

HIDRORENGKAH KATALITIK MINYAK KULIT BIJI JAMBU METE (CNSL) MENJADI FRAKSI BENSIN DAN DIESEL (*Catalytic Hydrocracking of Cashew Nut Shell Liquid into Gasoline and Diesel Fractions*)

Lisna Efiyanti¹ & Wega Trisunaryanti²

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor,

²Jurusan Kimia, FMIPA. Universitas Gadjah Mada. Jl. Sekip Utara Yogyakarta 55281

Email : lisnaefiyanti@yahoo.com

Diterima 5 April 2013, Disetujui 3 Februari 2014

ABSTRACT

This research aimed to look into the hydrocracking potential of CNSL into fuel fraction with the aid of catalyst. The based materials of catalyst as used were Y-zeolite from Japan and Nickel metal (E-Merck). NiO/ZY catalyst was prepared with wet impregnation method using salt precursor $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ into Y-zeolite as a supporting stuff. Catalyst characterization was determined by gravimetry method to examined acidity of catalyst with pyridine base as a adsorbate base and catalyst porosity using Surface Area Analyzer (NOVA-1000). Hydrocracking process was carried out in a fixed-bed system reactor using NiO/ZY catalyst at temperature of 400°C with H_2 flow rate of 20 mL/min, and the ratio of feed/catalyst equal to 4. The results product was analyzed using Gas Chromatography (GC). Results showed that CNSL hydrocracking with NiO/ZY catalyst brought out liquid product as much as 80.03% in portion with selectivity on gasoline, diesel and heavy oil are 38,47%, 25,88% and 15,74%, respectively.

Keywords: CNSL, bioenergy, hidrocraking, NiO/ZY

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi hidrorengkah minyak kulit jambu mete menjadi fraksi energi dengan bantuan katalis. Katalis yang digunakan berbahan dasar Zeolit-Y yang berasal dari Jepang dan logam Nikel (E-Merck). Katalis NiO/ZY dipreparasi dengan metode impregnasi basah menggunakan garam prekursor $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ kedalam zeolit-Y sebagai bahan pengemban. Karakterisasi katalis ditentukan dengan metode gravimetri untuk mengetahui keasaman katalis dengan basa piridin sebagai basa adsorbat dan porositas katalis menggunakan Surface Area Analyzer (NOVA-1000). Proses hidrorengkah dilakukan dengan reaktor sistem *fixed bed* menggunakan katalis NiO/ZY pada suhu 400°C, aliran gas H_2 sebanyak 20ml/menit selama 1 jam dengan rasio umpan/katalis = 4. Produk yang dihasilkan dianalisis menggunakan Kromatografi Gas (GC). Hasil reaksi yang diperoleh menunjukkan bahwa hidrorengkah CNSL dengan katalis NiO/ZY menghasilkan produk cair sebanyak 80,03% dengan selektivitas bensin, diesel dan minyak berat masing-masing sebesar 38,47%, 25,88% dan 15,74%.

Kata kunci : CNSL, bioenergi, hidrorengkah, NiO/ZY

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi bersumber dari fosil semakin hari akan terancam habis, sehingga diperlukan upaya pencarian energi alternatif berbahan dasar yang dapat diperbaharui untuk mensubstitusi kebutuhan energi di masyarakat. Bioenergi yang berkembang saat ini berasal dari minyak nabati maupun hewani, akan tetapi seyogyanya bahan dasar pembuatan energi tidak berkompetisi dengan pangan, sehingga perlu diupayakan bahan baku energi yang tidak mengganggu kebutuhan lain, seperti misalnya saja tandan kosong kelapa sawit, serbuk gergaji, maupun kulit biji jambu mete.

Tanaman jambu mete termasuk family *Anacardiaceae* (Ketaren, 1986), dan memiliki komoditas ekonomi yang tinggi. Persebaran tanaman ini cukup luas, baik di wilayah Pulau Jawa, Kalimantan, Sulawesi maupun daerah Indonesia Timur. Tanaman jambu mete memiliki keunggulan karena dapat dikembangkan di daerah yang kondisi lahannya marginal dan beriklim kering, sehingga sekaligus dapat berfungsi untuk merehabilitasi lahan kritis. Tanaman ini umumnya dimanfaatkan secara luas hanya pada bagian biji nya saja, yaitu untuk konsumsi walaupun sebenarnya pada bagian lain seperti getah berfungsi sebagai perekat buku dan anti rayap, buah dapat dikonsumsi dan di fermentasi menghasilkan alkohol serta minyak kulit biji mete menjadi pengawet kayu (Ketaren, 1986).

