Pirolisis Tandan Kosong Sawit menjadi *Bio-Oil* dengan Katalis HZSM-5 melalui Proses Hidrodeoksigenasi

Dety P. Simorangkir, Sunarno dan Syaiful Bahri
LaboratoriumTeknik Reaksi Kimia Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau
Jl. HR Subrantas Km 12,5 Kampus Bina Widya Panam Pekanbaru 28293
detyputri@gmail.com

Abstract

Threats of fuel crisis and dependence on fossil fuels is still quite high. For that fact we need an alternative energy to replace crude oil as fuel. An alternative way is on converting biomass into bio-oil. Palm empty fruit bunch biomass is one that can be processed into bio-oil. Through pyrolysis hydrodeoxygenation using HZSM-5 catalyst is expected to produce bio-oil that having quality of the fuel. In this study, biomass, silinap, and HZSM-5 catalyst were introduced into the slurry reactor, having N_2 gas flowing and then H_2 gas flow is switched at 200^0C for replacing N_2 gas. Variables measured in this study, were the size of biomass particle ±0.5cm, biomass weight 50 g, stirring speed 300 rpm and flow rate of N_2 and H_2 gas were 80 ml/min, while the temperature is varied. This variation of temperature is aimed to determine the effect of temperature on the quality and yield of bio-oil produced. Optimum yield of bio-oil is obtained at 320^0C having ratio of HZSM-5 catalyst 2% w/w i.e. 55.975%. It has been measured of bio-oil physical properties such as calorific value 42.054 MJ/kg; density 0.996 g/ml; viscosity 1.12 cSt; flash point 38°C and acidity 21.946 g NaOH/g sample, respectively. Based on the GC-MS analysis of the results showed that the component of the bio-oil, among others were acetic acid 45.21%, phenol 23.74%, methyl alcohol 15.33%, furan carboxy aldehyde 4.64%, propanoid acid 2.23%, respectively.

Keywords: Biomass, Bio-oil, HZSM-5 Catalyst, Pyrolysis, Hydrodeoxygenation

1. Pendahuluan

Ancaman krisis bahan bakar minyak dan ketergantungan pada bahan bakar fosil masih cukup tinggi. Faktor utama penyebab kondisi tersebut adanya ketidakseimbangan antara pasokan dan kebutuhan. Berdasarkan Outlook Energi Indonesia (2010) pasakon minyak bumi diperkiraan produksi minyak mentah di Indonesia pada tahun 2020 sebesar 190 juta barel, sedangkan konsumsi minyak bumi pada tahun 2020 diperkirakan sebesar 410 juta barel . Beberapa pilihan yang dapat dilakukan antara lain dengan meningkatkan usaha - usaha eksplorasi cadangan baru, peningkatan perolehan minyak, penghematan penggunaan bahan bakar serta menyiapkan energi alternatif pengganti minyak bumi.Salah satu cara alternatif yaitu dengan mengkonversikan biomassa menjadi *bio-oil.*

Luasnya lahan kebun kelapa sawit akan menghasilkan limbah padat sawit yang sangat banyak. Limbah industri sawit ada 3 yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Limbah padat yang dihasilkan oleh industri sawit yaitu TKS, pelepah sawit, dan cangkang sawit yang belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah cair yang dihasilkan yaitu *sludge oil*, sedangkan limbah gas yang dihasilkan industri sawit yaitu gas – gas buang yang dihasilkan pada proses industri. Selama ini, TKS dimanfaatkan sebagai pupuk dalam perkebunan kelapa sawit (*land application*) dan sebagai pakan ternak. TKS akan lebih bermanfaat jika diolah lebih lanjut menjadi *bio-oil* dengan proses pirolisis.

