PROSES PENCAIRAN BIOMASSA DARI SABUT KELAPA SAWIT MENJADI BIO-OIL DENGAN MENGGUNAKAN *THERMO-OIL*

Utama, P.S*, Saputra, E.*, Awaluddin, A., Mardiati, A.****

*Jurusan Teknik Kimia FT UR
**Jurusan Kimia FMIPA UR
Kampus Binawidya UR Km 12,5 Panam Pekanbaru 28293. E mail : **psutama@yahoo.com**

Abstrak

Bio-oil adalah bahan bakar cair berwarna gelap, beraroma seperti asap, dan diproduksi dari biomassa melalui teknologi pirolisis atau pirolisis cepat (fast pyrolysis). Bio-oil merupakan bahan bakar yang dapat dioksigenasi, mengandung karbon, hidrogen, oksigen dan dengan kandungan nitrogen dan sulfur yang sangat sedikit, bahkan kandungan sulfurnya dapat diabaikan. Bio-oil dapat digunakan sebagai pengganti minyak tanah, bahan bakar boiler dan dimanfaatkan untuk turbin dan mesin diesel kecepatan rendah dan medium untuk menghasilkan listrik. Pada penelitian ini biomassa yang dipergunakan adalah sabut sawit, yang tersedia melimpah di Riau.

Selama ini pembuatan bio-oil menggunakan proses pirolisis konvensional, yaitu thermal cracking yang menggunakan suhu diatas 500°C untuk menghasilkan bio-oil. Proses ini masih memiliki masih memiliki kelemahan yaitu dari segi yield produk yang relatif kecil dan konsumsi energi yang besar. Untuk itu, penggunaan thermo-oil sebagai media pemanas biomassa dalam pirolisis telah dikembangkan dengan menggunakan suhu yang lebih rendah. Pembuatan bio-oil dilakukan dengan proses pencairan langsung menggunakan thermo-oil (silinap) 500 ml dengan variasi berat biomassa 30, 40, 50, 60 dan 70 gram, kecepatan pengadukan 900, 1100 dan 1300 rpm dan temperatur reaksi 300, 310 dan 320°C.

Hasil optimum diperoleh pada variasi berat biomassa 50 gram, kecepatan pengadukan 900 rpm, dan variasi temperatur reaksi 320°C sebesar 59,4%. Pada karakterisasi bio-oil ditentukan kandungan air, massa jenis (densitas), viskositas, titik nyala, nilai kalori dan identifikasi senyawa yang terdapat pada bio-oil dengan menggunakan kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS) dan hasilnya berturut-turut adalah 8,394% ; 935,4 kg/m^3 ; 11,131cP ; 60°C ; 22,912 MJ/Kg. Hasil tersebut tidak melewati nilai standar dari Smallwood. Senyawa yang terdapat pada bio-oil dari bahan baku sabut kelapa sawit adalah alkena, keton, dan furans, hasil ini sesuai dengan kandungan senyawa yang terdapat pada bio-oil menurut Goyal dkk (2006).

Kata kunci: sabut sawit, bio-oil, pencairan langsung, thermo oil.

Pendahuluan

Hampir semua kegiatan proses produksi membutuhkan bahan bakar minyak (BBM), namun BBM yang digunakan sekarang berasal dari Bahan bakar fosil yang diambil dari perut bumi yang merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, sehingga untuk beberapa dasawarsa kedepan diperkirakan masyarakat akan mengalami krisis bahan bakar. Walaupun Indonesia termasuk salah satu anggota OPEC yang memproduksi 1,5 juta barel/hari [Suwono, 2004] dan berdasarkan data Agustus 2004

mengekspor 400.000 barel/hari minyak mentah, namun impor minyak Indonesia lebih besar yaitu 500.000 barel/hari. Jika kapasitas produksi minyak Indonesia 0,5 milyar barel/tahun dengan asumsi tidak ada ekplorasi minyak baru maka cadangan minyak Indonesia kurang dari 5 milyar barel dan akan habis dalam jangka waktu 10 tahun [Elyza dan Huliyah, 2005]. Oleh karena itu, diperlukan sumber energi alternatif pengganti minyak bumi.