Produksi biji mete di Indonesia pada tahun 2003 sekitar 118,771 ton gelondongan dengan persentase kulit sebanyak 45%, sehingga dapat diestimasikan sebanyak 10,684 ton CNSL akan dapat diperoleh (Rishfaheri & Kailaku, 2005). Kulit biji jambu mete mengandung sekitar 50% minyak yang dikenal sebagai Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) (Foger, 1983). Dari 1 kg kulit biji mete dapat menghasilkan 100 gram minyak CNSL (Suwondo dan Lubis, 2001). CNSL sendiri merupakan senyawa fenolat kompleks dengan rantai cabang dan sifatnya tidak jenuh. Kandungan utama minyak ini adalah asam anarkadat sebesar 70%, kardol 18% dan kardanol 5% (Budiati, *et al.*, 2004). Minyak CNSL ini dapat juga dimanfaatkan untuk bahan baku produksi bioenergi dengan metode reaksi hidorengkah katalitik. Reaksi ini akan memecah rantai panjang pada CNSL menjadi hidrokarbon sederhana

(Atkins, 1994). Jenis katalis yang optimum yang biasa digunakan dalam proses reaksi hidorengkah katalitik adalah katalis logam pengemban. Katalis yang digunakan adalah NiO/ZY hasil dari impregnasi logam nikel ke dalam pengemban zeolit-Y. Zeolit-Y adalah golongan faujasite yang memainkan peranan penting dalam industri petrokimia (Homberg, *et al.*, 2003).

Aktivitas dan selektifitas katalis Ni/ZY terbukti cukup efektif dalam proses hidorengkah aspalten (Pembajeng, 2010), dibenzitiopena dan dimetilbenzitiopena (Kaneda *et al.*, 1998) serta reaksi hidrogenasi benzene. Alosobaai, *et al.* (2007) mengungkapkan bahwa pengemban katalis logam pada zeolit-Y dalam reaksi hidorengkah dengan temperatur 450°C menghasilkan konversi optimum petroleum gas oil menjadi gasolin, kerosin dan diesel masing-masing sebesar 63,35%. Twaig, *et al.* (2003) juga mendapatkan hasil hidrokarbon cair linier pada reaksi hidorengkah minyak sawit dengan penggunaan reaktor yang sama pada kondisi temperatur 450°C.

II. BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan, Alat dan Persiapan

Penelitian mengenai hidorengkah CNSL menjadi fraksi bensin dan diesel ini dilakukan di Laboratorium Kimia Fisika FMIPA UGM pada tahun 2010. Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini diantaranya seperangkat reaktor hidorengkah, seperangkat alat gelas, *Surface Area Analyzer*, desikator, instrumen GC-MS, seperangkat alat sentrifus. Bahan yang digunakan adalah cangkang kulit biji jambu mete (CNSL) yang dikumpulkan dan diambil dari petani mete di daerah Gunungkidul, Yogyakarta dan diekstraksi di Laboratorium Terpadu UGM.

B. Preparasi CNSL

Preparasi umpan CNSL dilakukan dengan pengepresan mekanis (*hidrolic press*) kulit biji jambu mete sehingga didapatkan minyak CNSL. Sebanyak kurang lebih 5 kg cangkang kulit biji mete kering dapat menghasilkan minyak CNSL sekitar 1250ml. CNSL di bersihkan dari kotoran sehingga siap menjadi umpan pada proses hidorengkah.

C. Pembuatan Katalis NiO/Zeolit-Y

Zeolit-Y diberi larutan yang mengandung logam $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kemudian direfluks dan diaduk selama 2 jam pada temperatur 80°C . Metode ini disebut dengan metode impregnasi basah. Hasil refluks dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C sehingga diperoleh padatan Ni/Zeolit-Y. Padatan tersebut kemudian dikalsinasi menggunakan *microwave* selama 15 menit dengan daya 550 watt. Hasil kalsinasi kemudian dioksidasi menggunakan aliran oksigen pada temperatur 400°C selama 1 jam sehingga didapat katalis NiO/ZY.

D. Karakterisasi Katalis

Nilai keasaman katalis yang dibuat ditentukan secara gravimetri menggunakan piridin sebagai basa adsorbat. Luas permukaan spesifik, volume pori dan rerata jejari pori ditentukan dengan *Surface Area Analyzer* (SAA NOVA-1000).

Kondisi instrumen dari SAA NOVA-1000:

Berat sampel	: 0,149 g
Outgas time	: 3,0 jam
Gas analisis	: Nitrogen
Waktu analisis	: 298,2 menit
Cell ID	: 96
Outgas temp	: 300°C
Bath temp	: 77,3 K.

E. Hidrorengkah Minyak Kulit Jambu Mete (CNSL)

Hidrorengkah CNSL menjadi fraksi bensin dan diesel dilakukan dengan cara menempatkan katalis dan umpan pada reaktor jenis *fixed-bed*. Katalis diletakkan dibagian atas reaktor sementara umpan diletakkan dibagian bawah. Kemudian reaktor tersebut dipanaskan hingga mencapai temperatur konstan 400°C . Pada saat reaksi, aliran gas hidrogen diberikan dengan laju alir konstan sebesar 20ml/menit (dilihat pada petunjuk *flow meter*). Setelah proses reaksi mencapai kesetimbangan, maka produk sedikit demi sedikit akan keluar melalui selang silikon dan melewati kondensor sehingga menetes pada wadah penampung. Proses hidrorengkah tersebut berlangsung selama 1 jam dan hasil akhir produk berupa produk cair, gas, dan kokas.