Untuk melakukan pirolisis diperlukan bahan baku biomassa. Biomassa mengacu pada material organik yang diperoleh dari

tanaman atau hewan [Loppinet-Serani dkk dalam Basu, 2011]. Biomassa yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah padat sawit yakni TKS. Dalam rangka penggunaan *bio-oil* sebagai bahan bakar transportasi dibutuhkan transformasi kimiawi untuk meningkatkan stabilitas termal dan menurunkan viskositas melalui penghilangan oksigen dan reduksi berat molekul [Elliot, 2007].

Dalam melakukan pirolisis ini dibutuhkan katalis untuk mempercepat laju reaksi. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah HZSM-5. Kelebihan dari katalis HZSM-5 yaitu stabil hingga suhu 1023 ^{0}C dan lebih stabil dalam kondisi asam kuat [Lestari, 2010].

Sukiran [2008] melakukan pirolisis TKS diperoleh *yield* terbesar 42,28% pada suhu 500^{0}C, kecepatan pemanasan 100°C/min, ukuran partikel 91-106 µm, nilai kalor yang diperoleh adalah : 19,92 MJ/kg, pH : 3,1 dan densitas 0,88 gr/cm^2 serta angka keasaman 68,63 (mg KOH/g). Irfan [2010] melakukan penelitian pirolisis TKS dengan katalis CoMo/ZSM-5 dengan yield terbesar 76% yaitu dari 3% berat katalis pada suhu 320°C. *Bio-oil* yang dihasilkan memiliki titik nyala 48°C, densitas 1,079 gr/ml, viskositas 13,13 cP dan nilai kalor 27,8 MJ/kg. Aisyah [2011] melakukan penelitian pirolisis TKS dengan katalis HZSM-5 dengan yield terbesar 73,6% yaitu dari 2% berat katalis pada suhu 320°C. *Bio-oil* yang dihasilkan memiliki titik nyala 49°C, densitas 1,008 gr/ml, viscositas 12,63 cP.

Untuk mendekati nilai kalor diperlukan modifikasi dari pirolisis biasa yaitu meningkatkan rasio H/C dari *bio-oil*. Penambahan H_2 dapat menyebabkan penghilangan oksigen dengan *internal dehydration* dan *decarboxylation* selama awal proses pirolisis [Zhang dkk., 1999]. Penghilangan oksigen meningkatkan nilai kalor dan menuntun produk agar mendekati *properties* hidrokarbon. Hal ini dapat menghasilkan produk dengan rasio H/C yang lebih tinggi dan sejalan dengan meningkatnya nilai kalor produk [Goudarian dkk., 2000].

Pada penelitian sebelumnya, nilai kalor yang dihasilkan masih kecil dari nilai kalor BBM. Dengan pirolisis melalui proses hidrodeoksigenasi diharapkan memperoleh *bio-oil* dengan nilai kalor yang mendekati nilai kalor BBM yaitu sebesar 41,87 MJ/kg s/d 48 MJ/kg.Nilai kalor sangat penting sebagai salah satu parameter kualitas bahan bakar.

2. Metode Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitularutan NaOH, $Al(OH)_3$, NH_4NO_3, aquades, TKS, gas N_2, dan gas H_2, silinap 280M, silika presipitasi.Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpang porselin, buret, ketel 2 liter, *oven*, *tube furnace*, *heating mantle* (*Electromantle* MA), *thermocouple thermometer* (Barnant), teflon, reaktor *autoclave*, tabung dan regulator gas N_2 dan H_2, reaktor *pyrolysis*, kondenser, gelas piala, gelas ukur, timbangan analitik, kertas saring, piknometer, viskometer Oswald, dan pengaduk listrik (*Heidolph*).Tahapan penelitian terdiri dari persiapan biomassa, pembuatan ZSM-5, pembuatan HZSM-5 dan pembuatan *bio-oil* dari pirolisis tandan kosong sawit dengan menggunakan katalis HZSM-5 melalui proses hidrodeoksigenasi.

a. Persiapan Biomassa

Biomassa berupa TKS dicuci lalu dikeringkan di bawah terik matahari setelah itu dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105ºC selama 30 menit. Perlakuan ini diulangi hingga berat yang diperoleh konstan dan kemudian biomassa dipotong-potong kecil-kecil dengan ukuran potongan ±0,5 cm.

b. Pembuatan ZSM-5.