Biomassa yang digunakan untuk memproduksi *bio-oil* dapat diperoleh dari limbah pertanian, hutan, perkebunan, industri dan rumah tangga. Negara tropis seperti Indonesia umumnya mempunyai biomassa yang berlimpah, kira-kira 250 milyar ton/tahun yang dihasilkan dari biomassa hutan dan limbah pertanian. Limbah pertanian secara umum berasal dari perkebunan kelapa sawit, tebu, kelapa serta sisa panen dan lain - lainnya yang mencapai kira - kira 40 milyar ton/tahun [Suwono, 2004]. Dari estimasi potensi limbah perkebunan dari tahun 2001 - 2003, Panaka [2004] melaporkan bahwa di Indonesia limbah kelapa sawit mempunyai potensi yang lebih besar dibandingkan dengan batang karet, kelapa dan tebu. Dengan perbandingan kelapa sawit 48,6 juta ton/tahun, batang karet 2,6 juta ton/tahun, kelapa 3,9 juta ton/tahun, tebu 0,14 juta ton/tahun. Potensi yang besar ini karena Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit sekitar 4 juta Ha dengan total produksi 8 juta ton CPO dan Kernel (Tabel 1.) [Suwono, 2004].

Berdasarkan data BPS (2004) dari 4 juta Ha perkebunan tersebut, sekitar 1.231.323 Ha berada di Propinsi Riau. Luasnya lahan kebun kelapa sawit akan menghasilkan limbah padat sawit yang sangat banyak. Limbah padat sawit yang dihasilkan dapat berupa cangkang, batang, pelepah dan lain-lain merupakan sisa dari industri sawit yang belum dimanfaatkan secara optimal [Saputra, 2004]. Selama ini, limbah padat sawit di bakar di lahan dan menghasilkan abu yang digunakan sebagai pupuk tanaman [Suwono, 2004]. Selain itu limbah padat digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk pembangkit uap serta bahan baku karbon aktif. Namun pemanfaatan limbah dengan metode seperti ini hanya dapat menanggulangi limbah dalam skala kecil sedangkan limbah padat yang dihasilkan dalam skala yang cukup besar [Miura dkk, 2003].

Selain dengan *pyrolysis*, biomassa dapat diproses dengan pembakaran langsung dan gasifikasi. Jika dibandingkan dengan pembakaran langsung dan gasifikasi, produk yang berbentuk lebih banyak dihasilkan dari *pyrolysis* [New Hampshire, 2004]. Perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan produk yang dihasilkan dari konversi biomassa secara termodinamik

Proses	Liquid	Arang	Gas
Pyrolysis	75%	12%	13%
Pembakaran Langsung	30%	35%	35%
Gasifikasi	5%	10%	85%

▪ Sumber : New Hampshire, 2004

Pada dasarnya jumlah produk yang dihasilkan dari *pyrolysis* tergantung pada suhu proses dan bahan baku yang digunakan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh BTG [(2004] menunjukkan bahwa maksimum bio-oil yang dihasilkan mencapai 79% berat umpan pada suhu 500^0C. Hal tersebut menjelaskan bahwa produksi bio-oil akan meningkat dengan bertambah tingginya temperatur, dan arang yang dihasilkan akan turun dengan meningkatnya suhu. *Pyrolysis* yang menggunakan kayu sebagai bahan baku akan menghasilkan jumlah *bio-oil* yang berbeda apabila menggunakan kulit kayu [Ensyn, 2001]. Perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan *bio-oil* yang dihasilkan dengan biomassa berbeda

Biomassa	*Bio-Oil* (%)
Kayu	71 – 80
Kertas Sampah (selulosa yang tinggi)	71 – 93
Kulit kayu (lignin yang tinggi)	60 – 67

▪Sumber : Ensyn Group INC, 2001.

