PROSIDING

Seminar Hasil Pelaksanaan Penelitian Bagi Peneliti dan Perekayasa Sesuai Prioritas Nasional Tahun 2009

15-16 Desember 2009

Kelompok B

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL,
KEMENTERIAN NEGARA RISET DAN TEKNOLOGI,
dan
KEMENTERIAN KOORDINATOR BIDANG KESEJAHTERAAN RAKYAT
bekerjasama dengan
UNIVERSITAS INDONESIA

JAKARTA 2009

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i

SUSUNAN KEPANITIAAN v

UPAYA PENINGKATAN PRODUKSI KULTUR ROTIFER DENSITAS TINGGI MELALUI APLIKASI SUSPENSI ALGA SISTEM RESIRKULASI SEDERHANA 1
Endah Soetanti,dan Abdul Gafur

PROSES HYDROCRACKING MINYAK BIJI JARAK PAGAR DENGAN KATALIS ZEOLIT AKTIF MENJADI BIOPETROLEUM 9
Nasruddin, Gatot Priyanto, Basuni Hamzah, Syamsul Bahri, dan Hazairin Fauzi

PRODUKSI BIOGAS SEBAGAI HASIL PENGOLAHAN LIMBAH LUMPUR INDUSTRI KERTAS DENGAN PROSES DIGESTASI ANAEROBIK DUA TAHAP 25
Rina S. Soetopo, Tami Idiyanti, Sri Purwati, Henggar Hardiani, Krisna Adytia W., dan Mukharomah N.A

PURIFIKASI GISEROL KASAR MENJADI GLISEROL KUALITAS TINGGI DAN PURIFIKASI (PENCUCIAN) BIODIESEL DARI I BIJI HITAULLO (*Calophyllum inophyllum L*) DENGAN CARA KERING (TANPA AIR) 45
Rizal Alamsyah, Eko Susanto, Enny Hawani Lubis, AdeHerman Suherman, dan Susi Heryani

LEGAL ASPEK SAMPAH ANTARIKSA *(SPACE DEBRIS)* DAN IMPLIKASINYA TERHADAP INDONESIA SEBAGAI NEGARA *"VICTIM REA"*..... 59
Husni Nasution, Akhmad Subekhi, James Sianturi, Totok Sujatmiko, dan Martin J. Chania

RANCANG BANGUN DAN PEMBUATAN SISTEM *NACELLE* TURBIN ANGIN 50 KW LPN 50000 75
Maryono Ismail dan Arif Hardoko

OTOMATISASI PELLETIZER UNTUK PENGOLAHAN MINERAL 77
Abdul Hapid, Muhamad Taufiek, Adelin Setiabudi, dan Nurhadi Wibowo

PENERAPAN TEKNOLOGI PROSES PENGERINGAN UNTUK PENINGKATAN MUTU DAN KAPASITAS PENGOLAHAN PADA PILOT PLANT GELATIN 87
Irshan Zainudin

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR (STATCOM) UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TENAGA LISTRIK DARI SUMBER ENERGI TERBARUKAN 101
Riza, Eka Rachman Priandana, Dwidharma Priyasta, Fadjar Rahino Triputra, dan Didik Rostyono

PENINGKATAN EFISIENSI PRODUKSI RARE EARTH BEBAS ZAT RADIOAKTIF DARI HASIL SAMPING PENAMBANGAN TIMAH 113
Hafni Lissa Nuri, Sorot Sudiro, dan Bambang Soetopo

PEMBUATAN STANDAR MATERIAL THORIUM OKSIDA DARI LIMBAH TERAK INDUSTRI TAMBANG TIMAH 127
Purwadi Kasino Putro, Boybul, dan Rosika. K

STUDI PENGEMBANGAN BIOGAS MENDUKUNG DESA MANDIRI ENERGI DI KAWASAN KOTA TERPADU MANDIRI (KTM) 141
Enny Ariani, Widarjanto, Murdiatun

0 7 0 9 0 1 0 5 0 1 0 1 0 0 0 6 2
Prodi | Publikasi | Penulis | Tahun | Sumber | Dana | Nomor Urut