Sintesis ZSM-5 mengacu pada prosedur yang telah dilakukan oleh Wan Junaidi [2012] dengan kondisi suhu 175°C, rasio Si/Al 30 selama 18 jam. ZSM-5 dapat dibuat dengan cara mensintesa silika presipitasi dan natrium aluminat.

Pembuatan silika terpresipitasi menggunakan bahan baku abu sawit. Abu sawit yang berasal dari pabrik pengolahan sawit dikonversi menjadi silika terpresipitasi dengan cara Abu sawit terlebih dahulu di *furnace* pada suhu 400^0C selama 4 jam sehingga diperoleh abu yang memiliki warna abu-abu. *Furnace* bertujuan untuk menghilangkan karbon yang terkandung di dalam abu. Kemudian abu diayak (-40+60 mesh) untuk mendapatkan abu dengan diameter partikel yang lebih kecil.

Pencampuran padat cair dilakukan dengan perbandingan 1:6. Sebanyak 178,33 gram abu sawit yang dicampurkan dengan 1 liter larutan NaOH 2N. Campuran tersebut dimasak di dalam reaktor 2 liter yang dirangkai dengan pengaduk dan kondenser pada suhu 105^oC serta kecepatan pengadukan 500 rpm selama 4 jam. Setelah dipanaskan, larutan dibiarkan dingin dan kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dan *cake*. Filtrat yang dihasilkan yaitu Natrium Silikat dan digunakan sebagai *sampel* untuk tahap presipitasi.

Larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) sebanyak 900 ml dimasukkan ke dalam gelas kimia 1000 ml, diaduk dan dipanaskan dalam *Waterbath*. Variabel tetapnya yaitu suhu 95^oC, Kecepatan pengadukan 100 rpm, dan dengan penambahan HCl 10 N hingga mencapai pH 8,5. Pada pH 8.5 larutan membentuk endapan. Endapan yang terbentuk tersebut dicuci dengan aquades, setelah itu dikeringkan di dalam oven pada suhu 200^0C.

Sumber Alumina berupa Natrium Aluminat merupakan campuran $Al(OH)_3$ dan NaOH. Natrium Aluminat dibuat dengan cara melarutkan 109,5 gr NaOH dalam 1000 ml akuades, ke dalam larutan tersebut dimasukkan sebanyak 76 gr $Al(OH)_3$ sambil diaduk. Setelah semua $Al(OH)_3$ larut kemudian didiamkan hingga terbentuk endapan. Endapan kemudian disaring dan dipanaskan dalam oven sampai kadar airnya konstan [Zahrina, dkk., 2006].

Sintesis ZSM-5 akan dilakukan dengan cara melarutkan 1,9 grnatrium aluminat dicampur dengan 125 ml aquades (suspensi 1). Abu sawit yang telah dikonversi menjadi silika terpresipitasi seberat 25 gr dicampur dengan 105 ml aquades (suspensi 2). Suspensi 1 dicampur dengan suspensi 2 sehingga menghasilkan suspensi 3. Selanjutnya ke dalam suspensi 3 ditambahkan 6,037 gr NaOH sehingga diperoleh nisbah Na_2O/Al_2O_3 7,4 [Vempati, 2002]. Pada suspensi 3 dilakukan pengadukan selama 30 menit, setelah itu dimasukkan dalam reaktor *autoclave* pada temperatur 175^oC dan waktu selama 18 jam. Padatan yang terbentuk dicuci dengan aquades. Padatan dikeringkan dalam oven pada temperatur 110^oC selama 6 jam.