Menurut Ensyn Group INC [2001], *bio-oil* adalah cairan yang dapat larut dalam air, bahan bakar yang dapat dioksigenasi, mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen. Dengan kandungan nitrogen dan sulfur yang sangat sedikit, bahkan kandungan sulfur didalamnya dapat diabaikan. Komponen organik dalam *bio-oil* adalah derivat liquid linin, alkohol, asam organik, dan karbonil. Kandungan asam organik dalam *bio-oil* memberikan sifat asam pada *bio-oil*. Kandungan lainnya dalam *bio-oil* adalah air, tetapi air tidak bersifat kontaminan seperti pada petroleum, karena air bercampur dengan *bio-oil.* Sedangkan menurut RenewableBioOil [2001], kandungan *bio-oil* tergantung pada biomassa yang digunakan, namun zat-zat kimia yang terdapat pada *bio-oil* terdiri dari kelompok karbonil, karboksil, hidroksil dan metoksil. Semua kelompok ini mengandung

oksigen, dimana minyak yang berasal dari minyak bumi hampir semuanya mengandung hidrokarbon.

Easterly [2004] melaporkan bahwa Bridgewater [2001] menyatakan *bio-oil* yang dihasilkan dari kayu terdiri dari kira-kira 56% karbon, 6% hydrogen, 37% oksigen, dan 0,1% debu. *Bio-oil* diproduksi dengan proses *pyrolysis* menggunakan biomassa dengan pemanasan, tanpa adanya kandungan oksigen. Uap organik yang dihasilkan dari proses pyrolysis dikondensasikan menjadi *bio-oil*.

Karakteristik *bio-oil* yang dihasilkan sangat beragam, tergantung pada jenis umpan dan teknologi pengolahan yang digunakan. Artinya spesifikasi bahan baku proses sangat penting dalam menentukan produk yang dihasilkan. Umumnya, *bio-oil* yang dihasilkan merupakan cairan coklat kehitaman, mudah terbakar (*combustible*), tidak bercampur dengan hidrokarbon, bersifat asam, viskositas tergantung kadar air yang dikandungnya [Bain dan Richard, 2004]. Kandungan air dalam *bio-oil* 15 – 30 wt% dan pH 2,8 – 3,8 [BTG,2003]. Untuk sifat fisis *bio-oil* lainnya dapat dilihat pada tabel 2.5.

Bio-oil yang dihasilkan dari proses *pyrolysis* menurut Freel dan Graham [2002] dalam US Patent no 6485841B1 mengandung air 15 – 30%, lignin pirolitik 20 – 30%, asam karboksilat 10 – 20% (yang terdiri dari asetat, formik, propionik dan glikol sebagai asam karboksilat terbanyak dan butirat, pentanoik serta hexanoik yang merupakan asam karboksilat yang dihasilkan sedikit), aldehid 14 – 25% (glikodehid, glyoxal, hidroksipropanol, metil glyoxal dan sedikit formaldehid, asetaldehid 2-furaldehid dan syringaldehid), gula 5 – 15% (levoglukosan, fruktosa, *cellobiosan* dan glukosa, dan sedikit mengandung oligosakarida, danydroglukofuranosa), keton 4 – 10% (hidroksipropana, siklopentanon, siklopentena, furanon, hidroksimetilpiron dan sedikit butirolakton, asetiloksipropanon), alkohol 2 – 10% (asetol, metanol, etilen glikol) dan padatan 2 – 8%.

Dari ketiga proses konvensional yang telah dilakukan, proses *pyrolyis thermal cracking* adalah yang terbaik dilihat dari yield yang dihasilkan. Ditinjau dari perpindahan panas, proses ini masih memiliki kekurangan yaitu perpindahan panas antara permukaan padatan/biomas dan gas relatif sangat kecil sehingga mempengaruhi yield dan konsumsi energi menjadi lebih besar. Masalah tersebut akan coba diperbaiki dengan pencairan langsung menggunakan *Thermo Oil*, dikarenakan perpindahan panas antara padatan/biomas dan liquid/*thermo oil* relatif lebih besar maka diperkirakan konsumsi energi menjadi lebih kecil dan yield produk menjadi lebih besar.

