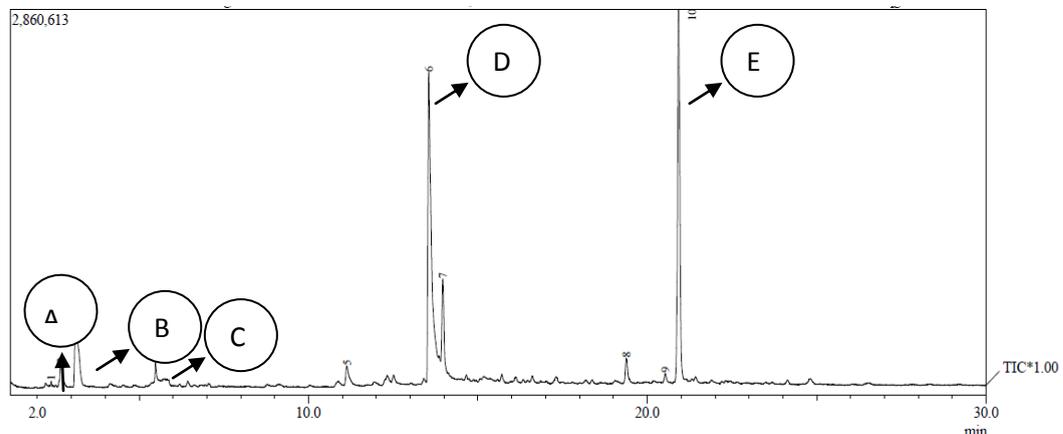
Analisa Kimia *Bio-oil*

Hasil analisa komponen-komponen kimia *bio-oil* yang dilakukan dengan menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography - Mass Spectrometry*) dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 berikut ini.



Gambar 6 Hasil Kromatogram *Bio-oil* Pelepah Sawit menggunakan 0% NZA

Dimana, A = Metyl acetate C = Acetic acid E = Phenol
 B = Methanol D = 2-Furancarboxaldehyde



Gambar 7 Hasil Kromatogram *Bio-oil* Pelepah Sawit menggunakan 3% NZA

Dimana, A= Metyl acetate C = Acetic acid E = Phenol
 B = Methanol D = 2-Furancarboxaldeh

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa penggunaan katalis NZA 0% dapat mendekomposisi lignoselulosa yang terdapat pada pelepah sawit menjadi 40 senyawa kimia dengan 5 senyawa kimia yang paling dominan pada *bio-oil* adalah Metyl acetate dengan luas area 5,05%, Methanol 4,47%, Acetic acid 21,68%, 2-furancarboxaldehyde 5,85% serta phenol 13,92%

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa penggunaan katalis NZA 3% dapat mendekomposisi lignoselulosa yang terdapat pada pelepah sawit menjadi 10 senyawa kimia dengan 5 senyawa kimia dominan pada *bio-oil* adalah Metyl acetate 2,30%, Methanol 9,60%, Acetic acid 40,90%, 2-furancarboxaldehyde 8,98% serta phenol 32,88%. Dari gambar 4.3 dan gambar 4.4 dapat dibandingkan bahwa dengan menggunakan katalis NZA 3% dapat memperkecil jumlah komponen kimia pada *bio-oil* dari 40 komponen kimia menjadi 20 komponen dan dapat mengarahkannya ke senyawa phenol, dimana senyawa phenol yang terdiri dari senyawa phenol murni meningkat dari 13,92% menjadi 32,88% dan senyawa turunan phenol (Phenol,2-methoxy) meningkat dari 1,73% menjadi 1,92%. Jika senyawa phenol lebih dari 50% maka *bio-oil* dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk masa yang akan datang [BTG, 2003]

4. Kesimpulan

1. Perolehan *yield bio-oil* pada variasi katalis NZA 0%; 1%; 2%; 3% dan

4% b/b berturut-turut sebesar 32,6%; 35,6%; 40,8%; 44,4% dan 42,8%. Hasil *yield bio-oil* yang terbaik diperoleh pada variasi katalis NZA 3% yakni 44,4%.