c. Pembuatan HZSM-5

Pembuatan HZSM-5 dilakukan dengan cara yang sama seperti yang dilakukan Rizqan [2011]. Pembentukan HZSM-5 dilakukan dengancara ZSM-5dilakukan pertukaran ion dengan NH_4NO_3dengan konsentrasi 0,5M . Pertukaran ion ZSM-5 dengan NH_4NO_3 dilakukanpada suhu 80^oC, kecepatan pengaduk 100 rpm selama 12 jam. Untuk basis 10 gr ZSM-5 dilarutkan dengan 300 ml NH_4NO_3. HZSM-5 yang terbentuk disaring, dicuci dan dikeringkan pada suhu 90^oC selama 24 jam. Kemudian HZSM-5dikalsinasi pada suhu 500^0C selama 5 jam.

d. Pirolisis Tandan Kosong Sawit dengan Katalis HZSM-5 melalui Proses Hidrodeoksigenasi

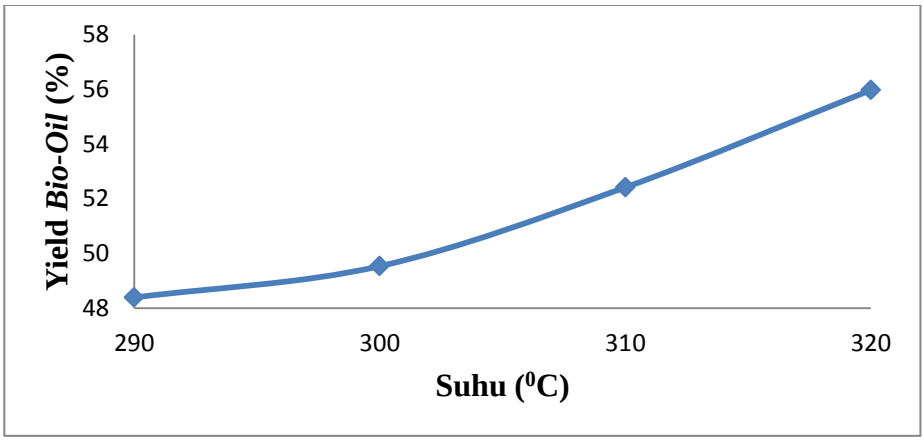
TKS yang telah dipotong-potong kecil sebanyak 50 gram beserta 500 ml silinap (*thermo oil*) dan katalis HZSM-5 dimasukkan ke dalam reaktor dan diaduk dengan kecepatan pengadukan 300 rpm. Proses pirolisisterhadap bahan dilakukan pada suhu yang bervariasi selama 3 jam tanpa kehadiran oksigen, yaitu dengan mengalirkan gas nitrogen, dan jika suhu 200^0C telah tercapai, gas hidrogen dialirkan menggunakan laju alir tetap (80

ml/mnt). Uap yang dihasilkan dialirkan melalui kondensor. Setelah pirolisis dilakukan dihasilkan uap organik dan dikondensasi menjadi *bio-oil*. *Bio-oil* ditampung dalam wadah tertentu dan ditimbang berat *bio-oil* yang didapat. Proses pirolisis dilakukan dengan memvariasikan temperatur pirolisis pada : 290, 300, 310, dan 320ºC. Hasil *bio-oil* optimum yang didapat kemudian dianalisa sacara kimia dan fisika dari *bio-oil* yang dihasilkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Suhu terhadap*Yield Bio-Oil* yang dihasilkan

Pengaruh suhu terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Pengaruh suhu terhadap *Yield Bio-Oil* yang dihasilkan