PROSES HYDROCRACKING MINYAK BIJI JARAK PAGAR DENGAN KATALIS ZEOLIT AKTIF MENJADI BIOPETROLEUM

Nasruddin, Gatot Priyanto, Basuni Hamzah, Syamsul Bahri, dan Hazairin Fauzi

Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan biopetroleum dari hasil perengkahan minyak jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi. Penelitian berlangsung di Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang. Pengujian terhadap hasil *hydrocracking* minyak jarak pagar dengan menggunakan GC-MS di Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Percobaan dilakukan dengan cara minyak jarak dilakukan proses *hydrocracking* dengan katalis zeolit teraktivasi. Hasil *hydrocracking* menunjukkan, untuk perlakuan *hydrocracking* 500 ml minyak biji jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi 125 gram suhu *hydrocracking* 350 ^{0}C, selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C dapat menghasilkan 31,42% yield biopetroleum dengan persenyawaan kimia rantai atom karbon C_5-C_{10} sebanyak 25 persenyawaan kimia. Berat jenis biopetroleum untuk semua perlakuan antara 0,851-0,859. Bilangan asam untuk semua perlakuan 2,5864-2,65854 masih diatas standar yang ditetapkan.

Kata kunci: minyak jarak, zeolit, aktivasi, hydrocracking, biopetroleum

PENDAHULUAN

Cadangan minyak bumi Indonesia sudah mengalami penurunan yang cukup signifikan. Direktur Jenderal Minyak dan gas melaporkan, cadangan minyak bumi per satu Januari tahun dua ribu enam diperkirakan tinggal 8,71 milyar barel (Departemen Bahan bakar minyak dan Sumber Daya Mineral, 2008). Berkurangnya ketersediaan minyak bumi berimplikasi positif terhadap penggunaan sumber energi baru dan terbarukan yang bersifat *renewable* sebagai pengganti energi dari fosil. Bahan bakar minyak yang berasal dari minyak nabati merupakan salah satu alternatif yang tidak dapat dihindari.

Rudolp Diesel tahun 1900 telah melakukan percobaan membuat bahan bakar motor diesel dari minyak kacang tanah untuk menggerakkan motor diesel. Minyak diesel yang dihasilkan mengalami beberapa masalah antara lain, viskositasnya cukup tinggi 14 kali lebih besar dari bahan bakar minyak diesel (Pupung 1985; Philip, dan Ricky 2003; dan Kirk *et al.,* 1980). Penelitian lanjutan dalam upaya pengembangan energi alternatif yang berasal dari lemak hewan maupun dari minyak tumbuh-tumbuhan terus berkembang. Widodo *et al.*, (2007) melakukan penelitian studi penggunaan mikrowave pada proses transesterifikasi secara kontinyu untuk menghasilkan bodiesel. Hasil penelitiannya mempunyai kelemahan, dimana viskositas minyak sebagai parameter penting mencapai 1,5-1,76 lebih kental jika dibandingkan dengan minyak diesel dari fosil.

Minyak nabati memiliki viskositas yang sangat tinggi 10-20 kali minyak solar, tingginya viskositas minyak nabati dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan menimbulkan kerak pada ruang pembakaran (Demirbas, 2007). Kelemahan proses esterifikasi dan transesterifikasi mempunyai tingkat keasaman tinggi (Sudradjat *et al.*, 2006). Tingginya nilai asam pada minyak biodiesel akan mempercepat tingkat korosi pada mesin terutama pada piston dan pipa distribusi bahan bakar ke ruang pembakaran. Kurniawan dan Rizki (2006), telah melakukan penelitian terhadap pembuatan biodiesel dari biji alpukat dengan proses transesterifikasi, biodiesel yang didapat mempunyai viskositas cukup tinggi dari bahan bakar minyak yang berasal dari fosil. Supratman (2008), dari hasil penelitiannya melaporkan, emisi gas buang dari kedua campuran minyak diesel dan minyak biodiesel dari minyak sawit cukup tinggi yaitu 30,26%.

Melalui penelitian yang lebih intensif, modifikasi pengolahan minyak jarak pagar dengan ses *hydrocracking* menggunakan katalis zeolit teraktivasi menjadi biopetroleum, diharapkan at mengurangi kelangkaan bahan bakar minyak dari minyak bumi.