2. Karakteristik sifat fisika *bio-oil* dengan menggunakan variasi katalis NZA 3% antara lain: Densitas (0,996 gr/ml), Viskositas (11,733 cSt), Angka Keasaman (79,34 gr NaOH/gr sampel) dan titik nyala (59⁰C). Karakteristik sifat fisika *bio-oil* yang diperoleh tidak jauh berbeda dari penelitian *bio-oil* yang telah dilakukan sebelumnya.
3. Katalis NZA 3% dapat memperkecil jumlah komponen kimia yang terdapat pada *bio-oil*, menjadi 10 komponen kimia. Komponen kimia yang dominan antara lain : methyl ester (2,30%), methanol (9,60%), acetic acid (40,90%), 2-furancarboxaldehyde (8,98%) dan phenol (32,88%)
4. Katalis 3% NZA dapat memperbesar persentase tiga komponen kimia penting yang terdapat pada *bio-oil* , yaitu acetic acid, phenol 2-methoxy dan phenol.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis haturkan kepada kedua orang tua, Bapak Ansyori dan Nurazizah. Kepada rekan-rekan sesama penelitian di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis, serta seluruh teman sejawat Teknik

Kimia Universitas Riau yang telah banyak membantu dalam terselesaikannya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Anugra, R.D.**, 2011. Efek Kandungan Logam Ni/NZA Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi *Bio-oil*, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Anonymous.** Siliporite data. CECA and ATO. (2008). <http://www.cecachemicals.com/sites/ceca/en/home.page>. 18 Juni 2014
- Awaluddin, A.**, 2008. Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi Bio Oil dengan Menggunakan Thermo-Oil, I-MHERE Project, HEI-IU Universitas Riau.
- Bain, R.L.**, 2004, An Introduction to Biomass Thermochemical Conversion, *DEO/NASLUGC Biomass and Solar Energy Workshop*, August 3-4.
- Beyond Petroleum,** 2010, <http://www.bp.com> 15 Maret 2014
- Biomass Technology Group,** 2010, Process, Product & Technology Development Pyrolysis Oil Applications. <http://www.btgworld.com/index.php>, 15 Maret 2014.
- Dinas Pekebunan Provinsi Riau,** 2012, Luas Areal Perkebunan Menurut Jenis Tanaman. <http://www.riau.bps.go.id/publikasi-online/riau-dalam-angka-2010/perkebunan.html> 3 Juli 2014
- Ensyn Group INC,** 2001, *Bio oil Combustion Due Diligence : The Conversion Of Wood And Another Biomass*, Cole Hill Associates.
- Goyal, H.B dan D. Seal,** 2006, Bio-Fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources, Institute of Petroleum, India.
- Hambali, E., S. Mujdalipah, A.H. Tambunan, A.W. Pattiwiri, dan R. Hendroko.** 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia. Jakarta.
- Hassan, E., P.H. Steele, B. Mitchell, dan L. Ingram,** 2009, Physical and Chemical Characterization of fast pyrolysis Bio-Oil Produced from Various Southern Forestry Feedstocks, Forest Products Department, Mississippi State University.
- Indonesia Energy Statistics,** 2010, Penurunan Produksi Minyak Mentah Indonesia, www.esdm.go.id, 16 Juni 2014
- Indra, Y.S.,** 2010, Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis Ni/NZA Untuk Proses Catalytic Cracking Tandan Kosong Sawit Menjadi Bahan Bakar Cair, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Inovative Natural Resource Solution LLC.,** 2004. *New Hampshire Bio oil Oppurtunity Analysis*.
- Irfan, M.,** 2010, Pirolisis Tandan Kosong Sawit Dengan Katalis CoMo/ZSM-5 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*, *Skripsi*, Universitas Riau.
- Khor, K.H., dkk,** 2009, *Characterization of Bio-Oil A By-Product from Slow Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches*, *American Journal of Applied Sciences* 6 (9): 1647-1652.
- Marliani, Lani.,** 2011, Teknik Pemurnian Etanol, <http://www.marliani.wordpress.com>, 30 juni 2014.
- Mustain, 1997,** *Konversi Zeolit Alam Menjadi ZSM-5*, Tesis Magister, Program Studi Teknik Kimia Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung.
- Smallwod.** 2008. *Hydroprocessing of Pyrolysis Bio-oil to Fuel and Chemical*. Pacific Northwest National Laboratory us. Departemant of Energy. www.saferalliance.net/.../2008/05/smallwood-2008-and-bioenergy-w.html. 12 april 2014.
- Yenti, N.,** 2011, Konversi Ampas Tapioka menjadi Hidrokarbon Aromatik dengan Metode Pirolisis menggunakan Katalis NZA (Natural Zeolit deAluminated), *Skripsi*, Universitas Riau.