Dari gambar 3.1 dapat dilihat hasil optimum *yieldbio-oil* pada variasi temperatur 320 ºC cukup tinggi dibandingkan dengan temperatur 290°C, 300°C, dan 310ºC. Persentase *yield bio-oil* yang dihasilkan pada temperatur 290°C, 300°C, 310°C dan 320 ºC berturut-turut adalah 48,391%; 49,536%; 52,416% dan 55,975%. Hal ini disebabkan temperatur reaksi sangat mempengaruhi terhadap hasil *bio-oil*. Semakin tinggi temperatur reaksi maka pembentukan *bio-oil* juga semakin besar, sesuai dengan teori reaksi kimia, dimana kecepatan reaksi akan naik dengan naiknya temperatur. Secara teoritis, *yield bio-oil*akan meningkat dengan meningkatnya temperatur dan arang akan berkurang dengan menurunnya temperatur. Hal ini juga sama terjadi pada penelitian Aisyah [2011], dimana *yield bio-oil* yang diperoleh meningkat seiring dengan naiknya temperatur.

3.2 Pengaruh Temperatur Hidro deoksigenasi Pirolisis terhadap Kualitas *Bio-oil* yang dihasilkan

Pengaruh temperatur pirolisis terhadap *yield bio-oil* yang dihasilkan pada katalis HZSM-5 2% dari biomassa dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Data Temperatur Pirolisis terhadap Kualitas *Bio-Oil* yang dihasilkan pada Katalis HZSM-5 2% dari Biomassa

Suhu (^oC)	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	AngkaKeasaman (gr NaOH/gr)	NilaiKalor (MJ/kg)	TitikNyala (^oC)
290	1,054	1,4	54,866	-	-
300	1032	1,1	41,698	-	-
310	1,040	1,1	30,725	41,839	-
320	**0,996**	**1,12**	**21,946**	**42,054**	**38**

Parameter yang menjadi karakteristik *bio-oil* adalah densitas, viskositas, angka keasaman, nilai kalor dan titik nyala. Tabel 3.2 menunjukkan bahwa nilai uji fisika berdasarkan *yield bio-oil* optimum sebesar 55,975 % yang diperoleh pada suhu 320°C dengan persen katalis sebanyak 2% yaitu densitas 0,996 gr/ml, viskositas 1,12 cSt, angka keasaman 10,960 gr NaOH/gr sampel, nilai kalor 42,054 MJ/Kg, dan titik nyala 38°C.

Nilai densitas terendah terletak pada 2% katalis HZSM-5 pada suhu 320 ^{o}C yaitu sebesar 0,996 gr/ml, sedangkan nilai densitas tertinggi terletak pada suhu 290°C sebesar1, 054 gr/ml. Dengan densitas yang lebih kecil, penggunaan *bio-oil* sebagai bahan bakar akan menguntungkan karena lebih ringan.

Viskositas suatu fluida merupakan ukuran resistansi bahan terhadap aliran.Viskositas tergantung pada suhu dan berkurang dengan naiknya suhu.Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Pada suhu 320°C diperoleh viskositas yang rendah yaitu sebesar 1,12 cSt. Viskositas *bio-oil* yang diperoleh pada penelitian ini lebih kecil dari penelitian sebelumnya. Viskositas akan menurun jika kandungan air dan senyawa-senyawa oksigenat berkurang dalam *bio-oil* [Smallwood, 2008].

Pengujian angka keasaman *bio-oil* pada penelitian ini berkisar 21,946 -54,886 gr NaOH/gr sampel. Dapat dilihat bahwa angka keasaman terendah terletak pada suhu 320°C yakni sebesar 21,946 gr NaOH/gr sampel, sedangkan angka keasaman tertinggi terletak pada suhu 290°C yakni 54,886 gr NaOH/gr sampel. Hal ini berarti bahwa semakin besar suhu pirolisis, maka angka keasaman dari *bio-oil* yang dihasilkan akan semakin rendah. Semakin rendah angka keasaman pada *bio-oil*, maka semakin sedikit asam-asam organik yang terkandung pada *bio-oil* [Sukiran, 2008].