Untuk pengembangan, proses pencairan langsung menggunakan *Thermo Oil* tersebut lebih menjanjikan karena relatif lebih sederhana, perpindahan panas yang relatif lebih baik dan proses perengkahan biomas lebih gampang diarahkan menjadi produk yang diinginkan dengan bantuan katalis.

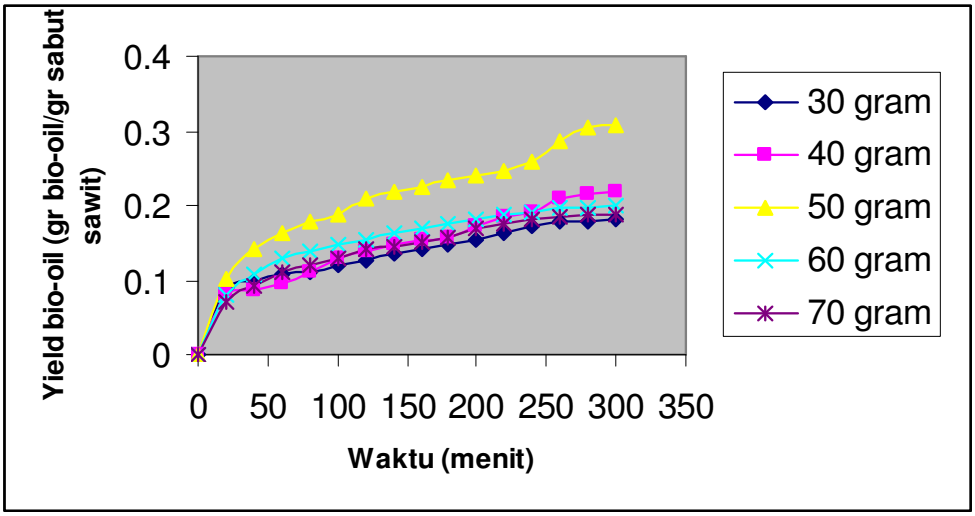
Metodologi Penelitian

Sabut sawit dikeringkan dan dipotong-potong dengan ukuran panjang sekitar 5 mm, kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang berisi silinap 500 ml. Variasi berat sabut kelapa sawit 30, 40, 50, 60, dan 70 gram. Dipanaskan dengan pemanas listrik dan variasi suhu adalah 300, 310 dan 320°C. Gas nitrogen dialirkan ke dalam reaktor untuk menjaga tidak ada oksigen di reaktor dan diaduk dengan variasi kecepatan 900, 1100 dan 1300 rpm. Gas keluar reaktor didinginkan di kondensor dan bio oil yang dihasikan ditampung dan diukur volumenya untuk setiap selang waktu tertentu. Bio-oil yang didapat pada kondisi optimum dikarakterisasi sifat fisiknya dan dianalisa secara kualitatif dengan menggunakan kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS)

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh variasi berat sabut kelapa sawit

Hasil perolehan *yield* bio-oil terhadap waktu pada berbagai variasi berat sabut kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 1.

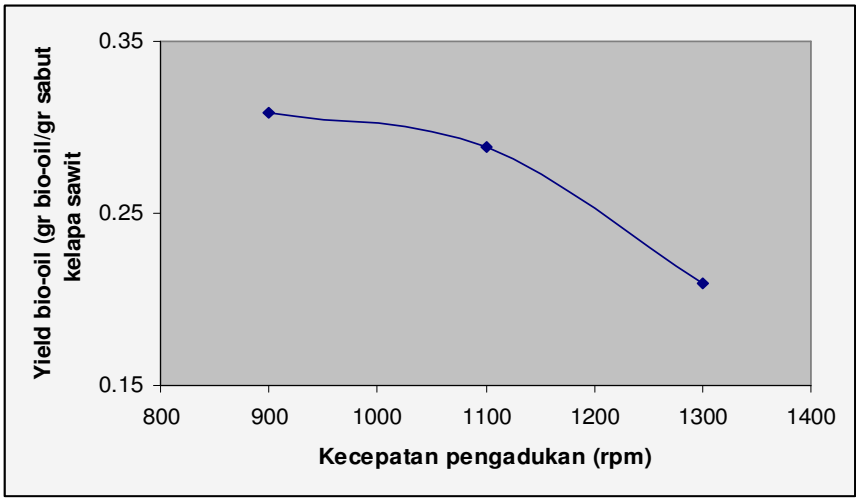


Gambar 1. Hubungan antara *yield* bio-oil terhadap waktu pada berbagai variasi berat sabut sawit dengan 500 ml *thermo-oil* (silinap) pada waktu 300 menit, kecepatan pengadukan 900 rpm dan suhu 300°C