Permasalahan yang timbul adalah bagaimana metoda yang terbaik yang digunakan untuk ngembangkan minyak biji jarak pagar menjadi biopetroleum dengan proses *hydrocracking* nggunakan katalisator zeolit teraktivasi dapat menghasilkan biopetroleum yang memenuhi dar mutu bahan bakar. Zeolit alam setelah dilakukan aktivasi mempunyai kinerja yang lebih untuk proses *hydrocracking* (Trisunaryanti *et al.*, 1996).

Pemilihan minyak jarak pagar untuk penelitian ini dengan alasan, minyak jarak pagar atlah prospektif, disamping minyak jarak pagar bukan termasuk minyak untuk kebutuhan gan. Minyak jarak pagar termasuk golongan minyak hayati dengan kandungan utamanya lah senyawa trigliserida yang mempunyai rasio H/C mirip dengan hidrokarbon minyak bumi tiadi dan Bayu Arifianto, 2007).

Minyak jarak pagar (*Crude Jatropha Oil*) merupakan trigliserida yang tersusun dari agai macam asam lemak yang terdiri dari resinoleat (87%), oleat (7%), linoleat (3%), nitat (2%), stearat (1%) dan sejumlah kecil dihidroksistearat (Marlina *et al.*, 2004). Asam noleat atau asam risinolein atau asam cis-12-hidroksioktadeka-9-enoat merupakan asam ak utama yang terkandung dalam minyak jarak pagar. Berdasarkan penelitian Gubitz *et al.*, 8), komposisi kimia asam lemak minyak jarak terdiri dari : asam miristat 0,0%–0,1%; asam nitat 14,1%–15,3%; asam stearat 3,7%–9,8%; asam arakidat 0,0%–0.3%; asam behenat %–0,2%; asam palmitoleat 0,0%–1,3%; asam oleat 34,3%–45,8%; asam linoleat 29,0%– 2% dan asam linolenat 0,0%–0,3%. Asam lemak dominan yang terkandung dalam minyak k adalah asam oleat dan linoleat yang merupakan asam lemak tidak jenuh. Asam oleat miliki satu ikatan rangkap, sedangkan asam linoleat memiliki dua ikatan rangkap. Tingginya dungan asam lemak tidak jenuh dalam minyak jarak menyebabkan minyak jarak bersifat cair suhu ruang. Asam oleat dan linoleat memiliki titik cair yang rendah 14 ^{0}C untuk oleat dan C untuk asam linoleat (Ketaren, 1986).

Pemanfaatan minyak jarak pagar melalui proses *hydrocracking* dengan katalis zeolit tivasi menjadi bahan bakar biopetroleum diharapkan dapat bekerja dengan baik dan mal seperti bahan bakar minyak bensin yang berasal dari fosil. Penelitian ini berusaha untuk jawab dan memberikan rumusan untuk memecahkan permasalahan tersebut dan diharapkan dapatkan hasil yang lebih baik dan optimal.

Proses *hydrocracking* secara thermal katalitik yaitu *hydrocracking* dengan perlakuan suhu i, dan secara kimia dengan penambahan katalis zeolit teraktivasi dan direfluks bertujuan k memotong persenyawaan kimia rantai karbon panjang ($\geq C_{18}$) minyak jarak menjadi enyawaan kimia dengan rantai karbon lebih pendek ($\leq C_{18}$). Proses *hydrocracking* bertujuan k memotong molekul besar menjadi molekul-molekul kecil (Sukarmin, 2004).

Katalis merupakan zat atau senyawa yang dapat mempercepat terjadinya suatu reaksi turut bereaksi (Moore dan Pearson 1981). Katalis yang digunakan pada penelitian ini ah zeolit teraktivasi. Zeolit saat ini banyak digunakan sebagai komponen aktif dalam katalis *ocracking* (Hayati 2006). Zeolit telah diketahui berperan penting sebagai katalis asam pada stri pengolahan minyak bumi dan petrokimia, termasuk untuk proses *hydrocracking* dan erisasi hidrokarbon (Setyawan *et al.*, 2003). Mengingat zeolit alam ketersediaannya sangat ak dan harganya cukup murah di Indonesia, maka penggunaan zeolit sebagai katalis ngkah dapat menurunkan biaya produksi (Trisunaryanti *et al.*, 1996).