Nilai kalor merupakan ukuran panas atau energi yang dihasilkan dan diukur sebagai nilai kalor kotor (*gross calorific value*) atau nilai kalor netto (*nett calorific value*). Nilai kalor yang terbesar diperoleh pada penelitian ini yaitu sebesar 42,054 MJ/kg, dimana nilai kalor ini masuk ke dalam kategori nilai kalor dari *diesel oil* yaitu sebesar 42 MJ/kg. Penggunaan gas hidrogen mengakibatkan peningkatan yang sangat signifikan dari nilai kalor *bio-oil* yang dihasilkan dan menurunkan viskositas dari *bio-oil* yang dihasilkan [Ahmad, 2010].Semakin besar nilai kalor, maka kualitas bahan bakar semakin baik karena rasio H/C yang dimiliki semakin besar, sedangkan kadar airnya semakin rendah [Goundarian dkk, 2000].

Titik nyala dari *bio-oil* yang dihasilkan yaitu sebesar 38°C pada suhu 320°C. Dengan titik nyala yang terlalu rendah, dikhawatirkan dapat menyebabkan *bio-oil* mudah terbakar pada suhu lingkungan.

Perbandingan hasil karakteristik sifat fisika *bio-oil* yang dihasilkan dengan menggunakan 2% katalis HZSM-5 akan dibandingkan dengan peneliti – peneliti

sebelumnya. Tabel perbandingan sifat fisika *bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Perbandingan Spesifikasi *Bio-oil* dengan Peneliti Sebelumnya

Peneliti	UjiSifatFisika				
	Densitas	Viskositas	AngkaKeasaman	NilaiKalor (MJ/kg)	TitikNyala (^oC)
Simorangkir, 2013	0,996 gr/ml	1,12 cSt	21,946gr NaOH/gr sampel	42.054	38
Aisyah, 2011	1,008 gr/ml	12,63 cP	-	-	48
Irfan, 2010	1,079 gr/ml	13,13 cP	-	27,8	48
Sukiran, 2008	0,88 gr/cm^2	-	68,63 gr KOH/gr sampel	19,92	-

Dari tabel 3.3 dapat dilihat bahwa nilai kalor yang dihasilkan lebih besar dari peneliti – peneliti sebelumnya yaitu 42,054 MJ/kg dari 2% katalis HZSM-5. Hal ini berarti bahwa dengan penambahan gas hidrogen, maka nilai kalor dari *bio-oil* yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan tanpa gas hidrogen. Penambahan hidrogen dapat menyebabkan penghilangan oksigen dengan *internal dehydration* dan *decarboxylation* selama awal proses pyrolisis [Zhang dkk., 1999]. Penghilangan oksigen meningkatkan nilai kalor dan menuntun produk agar mendekati kualitas *diesel oil*. Hal ini dapat menghasilkan produk dengan rasio H/C yang lebih tinggi dan sejalan dengan meningkatnya nilai kalor produk [Goudarian dkk., 2000].Perbandingan sifat fisika *bio-oil* yang dihasilkan dengan bahan bakar dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut.

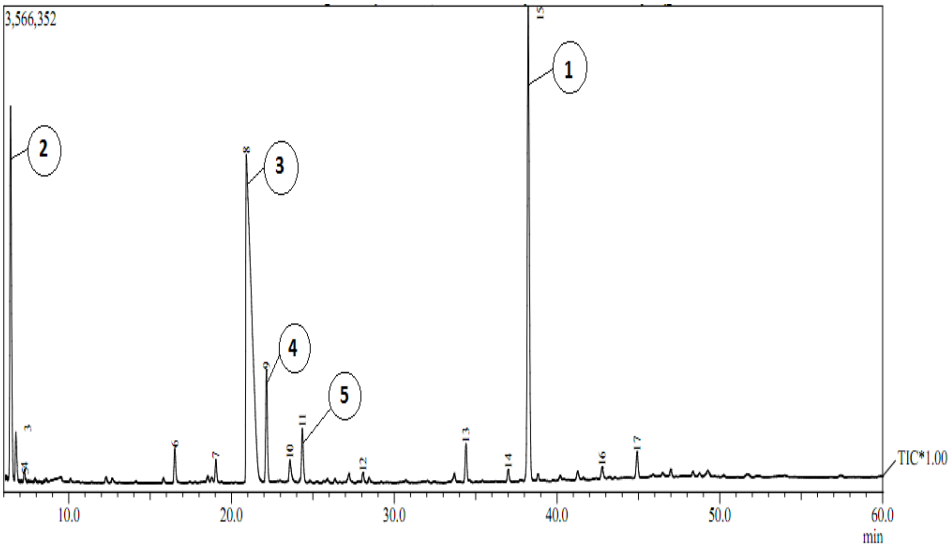
Tabel 3.4 Perbandingan Karakterisasi Sifat fisika *Bio-oil* dengan *Diesel-oil*

