

# Hidrogenasi Pirolisis Cangkang Sawit Menjadi Bio Oil dengan Katalis Ni/ZSM-5

Wan Dicky Tri Setiawan, Sunarno dan Syaiful Bahri

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

wandickytrisetiawan@gmail.com

## ABSTRACT

Indonesia faced with an energy crisis, estimated the petroleum will be exhausted in 12 years, so its necessary to found new reserves of petroleum. One of the technology to produce alternative energy is the palm shell into bio-oil conversion with calorific value 24 MJ/Kg. Hydrogenation process can improve the ratio H/C along with calorific value upgrading of bio oil and it's stability. This study is aimed to determine the effect of catalyst Ni/ZSM-5 percentration to palm shell bio oil yield, as well to determine the effect of hydrogenation pyrolysis on bio oil yield and physical properties. Hydrogenation pyrolysis is conducted at slurry reactor having 50 gr palm shell with 5-10 mm particle size, silinap (280M) 500 mL at temperature of 330°C. Catalyst variation (Ni/ZSM-5) 0.5; 1.5; 2.5; 3.5% to palm shell weight, with 1.35 ml/sec of hydrogen flow rate. Using ratio 2.5% Ni/ZSM-5 catalyst having 3% Ni impregnated showed of the highest yield 81.76%. Physical characterization result from bio oil showed that the highest calorific value of 0.5% Ni/ZSM-5 as hydrogenation pyrolysis catalyst is 44.43 MJ/Kg, 0.862 cSt kinematic viscosity, 0.955 gr/ml density, 0.946 specific gravity, 18.035°API, 49.3°C flash point and acid value 47.26 gr NaOH/gr sample. Hydrogenation pyrolysis improving bio oil properties, such as increasing calorific value and reducing viscosity, density, acid value, and flash point. GC-MS Analysis showed 1-Bromo-3-Metil-Cyclohexane of 9.16% as the highest chemical compound.

**Keywords :** Bio oil, Hydrogenation, Ni/ZSM-5, Pyrolysis

## 1. Pendahuluan

Masa depan energi indonesia tidak dapat lagi bertumpu pada produksi minyak bumi. Data 1 Januari 2011, posisi cadangan minyak bumi terbukti sebesar 4,2 miliar barrel dan tingkat produksi yaitu 986 ribu barrel perhari dengan konsumsi 1,304 juta barrel perhari [BP, 2011]. Salah satu teknologi untuk mengembangkan bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan adalah pirolisis.

*Bio oil* dihasilkan melalui proses pirolisis dan penyusun utamanya adalah senyawa phenol. *Bio oil* merupakan campuran hidrokarbon kompleks dengan sejumlah besar kandungan oksigen dan air [Basu, 2010]. Bahan baku proses pirolisis adalah biomassa. Biomassa yang digunakan pada penelitian ini merupakan limbah padat sawit yakni cangkang sawit.

Provinsi Riau merupakan daerah yang mempunyai luas kebun sawit terbesar di Indonesia dengan produksi sawit tahun 2010 sebesar 6.064.391 ton. Salah satu limbah yang dihasilkan pabrik kelapa sawit berupa cangkang sawit. Rata-rata produksi cangkang sawit adalah berkisar 6,5% dari setiap ton berat tandan buah segar yang diproses di pabrik sawit. Penggunaan cangkang sawit sebagai bahan bakar boiler hanya mampu mengurangi 40% dari keseluruhan jumlah limbah cangkang sawit yang ada di pabrik sawit [Febijanto, 2011]. Jadi, masih terdapat 236,51 ribu ton limbah cangkang sawit yang belum dimanfaatkan di Provinsi Riau.

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]. Hidrogenasi dapat

menyebabkan *oxygen removal* dengan *internal dehydration* dan *decarboxylation* selama awal proses pirolisis [Balat, 2008]. *Oxygen removal* 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 LHV produk [Goudriaan dkk, 2000].

Widianto [2012] melakukan pirolisis cangkang sawit dengan menggunakan katalis Ni/ZSM-5 dengan yield tertinggi didapat 58,7% pada suhu 310°C dan katalis Ni/ZSM-5 sebanyak 3% berat katalis. Dengan memvariasikan suhu pada 290, 300, 310, 320°C dan jumlah katalis yang digunakan 1, 2, 3, 4 % katalis. Hasil karakterisasi *bio oil* secara fisika diperoleh densitas 0,981 gr/ml, viskositas 12,98 cSt, angka keasaman 80,3 gr NaOH/gr sampel, dan titik nyala 52°C.