Dari gambar dapat dilihat bahwa *yield* bi-oil semakin meningkat dengan bertambahnya waktu. Pada waktu 20 menit kecepatan terbentuknya bio-oil sangat cepat dan hasilnya relatif sama pada berbagai variasi berat sabut kelapa sawit. Ini dikarenakan adanya senyawa-senyawa volatil yang terdapat pada bio-oil mudah ter*cracking* sehingga tidak membutuhkan energi yang besar. Namun pada waktu diatas waktu 20 menit, perbedaan jelas terlihat pada *yield* bio-oil yang dihasilkan yang pada berat sabut kelapa sawit 50 gr, sedangkan pada berat 30, 40, 60, dan 70 gr perolehan bio-oil relatif sama. Persentase bio-oil yang dihasilkan pada berat sabut kelapa sawit 30, 40, 50, 60 dan 70 gr berturut-turut adalah 18,3% ; 21,7% ; 30,8% ; 19,9% ; dan 18,8%.

Pengaruh putaran pengadukan

Hasil penelitian pengaruh kecepatan pengadukan terhadap yield bio oil dapat dilihat di Gambar 2.



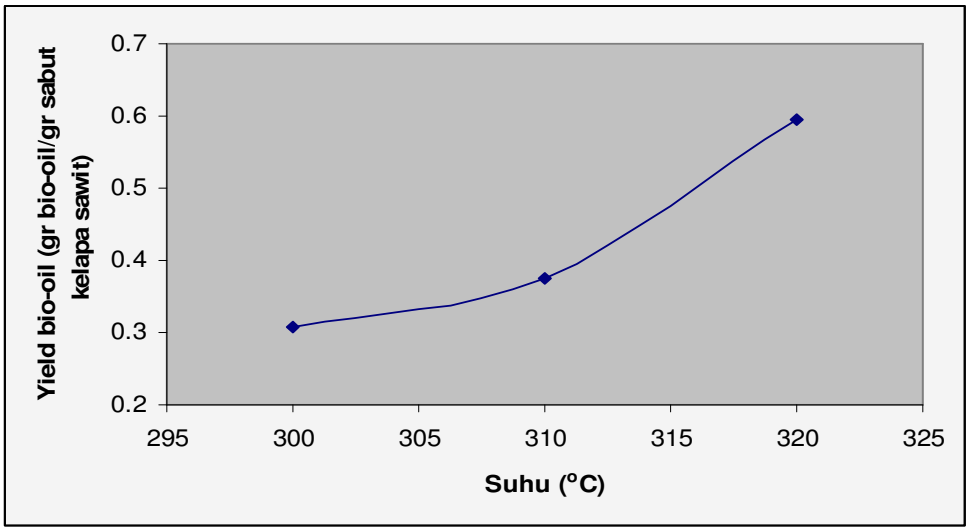
Gambar 2. Hubungan antara *yield* bio-oil dengan kecepatan pengadukan pada suhu 300 ^{o}C dan waktu 300 menit.