Perhitungan konversi menggunakan persamaan:

Konversi produk cair % = produk cair (g) : (umpan awal - umpan akhir x 100) %.....(1)

Konversi produk gas (% b/b) = 100 % - (konversi produk cair + kokas).....(2)

Analisis produk akhir dilakukan dengan menginjeksikan sampel pada alat GC sehingga diperoleh data kualitatif dan kuantitatif. Data pada GC menunjukkan beberapa produk yang terbentuk. Untuk mengetahui distribusi produk fraksi cair maka dilakukan *spiking* menggunakan standar dodekana sehingga dapat diketahui interval waktu retensi fraksi bensin dan diesel.

Kondisi instrumen dari GC:

Jenis GC	: QP2010S SHIMADZU
Kolom	: Rastex RXi-5MS
ID	: 0,25 mm
Gas pembawa	: Helium
Ionisasi	: EI
Temperaturkolom	: 60°C
Mode injeksi	: <i>Split</i>
Aliran total	: 80 ml/menit
Aliran kolom	: 0,50 ml/menit

% bensin = luas kromatogram bensin : luas kromatogram GC x 100%.....(3)

% diesel = luas kromatogram diesel : luas kromatogram GC x 100%.....(4)

% minyak = luas kromatogram minyak : luas kromatogram GC x 100%.....(5)

Fraksi bensin dan diesel dalam masing-masing produk cair dapat dihitung dengan persamaan (Trisunaryanti, *et al.*, 2008)

(% bensin/diesel/minyak ÷ konversi produk) x 100%.....(6)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

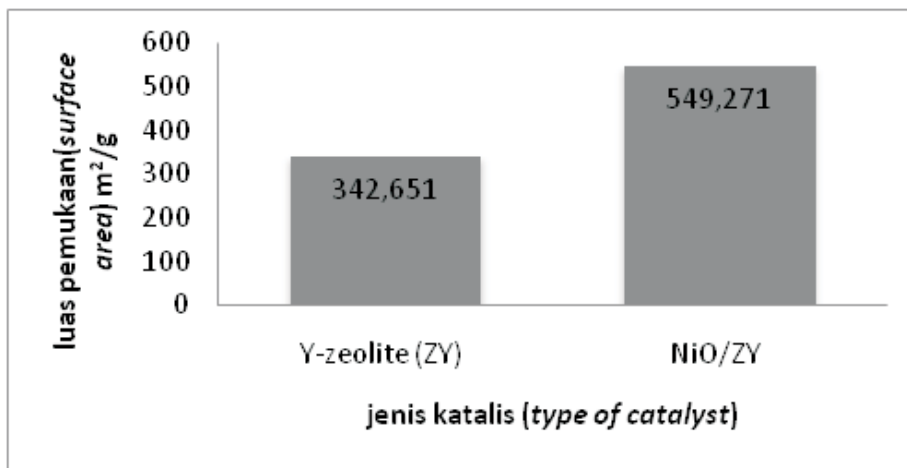
A. Material Katalis untuk Reaksi Hidrorengkah CNSL

Pada Gambar 1, terlihat bahwa setiap jenis katalis memiliki luas permukaan yang berbeda. Katalis NiO/ZY memiliki luas permukaan yang lebih besar dibanding katalis ZY, sehingga ini menyebabkan produk hasil hidrorengkah menggunakan katalis NIO/ZY akan lebih baik. Luas permukaan yang besar akan memungkinkan terjadinya interaksi/kontak antara reaktan dan katalis dapat lebih efektif, sehingga reaksi akan lebih cepat terjadi dan produk akan terbentuk lebih optimal. Sebaliknya, apabila luas permukaan

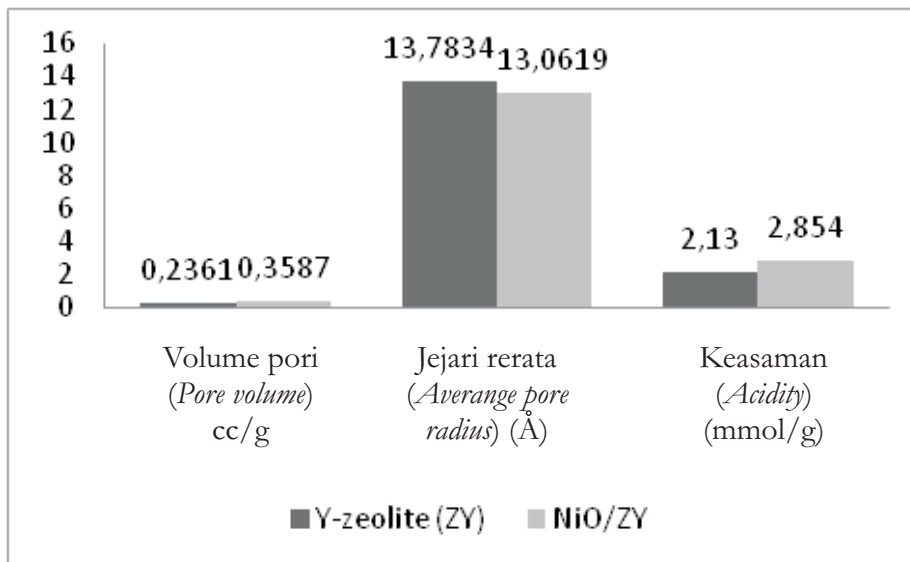
katalis kecil, maka interaksi antara reaktan dan katalis juga akan sulit (tumbukan kurang efektif) sehingga produk yang diharapkan akan juga sulit di dapat (Augustine, 1996).