Berdasarkan penelitian yang diuraikan diatas maka dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan katalis Ni/ZSM-5 dengan variasi rasio katalis Ni/ZSM-5/biomassa 0,5%; 1,5%; 2,5% dan 3,5% akan dilakukan hidrogenasi pirolisis menggunakan cangkang sawit sebagai biomassa menjadi *bio oil* dengan variasi temperatur pirolisis 300, 310, 320 dan 330°C diharapkan memperoleh *yield* yang lebih besar dari penelitian sebelumnya dan juga memiliki *properties* yang mendekati produk *petroleum*.

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan pengaruh temperatur hidrogenasi pirolisis cangkang sawit terhadap yield *bio oil* yang dihasilkan.
2. Menentukan pengaruh persentase katalis Ni/ZSM-5 dengan biomassa cangkang sawit terhadap yield *bio oil* yang dihasilkan.
3. Menentukan pengaruh hidrogenasi pirolisis terhadap yield dan sifat fisika *bio oil* yang dihasilkan

## 2. Metoda Penelitian

### *Sintesis Ni/ZSM-5*

Sintesis ZSM-5 mengacu pada prosedur yang telah dilakukan oleh [Misidian, 2009] dengan kondisi suhu yaitu 175 °C, Rasio Si/Al 30 selama 18 jam. Terlebih dahulu akan

dilakukan pembuatan silika terpresipitasi dan natrium aluminat.

Sintesis silika terpresipitasi menggunakan bahan baku abu sawit. Abu sawit yang berasal dari pabrik pengolahan sawit dikonversi menjadi silika terpresipitasi dengan cara yang telah dilakukan oleh Firdaus [2009].

Bahan baku utama lainnya pada pembuatan ZSM-5 yaitu Alumina. Sumber alumina berupa natrium aluminat merupakan campuran Al(OH)<sub>3</sub> 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)<sub>3</sub> sambil diaduk. Setelah semua Al(OH)<sub>3</sub> larut kemudian dibiarkan 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 natrium aluminat dengan jumlah tertentu dicampur dengan aquades (suspensi 1). Abu sawit yang telah dikonversi menjadi silika terpresipitasi dengan jumlah tertentu (sesuai nisbah molar SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dicampur dengan aquades (suspensi 2). Suspensi 1 dicampur dengan suspensi 2 (suspensi 3). Selanjutnya ke dalam suspensi 3 ditambahkan NaOH dengan jumlah tertentu sehingga diperoleh nisbah Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7,4. Dilakukan pengadukan selama 30 menit. Setelah itu dimasukkan dalam reaktor autoclave pada temperatur 175 °C dan waktu selama 18 jam. Padatan yang terbentuk dicuci dengan aquades. Padatan dikeringkan dalam oven pada temperatur 110 °C selama 6 jam.

Impregnasi logam dilakukan dengan cara yang sama seperti yang dilakukan Elfrida [2011] dengan menggunakan NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O berdasarkan penelitian Donghwan dkk [2007]. Impregnasi logam dilakukan dengan mengembankan Nikel, Sebanyak 2,49 gram NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O dilarutkan dalam 500 mL aquades pada labu alas bulat (larutan NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O), ditambahkan ZSM-5 sebanyak 20 gram, direfluks sambil diaduk dengan pengaduk selama 6 jam pada temperatur 90°C. Kemudian dilakukan penyaringan dan pencucian. Padatan yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven

pada temperatur 110°C selama 3 jam, diperoleh Ni/ZSM-5.

Padatan Ni/ZSM-5 yang diperoleh akan dikalsinasi dengan aliran gas N<sub>2</sub> (10 mL/menit) pada temperatur 500°C selama 4 jam, kemudian dioksidasi dengan gas O<sub>2</sub> (10 mL/menit) pada temperatur 400°C selama 2 jam, dan direduksi dengan gas H<sub>2</sub> (10 mL/menit) pada temperatur 400°C selama 2 jam.