Zeolit dengan komposisi utama kristal aluminosilikat yang tersuhun dari kerangka hedral dengan *orner-sharing* antara [SiO_4] dan [$A1O_4$]. Zeolit saat ini banyak digunakan gai komponen aktif dalam katalis perengkah (Hayanti 2006). Hamdan (1992) gemukakan, zeolit adalah suatu mineral berupa kristal silika alumina yang terdiri dari tiga onen, kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumino-silikat dan air. Zeolit berstruktur dimensi dan mempunyai pori-pori atau ruang-ruang yang dapat diisi oleh kation lain atau kul air tanpa merusak struktur zeolit (Sutarti dan Minta 1994). Zeolit yang digunakan untuk *ocracking* minyak jarak pagar menjadi biopetroleum berukuran 100 mesh. Zeolit berukuran

kecil memiliki luas permukaan per satuan bobot bahan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan zeolit yang berukuran besar (Suharyanto *et al.*, 2006). Butiran-butiran zeolit berukuran lebih kecil mempunyai keunggulan dengan kemampuan dapat menyerap dan melakukan proses *hydrocracking* molekul-molekul minyak jarak pagar menjadi gugus-gugus yang lebih sederhana dengan rantai karbon yang lebih pendek dibandingkan dengan zeolit yang berukuran besar.

Menurut Nasruddin *et al.*, (2009) keunggulan proses *cracking* dengan katalis zeolit teraktivasi adalah bahan bakar minyak hayati yang dihasilkan mempunyai viskositas rendah, stabil pada perubahan suhu, produk yang dihasilkan tidak hanya satu jenis bahan bakar melainkan terdiri dari empat jenis bahan bakar yaitu: gas hayati ($\leq C_4$), bensin hayati (C_5-C_{10}), kerosin hayati (C_{11}-C_{14}), dan solar hayati (C_{15}-C_{17}). Katalis zeolit yang digunakan pada proses *hydrocracking* minyak jarak menjadi bahan bakar biopetroleum ketersediaannya cukup banyak di Indonesia dan harganya sangat murah jika dibandingkan dengan metanol, asam klorida dan sodium hidroksida.

Pengujian terhadap bahan bakar biopetroleum dari proses *hydrocracking* minyak jarak dengan katalis zeolit teraktivasi yang dilanjutkan dengan proses distilasi terhadap hasilnya dilakukan dengan GC-MS. Pemilihan GC-MS dengan alasan, gas kromatografi telah banyak dilakukan dalam pengujian antara lain : gas-gas hidrokarbon ringan hingga lilin, aspal, dan minyak kasar (Sastrohamidjojo 2001). Spectrometri massa merupakan suatu teknik analisa yang mendasarkan pemisahan berkas ion-ion yang sesuai dengan perbandingan massa dengan muatan dan pengukuran intensitas dari berkas ion-ion tersebut (Sastrohamidjojo 2001).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan biopetroleum melalui proses *hydrocracking* minyak jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi. Diharapkan dari hasil penelitian ini berupa biopetroleum yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk menggerakkan mesin berbahan bakar bensin.

METODOLOGI

Penelitian biopetroleum melalui proses *hydrocracking* minyak jarak pagar dengan katalis zeolit aktif dilakukan pada skala laboratorium. Proses pembuatan biopetroleum dilakukan di Laboratorium proses Balai Reset dan Standardisasi Industri Palembang. Waktu penelitian dimulai pada awal minggu pertama bulan Mei 2009 sampai dengan akhir minggu ke empat bulan Desember 2009 selama 8 (delapan) bulan. Pengambilan biji jarak pagar sebagai bahan baku biopetroleum dari perkebunan Balai Agroteknologi Terpadu milik Kementerian Negara Riset dan Teknologi Jalan Raya Palembang - Prabumulih Km 42.