Pada Gambar 2 terlihat kecepatan pembentukan bio-oil cukup tinggi pada variasi kecepatan pengadukan 900 rpm. Terlihat bahwa *yield* bio-oil menurun dengan naiknya kecepatan pengadukan. Secara teoritis kecepatan pengadukan yang semakin tinggi akan mengakibatkan turbulensi semakin tinggi. Turbulensi yang tinggi ini akan memperbesar koefisien perpindahan panas konvektif antara *thermo-oil* dan sabut sawit, dengan demikian suplai energi yang diperlukan reaksi *cracking* akan lebih besar. Suplai energi yang besar ini akan meningkatkan kecepatan reaksi *cracking* yang berarti kecepatan terbentuknya bio-oil juga semakin besar. Tetapi dari data yang diperoleh *yield* bio-oil menurun dengan naiknya kecepatan pengadukan. Hal tersebut mungkin diakibatkan hidrodinamika fluida di

reaktor, dimana pada kecepatan putaran pengadukan yang tinggi (diatas 1000 rpm) akan terbentuk vorteks (pusaran fluida). Terbentuknya vorteks ini dapat secara drastis menurunkan turbulensi sehingga koefisien perpindahan panas yang diharapkan bertambah besar dengan bertambahnya kecepatan pengadukan, menjadi lebih kecil. Vorteks ini juga dapat mengakibatkan gas dapat masuk kedalam fluida dan menimbulkan buih, hal ini juga akan mengakibatkan luas perpindahan panas antara fluida dan sabut sawit akan mengecil dan menurunkan kecepatan perpindahan panas. Persentase *yield* bio-oil yang dihasilkan pada kecepatan pengadukan 900, 1100 dan 1300 rpm berturut-turut adalah 30,8% ; 28,9% ; dan 20,9%.

Pengaruh suhu

Variabel suhu dipilih dari 300°C sampai dengan suhu 320°C. Pemilihan kisaran suhu ini didasarkan pada hasil penelitian pendahuluan dimana pada suhu dibawah 300°C proses pencairan langsung belum menghasilkan bio-oil. Pemilihan suhu maksimum 320°C jauh dibawah suhu operasional Silinap 280 M (380°C) bertujuan untuk memastikan tidak terjadi *cracking* pada *thermo-oil*. Telah dicoba pemanasan silinap 280 M selama 3 jam pada suhu 340°C dan dialiri gas N_2 seperti pada proses pencairan langsung, dan sama sekali tidak dihasilkan kondensat. Gambar 3 menunjukkan hubungan antara *yield* bio-oil terhadap suhu.



Gambar 3. Hubungan antara *yield* bio-oil dengan suhu pada waktu pemanasan 300 menit.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa suhu reaktor sangat berpengaruh terhadap hasil bio-oil yang diperoleh. Dimana hasil gas meningkat bersamaan dengan suhu sedangkan

hasil arang menurun. Maksimum cairan bio-oil yang didapat pada suhu 320°C adalah 0,594 atau 59,4 %. Ini masih sangat rendah jika dibandingkan pirolisis cepat yang menghasilkan bio-oil 70%. Pada pirolisis cepat menggunakan suhu antara 400-600°C. Tetapi pirolisis menggunakan *thermo-oil* suhunya jauh lebih rendah yaitu 300°C sudah menghasilkan bio-oil.

Dari hasil yang diperoleh terlihat semakin tinggi suhu proses maka kecepatan pembentukan bio-oil juga semakin besar. Sesuai dengan teori reaksi kimia, dimana kecepatan reaksi akan naik dengan naiknya suhu. Jika suatu proses kecepatannya ditentukan oleh reaksi kimia maka kenaikan kecepatan prosesnya adalah dua kali lipat untuk setiap kenaikan suhu 10°C. Sedangkan dari hasil penelitian kenaikan kecepatan terbentuknya bio-oil tidak terlalu besar. Sehingga kemungkinan proses yang menentukan kecepatan terbentuknya bio-oil bukan reaksi kimia. Sesuai dengan hipotesa, dimana proses perpindahan panas yang menentukan kecepatan proses, maka kenaikan suhu 10°C pengaruhnya tidak terlalu besar jika dibandingkan kalau reaksi kimia yang menentukan jalannya proses. Dibandingkan beberapa penelitian tentang pirolisis konvensional, dimana suhu proses yng digunakan sekitar 500°C, maka proses pencairan langsung dengan menggunakan *thermo-oil* ini suhunya jauh lebih rendah yaitu hanya sekitar 300°C sudah dapat menghasilkan bio-oil. Persentase *yield* bio-oil yang dihasilkan pada suhu 300, 310 dan 320°C berturut-turut adalah 30,8% ; 37,6% ; dan 59,4%.