### **Persiapan Biomassa**

Pada tahap ini, biomassa dari cangkang kelapa sawit dicuci, dijemur, dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kadar airnya sampai beratnya konstan, kemudian dilakukan pengecilan ukuran dengan *mill grinder* dan diayak (*screening*) untuk memperoleh ukuran cangkang sawit yang lolos ayakan -40+60 mesh.

### **Pembuatan Bio-Oil**

Cangkang sawit yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermo oil* (silinap) dengan katalis Ni/ZSM-5 (0,25; 0,75; 1,25; 1,75gr) dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Dipirolisis pada suhu 330 °C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen 1,35 mL/detik, setelah reaktor mencapai temperatur 200°C nitrogen dihentikan dan reaktor dialiri hidrogen dengan kecepatan 1,35 ml/det. 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.

### **Uji Pengaruh Hidrogenasi Terhadap Bio Oil yang Dihasilkan**

Hal ini dilakukan untuk membandingkan bio oil hasil pirolisis tanpa menggunakan hidrogen dengan pirolisis menggunakan hidrogen, dilakukan pada suhu 330°C, sedangkan katalis yang digunakan adalah 0,5% berat biomassa. Pirolisis tanpa hidrogen dilakukan cara : cangkang sawit yang telah dibersihkan, dikeringkan dan dihaluskan ditimbang sebanyak 50 gram beserta 500 ml thermal oil

(silinap 280M) dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis kemudian ditambah dengan katalis Ni/ZSM-5 sebanyak 0,5% berat biomassa, dengan kecepatan pengadukan 300 rpm dan di alirkan gas nitrogen dengan laju alir 1,3 ml/det.

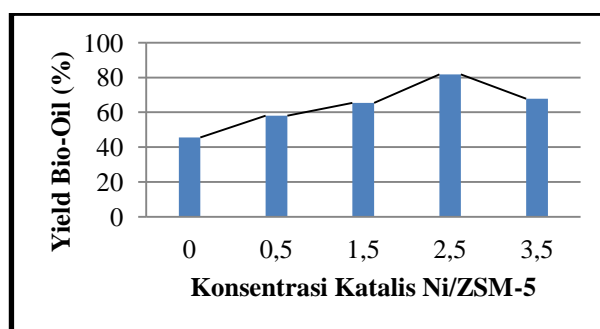
### **Analisa Karakteristik Bio Oil**

Hasil uap organik yang terkondensasi kemudian dikarakterisasi berdasarkan sifat fisika dari bio oil meliputi penentuan densitas, viskositas, titik nyala dan angka keasaman, dan nilai kalor.

## **3. Hasil dan Pembahasan**

### **Pengaruh persentase katalis Ni/ZSM-5 dengan biomassa cangkang sawit terhadap yield bio oil yang dihasilkan**

Setelah didapatkan suhu optimum 330 °C, selanjutnya dilakukan pirolisis dengan suhu optimum tersebut dan variasi katalis Ni/ZSM-5 1,5; 2,5 dan 3,5 % b/b terhadap cangkang sawit. Perolehan *yield Bio oil* setiap variasi katalis dapat dilihat pada Gambar 1