Hasil *hydrocracking* terhadap minyak biji jarak pagar menjadi biopetroleum dilakukan pengujian dengan instrumen analisis GC-MS di Laboratorium Kimia Organik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Tujuan pengujian dengan GC-MS untuk mengetahui terjadinya proses *hydrocracking* oleh katalis zeolit teraktivasi menjadi persenyawaan kimia dengan rantai karbon rendah seperti fraksi bensin (C_5-C_{10}).

Biopetroleum hasil dari proses *hydrocracking* minynyak jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi dilakukan pengujian menggunakan instrumen analisis gas kromatografi spectrometri massa GCMS-QP2010S merek Shimadzu. Hasil pengujian bertujuan untuk mengetahui terjadinya persenyawaan kimia baru yang terbentuk dari proses *hydrocracking*.

Kondisi operasi GCMS-QP2010S Shimadzu menggunakan kolom Rtx-5MS panjang 30 meter, ID 0,25 m, gas pembawa Helium dan pengion EL. Suhu column oven 60 °C, suhu injection 320 °C, injection mode split, flow control mode pressure, pressure 10,9 kPa, total flow 60,0 mL/minit, column flow 0,50 mL/min, linear velocity 25,8 cm/sec, purge flow 3,0 mL/min. split ratio 113, high pressure injection off, carrier gas saver off dan splitter hold off.

Program suhue oven

Rate	Suhu °C	Hold time (min)
-	60,0	5,00
10,0	300,0	21,00

Rancangan (Design) Riset

Biopetroleum dilakukan melaui proses *hydrocracking* minyak jarak pagar menggunakan reaktor *batch* yang dlanjutkan dengan proses distilasi dari hasil *hydrocracking*. Perlakuan *hydrocracking* miyak biji jarak pagar dengan katalis zeolit aktif pada suhu aktivasi zeolit : 450 ^{0}C dan 550 ^{0}C. Gas nitrogen dialirkan dari reaktor pengumpan sebagai gas pembawa uap asap minyak jarak pagar dengan variasi kecepatan : 450 mL/menit dan 550 mL/menit. Volume minyak jarak pagar ditetapkan yaitu 500 ml untuk setiap percobaan.

Reaktor *hydrocracking* (tempat katalis dan minyak jarak pagar) dipanaskan dengan variasi suhu : 250 ^{0}C, 300 ^{0}C, dan 350 ^{0}C. Katalis zeolit aktif yang digunakan pada proses *hydrocracking* untuk masing-masing perlakuan beratnya mulai dari 50 g, 100 g, dan 150 g. Hasil dari *hydrocracking* dilanjutkan dengan distilasi berdasarkan fraksi penguapan, untuk produk biopetroleum pada suhu destilasi 20 – 200^{0}C untuk bahan bakar Biopetroleum (C_5 – C_{10}).

PROSEDUR PERCOBAAN

1. *Aktivasi Katalis Zeolit*

1.1 Preparasi Zeolit Alam (Setyawan, 2002)

Zeolit dalam bentuk butiran dengan ukuran maksimum 100 mesh direndam selama 5 jam dalam akuades sambil diaduk dengan menggunakan magnetik stirrer pada suhu kamar. Zeolit yang telah selesai direndam selanjutnya disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C sampai kadar airnya 1%. Zeolit kemudian dikalsinasi dengan aliran gas N_2 pada suhu 500 ^{0}C selama 240 menit, selanjutnya diteruskan dengan proses oksidasi dengan aliran gas O_2 pada suhu 500 ^{0}C selama 90 menit sehingga diperoleh katalis NZ.