Hasil karakterisasi sifat fisis bio-oil

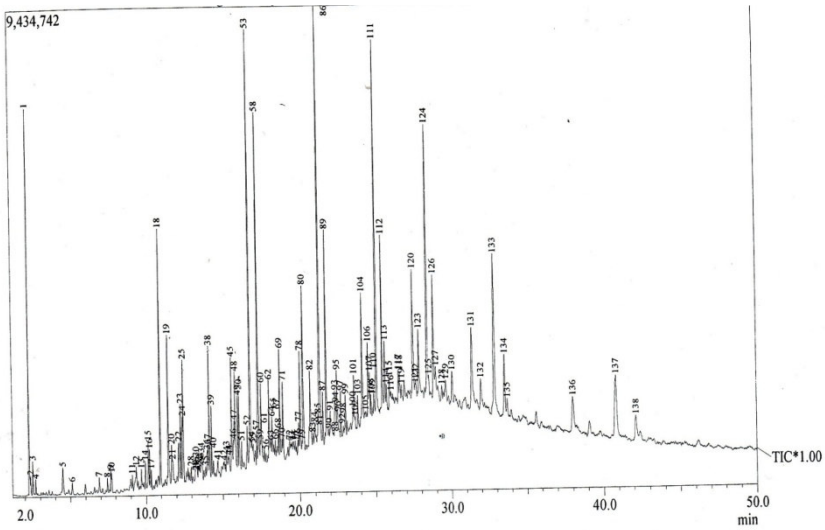
Bio-oil yang diperoleh dikarakterisasi meliputi penentuan kandungan air, massa jenis, viskositas, titik nyala, serta nilai kalori. Hasil karakterisasi dibandingkan dengan standar bio-oil dari Smallwood dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perbandingan Karakterisasi Sifat Bio-oil dengan Standar Bio-oil

No.	Parameter	Bio-oil	Standar bio-oil (Smallwood, 2008)
1.	Kandungan air, %-v	8,394	15-25
2.	Massa jenis pada 40ºC, Kg/m^3	935,4	940-1210
3.	Viskositas pada 40ºC, mm^2/s	11,900	10-150
4.	Titik nyala, ºC	60	48 – 55
5.	Bomb kalorimeter (MJ/kg)	22,912	21,2-41,4

Identifikasi senyawa bio-oil

Senyawa-senyawa yang terdapat dalam bio-oil diidentifikasi dengan menggunakan kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS). Hasil kromatogram dan MS bio-oil dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil analisa kualitatif bio-oil dengan GC-MS dapat dilihat pada tabel 4.



Gambar 4. Kromatogram Bio-oil dari Sabut Kelapa Sawit

Tabel 5. Hasil Analisa Kualitatif Bio-oil

No	No.Puncak pada GC	Senyawa	Golongan Senyawa	Berat Molekul
1.	53	2,4,4-trimetil-2-pentena	Alkena	112
2.	58	5,5-dimetil-2-heksena	Alkena	112
3.	86	3-butena-1,2-diol, 1-(2-furanil)	Furans	154
4.	111	3,3-dimetilbutil-sikloheksanon	Keton	182
5.	133	2,2,4-trimetil-3-pentena	Alkena	112
6.	137	2,4,4-trimetil-2-pentena	Alkena	112

Kesimpulan

1. Sabut sawit dapat dikonversi menjadi bio-oil melalui proses pencairan dengan menggunakan *thermo-oil* (silinap 280 M) sebagai media pemanas.
2. Hasil bio-oil *(yield)* sangat dipengaruhi oleh rasio berat sabut sawit terhadap silinap, kecepatan pengadukan dan suhu. *Yield* bio-oil maksimum didapat 59,4% pada suhu 320°C, 50 gr sabut dalam 500 ml silinap dan kecepatan pengadukan 900 rpm

3. Karakteristik bio-oil hasil pirolisis antara lain kandungan air 8,394%, massa jenis 935,4 kg/m^3, viskositas 11,131 cP, titik nyala 60ºC, dan energi bio-oil 22,912 MJ/kg. .
4. Analisa kualitatif bio-oil dilakukan dengan menggunakan kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS), yang menghasilkan senyawa keton, alkena, dan senyawa furans.