Pada Gambar 2. dapat dilihat bahwa keasaman dan volume pori dari katalis hasil impregnasi logam nikel bernilai lebih besar dibanding zeolit-Y tanpa impregnasi logam. Hal ini dikarenakan logam Ni menyumbang situs aktif orbital d yang kosong sebagai penerima pasangan elektron. Dengan adanya impregnasi logam Ni ke dalam

sampel zeolit, maka situs aktif katalis bertambah Logam Ni yang dapat berperan sebagai situs asam Lewis dan orbital d pada Ni bersifat reaktif dalam menerima pasangan elektron dari basa yang terserap. Karakterisasi katalis akan berpengaruh pada reaksi, kuantitas, dan kualitas produk hidrorengkah yang dihasilkan. Fatimah (2002) mengembankan logam Ni pada zeolit-Y dan hasilnya menunjukkan bahwa adanya Ni dalam katalis dapat meningkatkan aktivitas dan selektivitas produk pada hidrorengkah kumena.



Gambar 1. Jenis katalis dengan luas permukaan
 Figure 1. Type of catalyst and its surface area



Gambar 2. Jenis katalis dan karakter pori
 Figure 2. Type of catalysts and its pore characterization

B. Produk Hasil Hidrorengkah CNSL

Pada analisa kromatografi gas (GC) dapat dilihat dan dihitung beberapa macam produk hidrorengkah yang dihasilkan. Salah satu kriteria penting untuk melihat kualitas katalis dan berhasilnya suatu reaksi adalah dengan melihat selektifitas produk yang dihasilkan. Pada reaksi hidrorengkah CNSL ini, produk yang diharapkan adalah produk fraksi cair (fraksi bensin dan diesel).

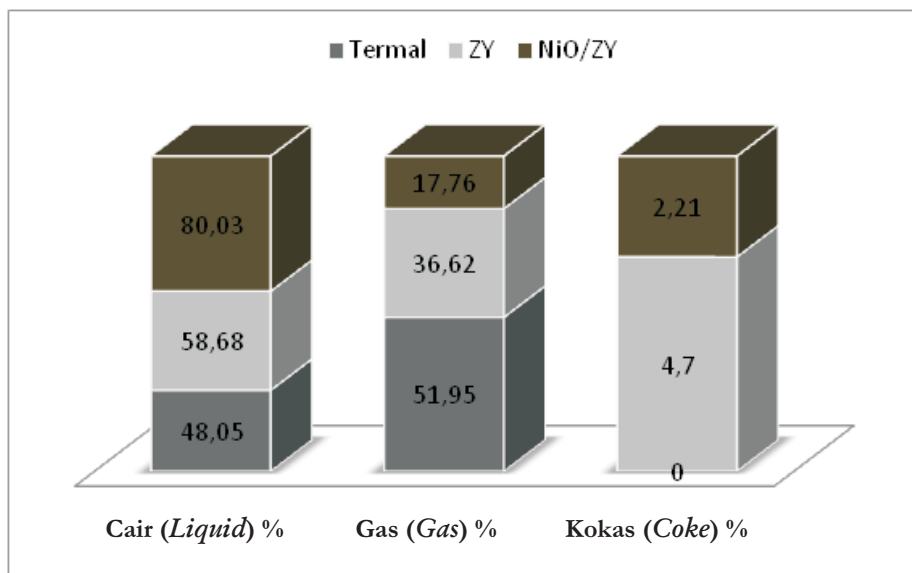
Untuk mengidentifikasi senyawa yang dicari, maka diperlukan *spiking* sampel produk dengan senyawa standar, sehingga area kromatogram fraksi bensin dan diesel dapat diketahui. Puncak pada kromatogram akan muncul pada waktu retensi tertentu, dan waktu retensi ini dapat dipakai untuk identifikasi senyawa yang belum diketahui dengan cara membandingkan retensi senyawa produk dengan retensi standar (Pembajeng, 2010).

Kromatogram hasil analisis memperlihatkan bahwa standar bensin muncul pada waktu retensi 9,358 menit, sehingga dapat diperkirakan bahwa puncak yang muncul sebelum waktu retensi tersebut adalah puncak dari fraksi bensin, retensi

9,358-20 menit adalah puncak dari fraksi disel serta retensi setelah 20 menit adalah fraksi dari minyak berat.

CNSL tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar dikarenakan merupakan minyak nabati yang memiliki viskositas tinggi, sehingga hal ini akan mengakibatkan pembakaran tidak sempurna (Twaig, *et al.* 2004). CNSL juga tidak seluruhnya dapat dikonversi menjadi produk cair (fraksi bensin dan diesel) akan tetapi dapat menghasilkan produk samping berupa gas dan kokas. Produk cair dapat terbentuk karena adanya reaksi perengkahan langsung, terbentuk dari reaksi penggabungan senyawa hidrokarbon hasil reaksi dan dapat juga terbentuk dari hasil reformasi senyawa hidrokarbon sampel (Nazarudin, 2000). Penggunaan katalis yang bersifat asam juga dapat memicu pembentukan kokas pada akhir reaksi, sedangkan produk gas terbentuk karena kemungkinan tidak terbentuknya reaksi polimerisasi pada saat reaksi (Fessenden, 1992).