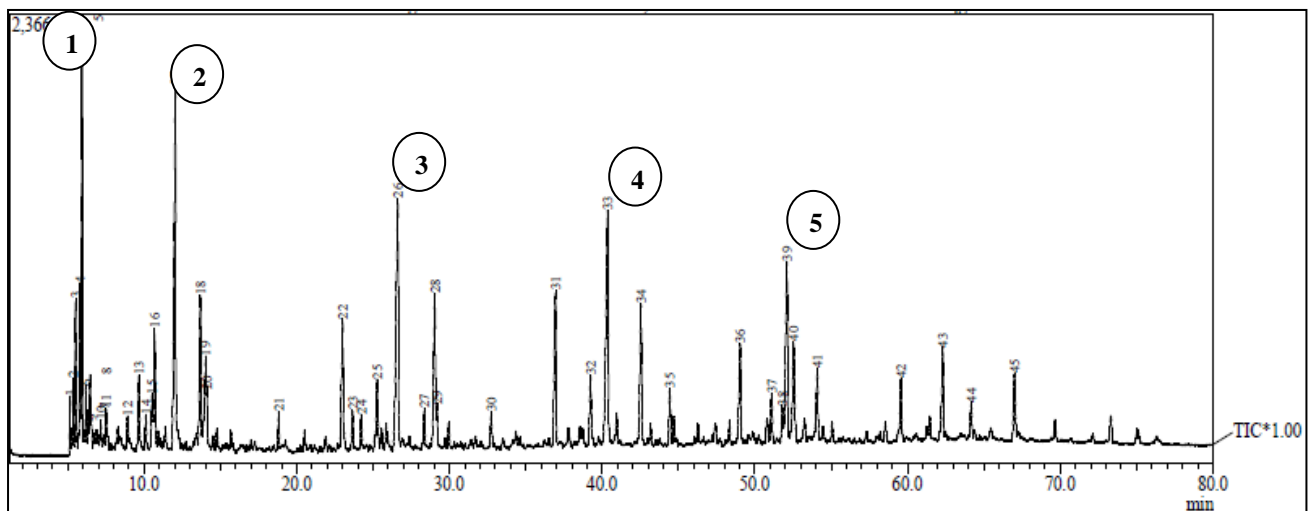
**Gambar 1** Grafik Hubungan Persentasi Katalis Ni/ZSM-5 terhadap *Yield Bio oil* yang Dihasilkan pada Suhu 330°C

Proses pirolisis pada Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa pada *range* variasi katalis 0-2,5 % b/b terjadi peningkatan *yield Bio oil* yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan dengan semakin besarnya persentasi katalis Ni/ZSM-5 yang digunakan, maka semakin besar pula kemungkinan untuk terjadinya reaksi dekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin pada rongga katalis yang menyebabkan *yield Bio oil* semakin besar.

Pada penggunaan katalis Ni/ZSM-5 3,5 % b/b terjadi penurunan *yield Bio oil* yang

dihasilkan dibandingkan pada katalis 2,5 % b/b. Secara teori seharusnya dengan penambahan jumlah katalis akan menyebabkan energi aktivasi semakin kecil dan kecepatan reaksi semakin besar sehingga *yield Bio oil* yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini diperkirakan terjadi karena semakin banyaknya produk gas yang tidak terkondensasi terbentuk. Logam Ni yang diembankan cenderung selektif terhadap pemutusan rantai C-C dan C-H [Vang dkk, 2005], akibatnya semakin banyak pula 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 dan *yield*

gas yang dihasilkan semakin besar. Namun, secara keseluruhan diperkirakan bahwa semakin besar penggunaan katalis akan mempercepat reaksi dan *yield* produk yang dihasilkan semakin besar, hanya saja dengan penggunaan katalis Ni/ZSM-5 3,5 % b/b menyebabkan *yield* produk *Bio oil* yang dihasilkan lebih sedikit dari pada *yield* produk gas. Sehingga katalis pada *range* 2,5 % b/b terhadap biomassa dan suhu 330 °C merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan *yield Bio oil* terbesar pada penelitian ini. Dari analisa kimia menggunakan GC-MS didapat kromatogram pada gambar 2:



**Gambar 2** Kromatogram bio oil pada penggunaan katalis Ni/ZSM-5 2,5%

Dari kromatogram didapat 5 puncak senyawa kimia paling dominan yaitu : (1-bromo-3-metil sikloheksan), (Trimetil-2-propyne silane), (1-isobutil-3-metil-2-pyrazoline), (2,2,4-trimetil heksane) , dan ((2,4,4-trimetil-2-pentena) dengan luas area berturut-turut : (9,18%), (8,91%), (7,98%), (7,27%), (5,34%). Peran katalis Ni/ZSM-5 dapat dibuktikan dengan terjadinya perubahan jumlah komponen pada penggunaan katalis yang berbeda.

Sebagian besar komponen adalah hidrokarbon aromatik ( sikloheksan ), heating value yang tinggi dan kandungan oksigen yang rendah dapat ditemukan pada fasa minyak dari pirolisis katalitik bio oil [Gopakumar, 2012]. Ni melakukan dehidro-aromatisasi ketika asam bronsted pada ZSM-5 mengkatalisis dehidrasi

dan hidrolisis. Ni/ZSM-5 menunjukkan selektivitas tinggi pada hidredeoksigenasi dari berbagai ikatan C-O dan C=O, Pengembangan Ni dapat meningkatkan hidrokarbon siklik dibandingkan aromatik [Zhao, 2012].