Saran

1. Perlu dilakukan perancangan reaktor yang lebih baik dengan sistem dan jenis pengaduk yang sesuai untuk pencampuran antara sabut sawit dan *thermo-oil*.
2. Untuk penelitian lebih lanjut dapat digunakan katalisator yang sesuai untuk proses pencairan langsung biomassa menjadi bio-oil.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada proyek I-MHERE Universitas Riau yang telah membiyai penelitian ini.

Daftar Pustaka

Anderson dan Khalid. 2000. *Decomposition Processes and Nutrient Release Patterns of Oil Palm Residu*. Journal of Oil Palm Research.12(1). 46-63.

Bain dan Richard,.L. 2004. *An Introduction to Biomass Thermochemical Conversion.* DEO/NASLUGC Biomass and Solar Energy Workshop. August 3-4.

Biomass Technology Group. 2003. *Bio-oil Applications*.http:// www.btgword.com/ technologies/ bio-oil application.hmtl. 16 Mei 2005.

Biomass Technology Group. 2004. *Flash pyrolysis.* http:// www.btgword.com/ technologies/ pyrolysis.hmtl. 16 Mei 2005.

Easterly, J,.L. 2002. *Assessment of Bio-Oil as a Replacement for Heating Oil.* http:// www.eren.doe.gov /femp /resources/ renewableguide.html. 15 April 2005.

Elyza,.R. dan Hulaiyah,.Y. 2005. *Kenapa Harus Menghemat Energi?* http://www.pelangi.com. 25 Maret 2006.

Ensyn Group INC. 2001. *Bio-Oil Combustion Due Diligence : The Conversion Of Wood And Another Biomass*. Cole Hill Associates.

Freel,.B, Graham,.R.G. 2002. *Bio-oil Preservatives*. US Patent No. 6485841B1

Goyal, H.B., Seal, D., Saxena, R.C. 2006. *Bio-fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources:* A Review. India Institute of Petroleum. India.

Miura,.K, Masuda,.T, Funazukuri,.T, Suguwara,.K, Shirai,.Y, Hayashi,.J, Karim,.M,.I,.A, Ani,.F,.N dan Susanto,.H. 2003. *Efficient Use of Oil Palm as Renewable Resource for Energy & Chemical*. Project Design Document

New Hampshire. 2004. *Bio –Oil Oppurtunity Analysis*. Inovative Natural Resource Solution LLC Handbook.

Panaka,.P. *The Role Of Biomass For The Energy Sustainable Development In Indonesia*. Energy Technology Center (BBTE), Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT). Jakarta, Indonesia

Quebec.2004. *Biomass*. http://www.mrn.gouv.qc.ca/english/energy/index.jsp. Html. 14 April 2005

Renewable Oil International, LLC. 2001. *Uses of Bio-Oil as a Boiler Fuel.* http://www.ensyn.com.hmtl. 13 April 2005

Saputra, E., Sunarno, Utama, P., S., 2004, "Penanggulangan Limbah Padat Industri Sawit: Zero Waste Manajemen", Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri., UGM, Yogyakarta

Smallwood. 2008. *Hydroprocesing of Pyrolisis Bio-oil to Fuel and Chemical*. Facific Northwest National Laboratory us. Departemant of Energy. www.saferalliance.net/.../2008/05/smallwood-2008-and-bioenergy-w.html. Tanggal Akses 12 april 2009

Song,.C, Hu,.H, Wang,.G, dan Chen,.G. 2000. *Liquefaction of Biomass with Water in Sub – and Supercritical States*. Scientific Research Fund For Doctoral Award Unit In Chines University

Suwono,.A., 2004, "*Indonesia's Potential Contribution of Biomass in Sustainable Energy Develompment",* Internationanal Confrence 10th THE APCChE Congress, Kitakyushu, japan.