Dari perhitungan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka untuk mempermudah analisis tentang selektivitas katalis terhadap produk yang diinginkan dapat dibuat gambar seperti berikut:

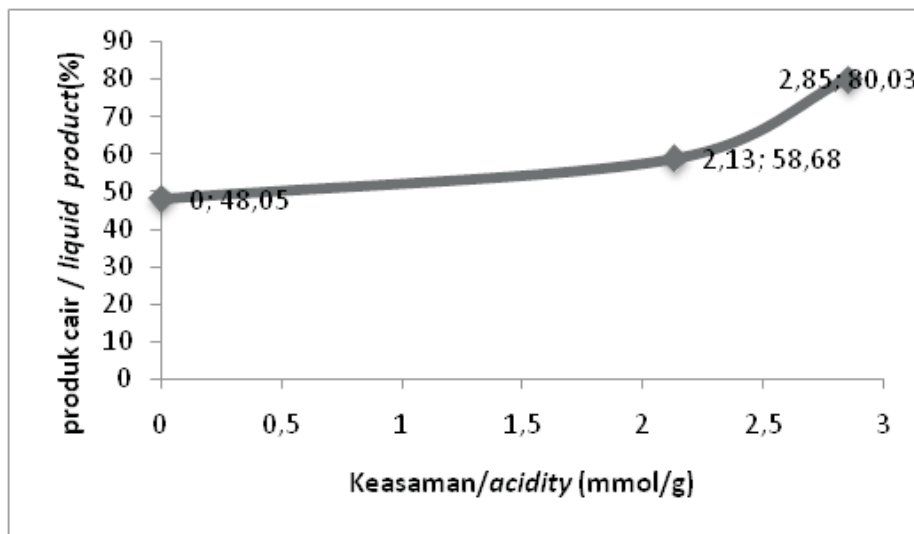


Gambar 3. Hasil dekomposisi CNSL dengan proses hidrorengkah katalitik
 Figure 3. Product decomposition of CNSL using catalytic hydrocracking process

Produk cair terbanyak dihasilkan oleh penggunaan katalis NiO/ZY pada kondisi reaksi temperatur 400°C dan perbandingan katalis/ umpan 4 dengan konversi total produk cair sebesar 80,03%. Pada penelitian ini juga dilakukan proses hidrokrek dengan kondisi termal tanpa katalis, dengan tujuan sebagai kontrol untuk melihat kinerja katalis. Gambar 3 memperlihatkan bahwa hasil dekomposisi belum efektif, hal ini dikarenakan pada reaksi termal, proses perengkahan melalui pembentukan radikal bebas sehingga cenderung menghasilkan senyawa

hidrokarbon berantai pendek dan berbentuk gas (Trisunaryanti *et al.*, 2008). Setiap katalis memiliki temperatur karakteristik dimana konversi akan maksimum dan hal ini disebut dengan temperatur optimum laju reaksi.

Dari Gambar. 4 memperlihatkan bahwa ketika keasaman katalis meningkat, maka produk cair yang terbentuk juga cenderung semakin besar (Santi, *et al.*, 2012). Dengan keasaman katalis yang besar maka diharapkan reaktan akan terserap lebih banyak pada permukaan katalis sehingga reaksi dapat terjadi dengan lebih efektif.



Gambar 4. Hubungan antara keasaman dan produk cair yang dihasilkan
 Figure 4. Relationship between acidity and liquid product produced

Tabel 1. Komposisi produk yang dihasilkan dari proses perengkahan dengan berbagai macam katalis

Table 1. Product compositions produced by hydrocracking of catalysts

Katalis	Temperatur (°C)	Bensin %	Diesel %	Minyak berat %	Total produk cair %
Termal	400	7.58	31.131	48.05	
ZY	400	12.33	13.50	32.73	58.68
NiO/ZY	400	38.47	25.88	15.74	80.03

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa hidrokrek CNSL dapat menghasilkan produk fraksi bensin dan diesel yang hasilnya berbeda tergantung jenis katalis. Penggunaan katalis akan meningkatkan laju reaksi pembentukan karbokation sehingga terbentuk fraksi cair lebih dominan (Sie, 2003).

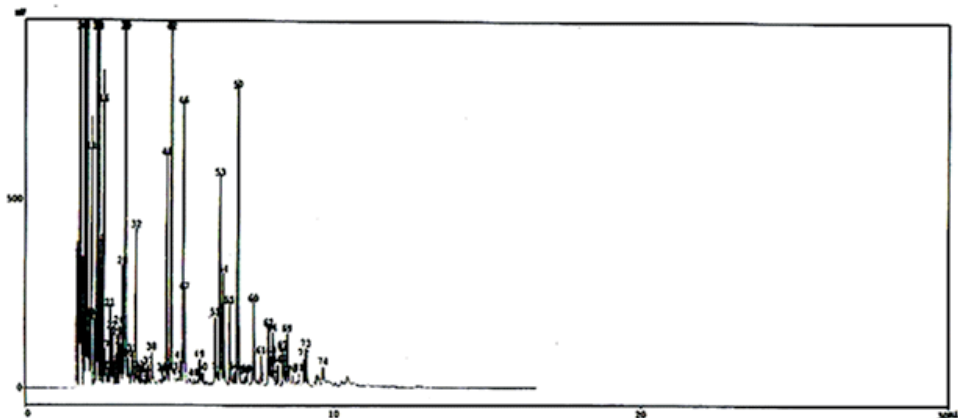
Katalis NiO/ZY menghasilkan produk bensin yang lebih banyak dibanding katalis ZY maupun dengan kondisi termal (tanpa katalis). Hal ini dikarenakan katalis tersebut memiliki keasaman dan luaspermukaan yang lebih besar sehingga distribusi situs aktif juga semakin besar,