Tanpa hidrogen, Oksigen pada komponen oksigenat diubah secara katalitik menjadi sebagian besar H<sub>2</sub>O pada suhu katalis rendah sedangkan pada suhu katalis tinggi akan dikonversi menjadi CO dan CO<sub>2</sub>. Komponen oksigenat yang terbentuk pada ZSM-5 adalah sebagian besar phenol dan asam karboksilat [Atadana, 2010].

Sikloheksane sebagai komponen tertinggi pada bio oil yang didapatkan merupakan komponen kimia penting pada yang digunakan pada bahan bakar aviasi atau penerbangan yaitu diesel (JP-8) [Capareda, 2011]

Pada penggunaan katalis Ni/ZSM-5 0,5% didapatkan 76 jenis senyawa dalam bio oil yang dihasilkan sedangkan pada penggunaan katalis Ni/ZSM-5 2,5% didapatkan 45 jenis senyawa dari hasil analisa kimia GC-MS.

### Pengaruh Hidrogenasi Pirolisis terhadap Yield dan sifat fisika Bio oil yang Dihasilkan

Proses hidrogenasi pirolisis dilakukan pada variasi suhu 300; 310; 320 dan 330 °C dan katalis Ni/ZSM-5 0,5 % b/b terhadap cangkang sawit untuk mencari suhu optimum berdasarkan banyaknya *yield Bio oil* yang dihasilkan. Perbandingan untuk mengetahui pengaruh hidrogenasi pirolisis dilakukan pada suhu optimal yaitu 330°C dengan katalis Ni/ZSM-5 0,5%. Perolehan *yield Bio oil* pada proses pirolisis dengan katalis 0,5% Ni/ZSM-5 adalah **52,28%** sedangkan dengan menggunakan proses hidrogenasi pirolisis dengan katalis 0,5% Ni/ZSM-5 adalah **57,98%**.

Karakterisasi sifat fisika yang dilakukan meliputi penentuan nilai kalor, massa jenis, viskositas, angka keasaman dan titik nyala. Data Hasil perbandingan karakterisasi sifat fisika *bio-oil* pada penelitian ini dan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 1

**Tabel 1.** Perbandingan Karakteristik sifat fisik bio oil dengan literatur

Sifat Fisika	P-0,5%	HP-0,5%	Junaidi, 2012	Diesel
Densitas (gr/ml)	0,963	0,995	0,972	0,280-0,87 <sup>a</sup>
Viskositas (cSt)	0,914	0,862	1,021	1,6-5,8 <sup>a</sup>
Spesific Gravity	0,954	0,946	-	0,81-0,96 <sup>b</sup>
API Gravity (°API)	16,836	18,035	-	43,2-15,9
Titik Nyala(°C)	63	49,3	49	54,44 <sup>b</sup>
Acid Value (mg NaOH/gr Sampel)	53,46	47,26	51,51	-
HHV (MJ/Kg)	43,34	44,65	44,00	44,8 <sup>b</sup>

Ket : P-0,5% = Pirolisis dengan menggunakan katalis Ni/ZSM-5 0,5% (tanpa hidrogen)

HP-0,5% = Hidrogenasi pirolisis dengan menggunakan katalis Ni/ZSM-0,5% (dengan hidrogen)

Sumber : a. Pertamina [2011], b. Engineering toolbox [2012]

Gopakumar [2012] mempelajari pengaruhnya pada komposisi bio oil hidrogen sebagai carrier pada produksi hidrokarbon menggunakan zeolit (H<sup>+</sup>ZSM-5) pada pirolisis. Hasilnya pada pirolisis non katalitik reduksi komponen oksigenat dengan berat molekul yang lebih tinggi lebih banyak terjadi dengan kehadiran gas H<sub>2</sub> jika dibandingkan dengan inert (He), dan pada studi tersebut jugaditemukan bahwa tidak terdapat peningkatan senyawa aromatik dengan penggunaan rasio katalis dengan biomassa bahkan dari 1 : 2 sampai 1 : 5 menggunakan metode katalis unggun.