Uji Karakteristik	**Diesel Oil**	***Bio-oil*HasilPenelitian**
Densitas	0,84 Kg/L [Dynamotive,2006]	0,966 gr/ml 1,2 Kg/L
Viskositas	6 cSt [Dynamotive,2006]	1,12 cSt
Titik nyala	35-60 C [Dynamotive,2006]	38 ^{0}C
Angka Keasaman	-	21,946 gr NaOH/ gr
Nilai Kalor	42 MJ/KgDynamotive,2006]	42,054 MJ/kg

Berdasarkan Tabel 3.4, *bio-oil* memiliki sifat fisika yang mendekati *diesel-oil*. Berdasarkan kemiripan sifat fisika tersebut maka *bio-oil* memiliki potensi untuk menggantikan solar.

3.3 Karakteristik Sifat Kimia *Bio-oil*

Bio-oil dengan *yield* optimum, yaitu *bio-oil* dengan penggunaan katalis HZSM-5 2% b/b dari biomassa selanjutnya dilakukan analisa kimia berupa kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS). Analisa GC-MS menghasilkan kromatogram yang menyatakan jumlah persentasi komponen kimia yang terkandung di dalam *bio-oil*. Hasil GCMS dari *bio-oil* yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Hasil Kromatogram GC *Bio-oil* Tandan Kosong Sawit dengan 2% katalis HZSM-5 dari biomassa

Dimana dari hasil GCMS :
1 = Phenol (23,74%)
2 = Methyl Alkohol (15,33%)
3 = Acetic Acid (45,21%)
4= 2-Furancarboxaldehyde (4,64%)
5 = Propanoic acid (2,23%)

Gambar 3.2 memperlihatkan komponen - komponen yang terdapat dalam *bio-oil*. Berdasarkan hasil analisis GC-MS terdapat 5 komponen yang dominan dengan puncak-puncak tertinggi. Phenol menjadi komponen dengan puncak tertinggi dengan luas area 23,74 %. Komponen lain yang dominan adalah Asam Asetat (3) dan merupakan komponen yang dominan dengan luas area 45,21%, namun tidak mendukung *boi-oil* menjadi bahan bakar alternatif, komponen lain yang dominan adalah Metil alkohol 15,33%, dan Metanol 5,25%.

Komponen yang terkandung dalam *bio-oil* dapat digunakan sebagai pembanding penggunaan hidrogenasi dengan tanpa hidrogenasi. Penggunaan hidrogenasi dalam proses pirolysis menunjukkan komponen yang lebih spesifik (17 komponen), dibandingkan hasil analisis GC-MS *boi-oil* yang diperoleh oleh Aisyah [2011] yang menghasilkan senyawa sebanyak 24 komponen didalam *bio-oil*. Hasil GC-Ms dari penelitian ini diperoleh senyawa benzene, propanol, methil alkohol dan ethanol, dimana senyawa – senyawa ini salah satu penyusun bahan bakar. Metanol sangat baik digunakan sebagai bahan bakar yang dapat mengurangi pencemaran udara karena metanol tidak menghasilkan gas CO, tetapi hanya sedikit CO_2. Berdasarkan hasil analisis GC-MS diketahui beberapa senyawa yang terkandung di dalam *bio-oil* yang memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Yield bio-oil tertinggi diperoleh pada suhu 320^0C dengan 2% katalis HZSM-5 sebesar 55,975%. Hasil karakterisasi sifat fisika *bio-oil* berupa nilai kalor 42,054 MJ/kg; densitas 0,996 gr/ml; viskositas 1,12 cSt; titik nyala 38^oC dan angka keasaman 21,946 gr NaOH/gr sampel. Hasil analisa GC-MS menunjukkan komponen terbesar dalam *bio-oil* antara lain asam asetat 45,21%, phenol 23,74%, methyl alkohol 15,33%, furan-carboxaldehyde 4,64% dan asam propanoid 2,23%.