karenanya akses reaktan dan rantai karbon akan lebih baik dan lebih mudah terpecah. Rerata jejari pori yang lebih besar juga dapat mengakibatkan rantai hidrokarbon yang lebih panjang lebih mudah untuk masuk ke dalam katalis dan proses pemecahan rantai karbon akan semakin optimal.

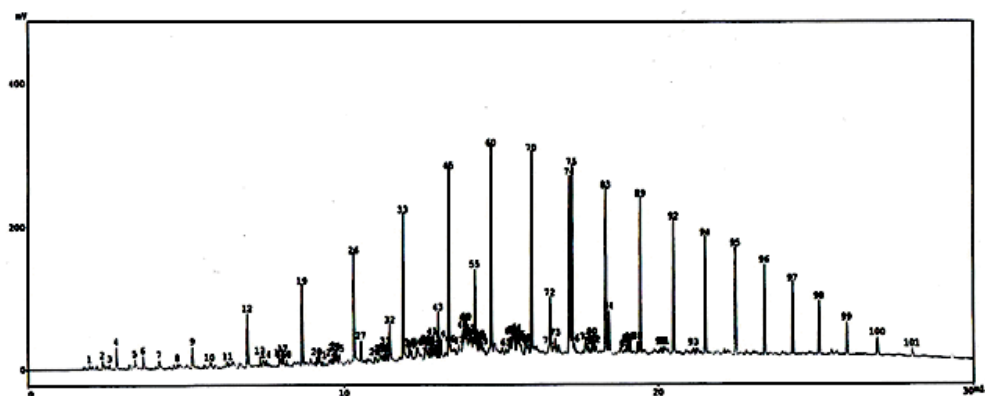
Gambar 5, 6, 7, dan 8 menggambarkan perbandingan dari beberapa kromatogram sampel energi, baik bensin komersial, solar maupun produk hasil hidrorengkah CNSL. Komponen senyawa penyusun bensin adalah hidrokarbon rantai C_4 - C_{12} , solar C_{10} - C_{17} . Setiap sampel yang dianalisis memiliki karakteristik pada masing-masing kromatogram yang terlihat. Kromatogram bensin dan solar komersial dapat menjadi referensi untuk penilaian kualitatif pada kesamaan pola kromatogram yang muncul. Secara kualitatif pada sampel produk hasil hidrorengkah CNSL baik dalam kondisi tanpa katalis maupun menggunakan katalis NiO/ZY terlihat bahwa terdapat pola kromatogram yang menyerupai kromatogram bensin dan solar. Hal ini

menandakan bahwa secara kualitatif sampel produk hasil hidrorengkah CNSL mengandung fraksi bensin dan fraksi diesel serta minyak berat.

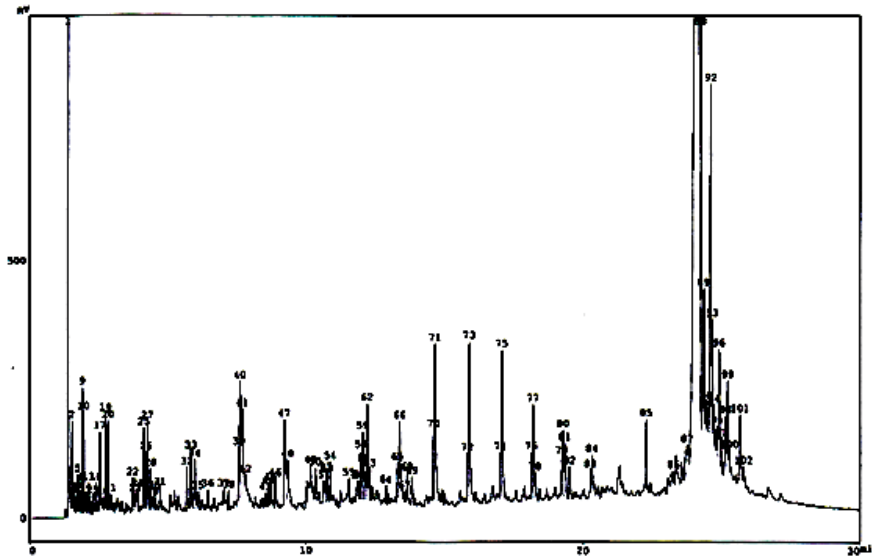
Dari beberapa pola kromatogram di atas, maka dapat dibedakan bahwa adanya perbedaan kondisi reaksi pada proses hidrorengkah menghasilkan puncak kromatogram yang intensitasnya juga berbeda. Seperti pada kromatogram hasil hidrorengkah termal yang memperlihatkan bahwa puncak kromatogram solar maupun bensin yang terbentuk, intensitas dan ketinggiannya sangat rendah, sehingga dapat diperkirakan selektivitasnya pun terhadap kedua produk sangatlah kecil hal ini telah dibuktikan dengan perhitungan kuantitatif sebelumnya. Sedangkan puncak kromatogram hasil hidrorengkah menggunakan katalis NiO/ZY semakin baik dengan intensitas solar dan bensin yang jauh lebih tinggi dibanding dengan perengkahan termal. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis dengan sifat pengemban yang berbeda dapat menghasilkan selektivitas yang juga berbeda.