Widianto [2012] Melakukan pirolisis cangkang sawit menggunakan katalis Ni/ZSM-5 pada suhu 310°C dengan katalis 3%, mendapatkan yield bio oil dengan kandungan kimia phenol 28,30% dan asam asetat 45,56% sedangkan pada penelitian ini dengan penggunaan 2,5% katalis Ni/ZSM-5 dengan proses pirolisis diperoleh phenol 2,87% dengan asam karboksilat berupa asam dodekanoat 1,93%

Penurunan kandungan asam karboksilat dengan adanya hidrogenasi menyebabkan angka keasaman turun. Penurunan angka keasaman menunjukkan efek positif dari hidrogenasi yakni telah terjadi *Hydrodeoxygenation* (HDO). HDO dilakukan untuk mengurangi kereaktifan beberapa gugus fungsi dan menstabilkan minyak [Elliott, 2007]. Penambahan gas H<sub>2</sub> meningkatkan rasio H/C. Penambahan H<sub>2</sub> dapat menyebabkan *oxygen removal* dengan *internal dehydration* dan *decarboxylation* selama awal proses pirolisis [Zhang et al., 1999]. *Oxygen removal* meningkatkan nilai kalor dan menuntun produk agar mendekati *properties* hydrocarbon. Oxygen, air, dan CO<sub>2</sub> akan dihilangkan dari produk dengan penambahan hidrogen, hal ini dapat menghasilkan produk dengan rasio H/C yang lebih tinggi dan sejalan dengan

meningkatnya LHV produk [Goudriaan et al., 2000].

Jika dibandingkan kandungan kimia pada penelitian ini dengan penelitian Widiyanto sebagai gambaran terjadi reduksi phenol atau hidroksibenzene ( $C_6H_5OH$ ) yang cukup signifikan, phenol sebagai senyawa oksigenat yang menyebabkan bio-oil bersifat asam, dan memiliki nilai kalor yang rendah. Phenol sebagai hasil dari pemecahan lignin di konversi menjadi sikloheksane.

Seiring dengan penelitian atau studi yang dilakukan Gopakumar pengaruh *properties* dari keberadaan hidrogen pada penelitian ini maksimal pada penggunaan katalis yang rendah yaitu 0,5% Ni/ZSM-5 terjadi reduksi phenol menjadi 2,05%. Sedangkan senyawa aromatik berupa benzena 0,66% dan senyawa hidrokarbon siklik yang dihasilkan yakni siklohexane 15,03%.

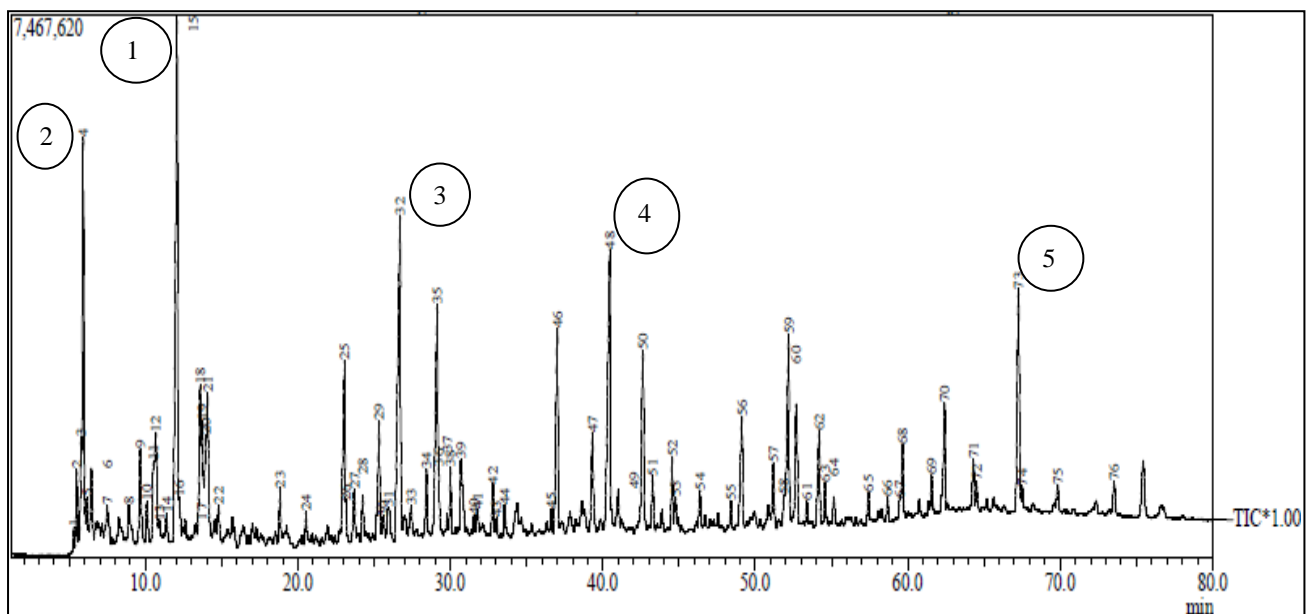
Dari data tabel 4.2 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan sifat fisik apabila dibandingkan antara pirolisis cangkang sawit tanpa menggunakan hidrogen dan