4.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian pirolisis melalui proses hidrodeoksigenasi menggunakan katalis jenis lain untuk

memperoleh *bio-oil* dengan kualitas lebih baik.

5. DaftarPustaka

Ahmad, M. M., Nordin, M. F. R., dan Azizan, M. T. (2010). Upgrading of Bio-Oil into High–Value Hydrocarbons via Hydro-deoxygenation, American Journal of Applied Sciences, 7(6), 746-755.

Aisyah. 2011. Pyrolisis Tandan Kosong Sawit menggunakan Katalis HZSM-5 menjadi Bio-oil, Skripsi Sarjana, Universitas Riau, Pekanbaru.

Basu, P. (2010).*Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*, Elsevier, New York.

Elliott, D. C.(2007). Historical Development in Hydroprocessing Bio-Oils, *Energy & Fuels*, 21, 1792-1985, 1.

Goundarian, F., van de beld, B., Boerefijn, F.R.,Bos, G.M., Neber, J.E., van der wal, S., dan Zeevalkink, J.A. (2000). Thermal Efficiency of the HTU process for Biomass Liquifaction. Paper presented at *Progress in Thermochemical Biomass Conversion Conference*, Bridgewater, A.V (Ed). Tyrol. Austria, September 18-21, PP. 1312-1325.

Irfan. 2010. Pirolisis Tandan Kosong Sawit dengan Katalis CoMo/ZSM-5, Skripsi Sarjana, Universitas Riau, Pekanbaru.

Junaidi, W. 2012. Hidrogenasi Pyrolysis Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil dengan Katalis ZSM-5, Skripsi Sarjana, Universitas Riau, Pekanbaru.

Lestari, D. Y. (2010). Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.

Rizqan. 2011.Sintesis Katalis HZSM-5 Dari Abu Sawit Untuk Proses *Catalitic Cracking* Tandan Kosong Sawit Menjadi Bio-Oil, Skripsi Sarjana,Universitas Riau, Pekanbaru.

Smallwod. (2008). Hydroprocessing of Pyrolisis Bio-oil to Fuel and Chemical, Pacific Northwest National Laboratory, US Departemant of Energy.

Sukiran, MAB. (2008). Pyrolysis Of Empty Oil Palm Fruit Bunches Using them Quartz Fluidised- Fixed Bed Reactor, Dissertation, University Of Malaya, Kuala Lumpur.

Vempati R. K. (2002).ZSM-5 Made From Siliceous Ash, US Patent No. 6.368.571 B1.

Zahrina, I., Saputra, E., Evelyn, Santoso,I. A., dan Ramelo, R. (2006).Sintesis ZSM-5 Tanpa Templat Menggunakan Silika Terpresipitasi Asal Abu Sawit Sebagai Sumber Silika, Jurnal Natur Indonesia, Volum 9, No. 2, Lembaga Penelitian Universitas Riau, Pekanbaru.

Zhang, S.P., Yan, Y., Li, T., dan Ren, Z. (1999) Upgrading of Liquid Fuel from the Pyrolysis of Biomass. Bioresour. Technol. 96, 545-550.