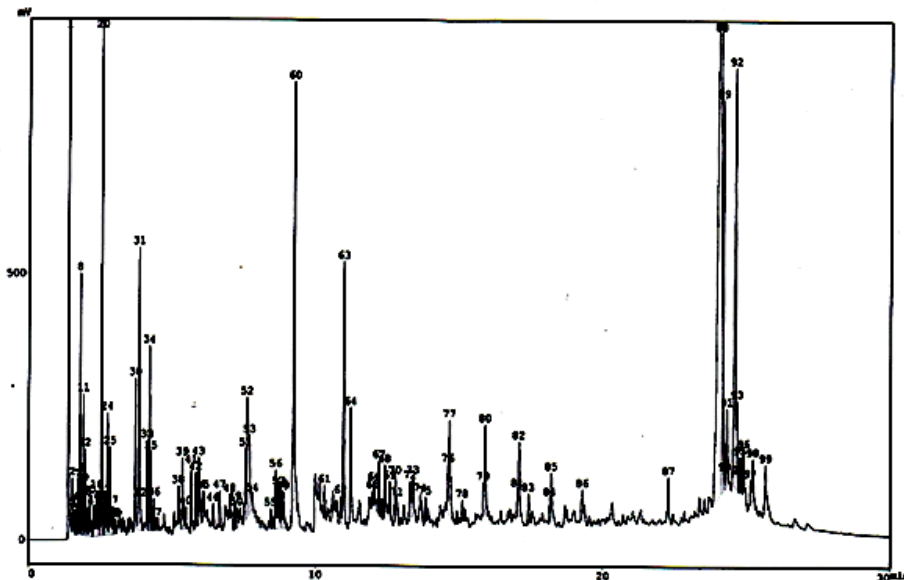
Gambar 5. Kromatogram bensin komersial
Figure 5. Commercial gasoline chromatogram



Gambar 6. Kromatogram diesel komersial
Figure 6. Commercial diesel chromatogram



Gambar 7. Kromatogram produk cair hasil hidorengkah termal
Figure 7. Chromatogram of liquid products with thermal hydrocracking



Gambar 8. Kromatogram produk cair hasil hidorengkah dengan katalis NiO/ZY
Figure 8. Chromatogram of liquid products with NiO/ZY catalyst

Katalis yang menggunakan pengemban zeolit-Y dengan pengembanan logam nikel yang diketahui memiliki keasaman, luas permukaan serta volume pori yang jauh lebih besar dibanding tanpa pengembanan logam dan menghasilkan selektivitas terhadap produk yang lebih baik. Sehingga dalam proses reaksi hidrokrenkah CNSL menjadi fraksi bensin dan fraksi diesel diperlukan optimasi kondisi reaksi agar dapat menghasilkan produk yang optimal.

IV. KESIMPULAN

Reaksi hidorengkah CNSL menggunakan katalis NiO/ZY menunjukkan bahwa CNSL memiliki potensi untuk di konversi menjadi fraksi energi, seperti bensin dan diesel dengan produktivitas masing-masing produk berturut-turut sebanyak 38,47 dan 25,88%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh civitas akademika di Jurusan Kimia FMIPA UGM dan Mikrobiologi Hutan FORDA atas bantuan dan bimbingan sehingga penelitian dan tulisan ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsobaai, A.M, R. Zakarian, & B.H. Hammed. (2007). Hydrocracking of Gas Oil over Ni-W, Ni-Mo, Co-Mo Catalyst Supported on USY zeolite. *Aiser*, 3(3), 91-98.
- Atkins, P. (1994). *Physical Chemistry, 7th edition*. Oxford: Oxford University Press.
- Augustine, R. L. (1996.). *Heterogenous Catalysis for Chemist, Marcel dekker, Inc*. New York.
- Budiati. (2004). *Synthesis and Activity test of Methyl Anarcadat as a Enzyme Inhibitor of Sulfidril*, Jakarta: JBP kolom 6, No. 2.
- Fatimah. (2002). Preparasi dan krakterisasi Ni/Zeolit alam sebagai katalis dalam Hydrocracking Isopropil Benzena. *Prosiding Seminar Nasional Kimia X*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Foger, K. (1983). *Dispersed metal catalyst*. Australia: University of Melbourne.
- Gates, B. (1992). *Catalytic Chemistry*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Kaneda, K., Wada, T., Murata, S., & Nomura, M. (1998). *Hydrocracking of dibenzothiophenes catalyzed by palladium and nikel coloaded γ -type zeolite*, *Energy and Fuels*. 298-303.
- Ketaren, S. (1986). *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: Universitas Indonesia Press (UI-Press).
- Nazarudin. (2000). *Optimasi kondisi reaksi perengkaban katalitik fraksi minyak berat dengan katalis Cr dan Ni-zeolit alam*. Tesis, Yogyakarta: FMIPA UGM.
- Pembajeng, N. (2010). *Preparasi dan karakterisasi katalis ni dan/atau mo teremban pada zeolit-y untuk hidrorengkah fraksi aspalten dari aspal*

buton menjadi fraksi bahan bakar cair. Skripsi, Yogyakarta: FMIPA UGM.