menggunakan hidrogen, terjadi penurunan densitas, viskositas, titik nyala dan angka keasaman sebaliknya nilai kalor yang dihasilkan semakin tinggi. Perubahan ini disebabkan terjadinya hidrodeoksigenasi.

Salah satu karakteristik awal dari bio oil adalah nilai viskositas yang tinggi, dan karakteristik ini dapat menyebabkan kerugian/dampak negatif pada kualitas atomisasi, *fuel droplet size* dan penetrasi pada mesin pembakaran [Weeranchanchai dkk, 2009]. Dengan adanya hidrogenasi, viskositas bio oil diturunkan sehingga *properties* sebagai bahan bakar meningkat.

Tingkat keasaman bio oil cenderung tinggi, korosif, dan *aging* karena mengandung campuran kompleks dari komponen oksigenat (Dari rantai pendek sampai dengan polimer) [Weeranchanchai dkk, 2009]. Hidrogenasi mengurangi pengaruh komponen oksigenat sehingga pH dari bio oil meningkat.

Dari Analisa kimia GC-MS dari sampel bio oil yang menggunakan proses hidrogenasi, didapatkan kromatogram pada gambar 3.



**Gambar 3.** Kromatogram sampel bio oil pada penggunaan 0,5% katalis Ni/ZSM-5 dengan proses hidrogenasi pirolisis

Dari kromatogram didapat 5 puncak senyawa kimia paling dominan yaitu : (1-bromo-3-metil sikloheksan), (Trimetil-2-propyne silane), (2,4,4-trimetil-2-pentena), (2,2,4-trimetil heksane) , dan asam laurat

(dengan luas area berturut-turut : (9,16%), (7,79%), (6,22%), (5,63%), (4,09%).

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### Kesimpulan

1. Penggunaan katalis Ni/ZSM-5 pada pengembangan 3% Ni menunjukkan yield tertinggi sebesar 81,76% pada penggunaan katalis Ni/ZSM-5 2,5% dari berat biomassa cangkang sawit.
2. Hasil Karakterisasi sifat fisika bio oil menunjukkan nilai kalor tertinggi pada penggunaan katalis Ni/ZSM-5 0,5% yaitu 44,43 MJ/Kg, Viskositas Kinematik 0,863 cSt, densitas 0,955 gr/ml, *Specific Gravity* 0,946, 18,035<sup>o</sup>API, Titik nyala 49,3<sup>o</sup>C, *Acid Value* 47,26 gr NaOH/gr saampel.
3. Hasil analisa GC-MS menunjukkan 5 komponen dominan dalam bio oil pada penggunaan Ni/ZSM-5 0,5% adalah (1-bromo-3-metil sikloheksan), (Trimetil-2-propyne silane), (2,4,4-trimetil-2-pentena), (2,2,4-trimetil heksane) , dan asam laurat (dengan luas area berturut-turut : (9,16%), (7,79%), (6,22%), (5,63%), (4,09%).
4. Proses Hidrogenasi mempengaruhi *properties* dari bio oil yang dihasilkan jika dibandingkan dengan pirolisis konvensional yaitu menurunkan densitas, viskositas, titik nyala, *acid value*, dan meningkatkan nilai kalor bio oil.

##### Saran

Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan dengan memvariasikan laju alir maupun tekanan hidrogen untuk mencari kondisi operasi yang tepat untuk mengembangkan proses hidrogenasi pirolisis ini dengan mempertimbangkan thermo-oil yang digunakan

#### 5. Daftar Pustaka

- Atadana, F.W. 2010. Catalytic Pyrolysis of Cellulose, Hemicellulose, and Lignin Model Compound. Tesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 95.
- Balat, M. (2008). Mechanism of Thermochemical Biomass Conversion Process. Part 3: Reaction of Liquefaction, *Energy Source Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effect*, 30, 654.

- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and*. New York: Elsevier.
- British Petroleum, 2011, BP Statistical Review of World Energy June 2011, <http://www.bp.com/statisticalreview>, diakses pada 7 April 2011, Pkl. 21.00WIB.
- Capareda, S. 2011. Advances in Gasification and Pyrolysis Research using Various Biomass Feedstock, *Beltwide Cotton Conferences*, Atlanta, Georgia, January 4-7, 2011, 469
- Donghwan, Lee., Sung, I.C., Geon, J.K., Honggon, Kim., Ik, M.L. (2007) Efficient and Selective Hydrogenation of Carboxylic Acid Catalyzed by Ni or PD on ZSM-5, *Journal Industrial Engineering Chemical*, 13, 7<sup>th</sup>(1067-1075).
- Elfrida. 2011. Sintesis Ni/ZSM-5 Untuk Pirolisis Cangkang Sawit Menjadi Bio Oil, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia
- Elliott, C. Douglass., 2007, Historical Development in Hydroprocessing Bio-Oils, *Energy & Fuels*, 21, 1792-1985,
- Engineering ToolBox, 2012, Fuels - Higher Calorific Values, <Http://www.engineeringtoolbox.com>, diakses pada 21 Mei 2012 Pkl 14.50 WIB.
- Febijanto, I., 2011, Kajian Teknis dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit, *Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi*, Jakarta.
- Firdaus, R. 2009. Pengaruh Suhu dan Kecepatan Pengadukan Pada Proses Presipitasi Silika dari Fly Ash Sawit, Skripsi, Universitas Riau, Indonesia
- Gopakumar, S.T. 2012. Bio Oil Production through Fast Pyrolysis and Upgrading to "Green" Transportation Fuels, Disertasi, Auburn University, Alabama
- 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 Liquefaction. Paper presented at *Progress in Thermochemical Biomass Conversion Conference*, Bridgewater, A.V (Ed). Tyrol. Austria, September 18-21, PP. 1312-1325.

- Imam. T., Capareda. S. (2011). Characterization of Bio oil, Syn Gas, and Bio Char from Switchgrass Pyrolysis at Various Temperature, *Journal of Analytical and applied pyrolysis*, 7
- Misdian, D. 2009. Pembuatan CoMo/ZSM-5 dari Abu Sawit Sebagai Katalis pada Pengolahan Biomassa Menjadi Bahan Bakar Cair, Skripsi, Universitas Riau, Indonesia
- Pertamina. 2011. *Material Safety Data Sheet* Produk Pertamina. PT. Pertamina. Indonesia
- Vang, R, T., Honkala, K., Dahl, S., Vestegaard, K, E., Schnadt, J. (2005), Controlling the Catalytic Bond-Breaking Selectivity of Ni Surfaces by Step Blocking, *Nature Material*, 4, 160- 162
- Weeranchanchai,P., Tangsathitkulchai, C., dan Tangsathitkulchai, M. 2009. Phase Behavior and Fuel Properties of Bio-Oil-Diesel-Alcohol Blends, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 56, 387.
- Widianto, R., 2012, Pirolisis Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil dengan Katalis Ni/ZSM-5, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia
- Zahrina, I., Saputra, E., Evelyn, Santoso,I. A., 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.-J.; Li, T.; Ren, Z. (1999). Upgrading of Liquid Fuel from the Pyrolysis of Biomass. *Bioresource Technology*, 96, 545-550
- Zhao, C. Dan J.A. Lercher. (2012). *Upgrading pyrolysis oil Over Ni/HZSM-5 by cascade reaction*. *Angewandte Chemie International Edition*, 51.