- Rishfaheri and Kailaku, S. (2005). Teknologi pengembangan produk turunan minyak kulit biji mete. *Prosiding Seminar Teknologi Inovatif untuk Pengembangan Pascapanen Pertanian Berbasis Industri*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Santi D., L. Efiyanti, W. Trisunaryanti, Triyono. (2012). The potential of cashew nut shell liquid within hydrocracking reaction to produce the gasoline and diesel fraction. *Proceeding of The 2nd Korea-Indonesia Workshop and International Symposium on Bioen*, (hal. 135-138). Tangerang.
- Sie, S. (2003). *Ind. Eng. Chem. Res*, 31. 1881-1889.
- Suwondo, A. D. & Lubis, L. (2001). *Ekstraksi CNSL dari kulit biji Jambu Mete*. Semarang: Laporan Penelitian Jurusan Teknik Kimia Undip.
- Trisunaryanti, W. (2009). Preparation, characterization and catalytic activity test of como / zno catalyst on ethanol conversion using steam reforming method. *Indo.J.Chem*, 9(2), 195-200.
- Trisunaryanti, W. E. Triwahyuni, & S. Sudiono. (2004). Preparation, Characterization and Modification of Ni-Pd/ Natural Zeolit Catalysts. *Indo, J, Chem*, 3 (1), 342-347.
- Trisunaryanti, W. (2007). *Material Katalis*. Yogyakarta: Dept. Kimia FMIPA. UGM.
- Triyono. (2002). *Kimia Katalis*. Yogyakarta: Dept. Kimia FMIPA. UGM.
- Trisunaryanti, W., S. Purwono., & A. Putranto. (2008). Catalytic hydrocracking of waste lubrican oil into liquid fuel fraction using ZnO, Nb₂O₅, Activated Natural Zeolite And Their Modification. *Indo, J, Chem*, 8(3), 342-347.
- Twaiq, A.F, A.R. Mohamed, & S. Bhatia. (2003). Liquid hydrocarbon fuels from palm oil by catalytic cracking over aluminosilicate mesoporous catalysts with various Si/Al Ratios, *Micro. Meso. Mater*, 64, hal. 95-107.

Lampiran

Tabel kemungkinan senyawa yang terkandung dalam produk hasil hidrohengkah CNSL

Komponen kimia	Waktu retensi	
1-Nonene	0-10 menit	
1-Decene		
Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-(CAS)		
Decane		
Phenol, 3-methyl		
Undecane (CAS) n-Undecane		
Tridecane		
Dodecane		
Phenol, 3-ethyl		
3-Tetradecene, Z		10-20 menit
Tetradecane		
Hexadecane		
Cyclododecane		
3-Tetradecene		
Heptadecane		
8-heptadecyne, 1-bromo	20-30 menit	
Cyclododecene, Z-CAS (Z)-cyclododecene		
3-tetradecene		
3-Hexadecene, (Z)-(CAS) cis.3-hexadecene		
Tetradecene		
1-naphtalenol, 5,6,7,8-tetrahydro-(CAS)		
Benzene, 1-(1,1-dimethylethoxy)-4-methyl		
Dodecanoic acid, methyl ester		
Phenol, 3-butyl		
Benzene, (1-methylnonadecyl)		
Tetradecanoic acid	10-13 menit	
10,13-octadecadienoic acid, methyl ester CAS		
11-octadecenoic acid, methyl ester (Z)		
Octadecanoic acid, methyl ester	20-30 menit	

Lampiran

Tabel kemungkinan senyawa yang terkandung dalam produk hasil hidrorengkah CNSL

Komponen kimia	Waktu retensi	
1-Nonene	0-10 menit	
1-Decene		
Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-(CAS)		
Decane		
Phenol, 3-methyl		
Undecane (CAS) n-Undecane		
Tridecane		
Dodecane		
Phenol, 3-ethyl		
3-Tetradecene, Z		10-20 menit
Tetradecane		
Hexadecane		
Cyclododecane		
3-Tetradecene		
Heptadecane		
8-heptadecyne, 1-bromo	20-30 menit	
Cyclododecene, Z-CAS (Z)-cyclododecene		
3-tetradecene		
3-Hexadecene, (Z)-(CAS) cis.3-hexadecene		
Tetradecene		
1-naphtalenol, 5,6,7,8-tetrahydro-(CAS)		
Benzene, 1-(1,1-dimethylethoxy)-4-methyl		
Dodecanoic acid, methyl ester		
Phenol, 3-butyl		
Benzene, (1-methylnonadecyl)		
Tetradecanoic acid		
10,13-octadecadienoic acid, methyl ester CAS		
11-octadecenoic acid, methyl ester (Z)		
Octadecanoic acid, methyl ester		