1.2 Preparasi Katalis Zeolit Alam Asam Hidrotermal (H_5-NZA) (Setyawan, 2002)

Katalis NZ direndam dalam larutan HF 1% dengan perbandingan 1 : 2 dalam wadah plastik selama 90 menit pada suhu kamar. Campuran ini disaring dan dibilas berulang dengan akuades hingga nilai pHnya mendekati 6. Endapan zeolit direfluks dengan larutan HCl 4 M pada suhu 100 ^{0}C selama 120 menit sambil diaduk. Hasil refluks disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH = 6, kemudian dikeringkan dan dihaluskan menjadi 100 mesh sehingga diperoleh katalis NZA. Katalis NZA dikeringkan dalam oven pada suhu 110 ^{0}C sampai kadar airnya maksimum 1%. Katalis NZA direndam dalam NH_4Cl 1 M selama 24 jam. Setelah selesai, zeolit disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH = 6. Endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 115 °C sampai kadar airnya maksimum 1%. Kemudian didinginkan dan dihaluskan. Katalis NZA diletakan dalam cawan porselin dan dikalsinasi selama 5 jam pada suhu 550 °C dalam *Muffle Furnace*. Katalis NZA kemudian didinginkan dan dilakukan hidrothermal selama 300 menit pada suhu 550 ^{0}C. Hasilnya didinginkan dan dikalsinasi ulang dengan aliran N_2 selama 120 menit pada suhu 550 ^{0}C, kemudian dioksidasi dengan O_2 selama 60 menit pada suhu 450 °C dan didinginkan sehingga diperoleh katalis H_5-NZA.

2. *Prosedur Hydrocracking Minyak Jarak*

Minyak jarak dikondisikan pada volume 500 ml untuk masing-masing percobaan. Katalis zeolit aktif yang digunakan dalam proses hidrocrakcing untuk masing-masing perlakuan beratnya divariasikan sebanyak 75, 100, 125 dan 150% dari volume minyak jarak dan dimasukan ke dalam reaktor perengkah. Suhu *hydrocracking* divariasikan 250 °C, 300 °C, dan 350 °C. Waktu *hydrocraking* 2 dan 3 jam. Gas hidrogen yang dialirkan untuk proses *hydrocracking* dengan kecepatan alir 100 mL/menit dan 125 mL/menit.

3. *Prosedur Distilasi*

Hasil *hydrocracking* dari masing-masing perlakuan seperti telah diuraikan diatas didistilasi dalam peralatan unit distilasi yang air pendinginnya dialirkan melalui condenser yang dikondisikan pada suhu 10,0 °C. Air pendingin distilasi pada suhu 10,0 °C dengan tujuan untuk mengkondensasikan persenyawaan kimia yang mudah menguap untuk dapat ditapung sebagai

produk. Proses distilasi dilakukan berdasarkan fraksi penguapan, untuk bahan bakar biopetroleum ($C_5 - C_{10}$) suhu destilasinya adalah 20 – 200 ^{0}C.

4. *Parameter uji*

Parameter uji yang diamati adalah proses *hydrocracking* minyak jarak pagar menjadi fraksi bahan bakar biopetroleum.

5. *Analisis Data*

Data hasil analisis selanjutnya diolah secara statistik menggunakan analisis keragaman dilengkapi tabulasi beserta gambar. Model Percobaan ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial. Perlakuan yang dicoba terdiri atas enam faktor yaitu :

1. Volume Minyak Jarak (V_J) terdiri dari 1 taraf
2. Berat katalis zeolit aktif (m_z) terdiri dari 4 taraf
3. Suhu *hydrocracking* (T_h) terdiri dari 3 taraf
4. Kecepatan alir gas hidrogen untuk *hydrocracking* (Q_g) terdiri dari 2 taraf
5. Waktu *hydrocracking* (t_h) terdiri dari 2 taraf

Masing-masing taraf faktor di atas disuhun pada Tabel 1. Jumlah kombinasi perlakuan sebanyak 48 unit percobaan yang masing-masing diulang 3 kali, sehingga banyaknya unit percobaan berjumlah 144. Jika hasil anova menunjukkan significan dilanjutkan dengan uji Duncan New Multiple Range Test (DNMRT) pada α 5%. Model Linier Rancangan dituliskan pada persamaan 1. (Steel dan Torrie, 1991).

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\delta)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + (\alpha\beta\delta)_{ijl} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma\delta)_{ijkl} + \varepsilon_{ijkl} \quad (1)$$

Keterangan :

1. μ : rata - rata respon
2. α_i : pengaruh faktor m_z taraf ke i
3. β_j : pengaruh faktor T_h taraf ke j
4. γ_k : pengaruh faktor Q_g taraf ke k
5. δ_l : pengaruh faktor t_h taraf ke l
6. ε_{ijkl} : pengaruh galat percobaan.

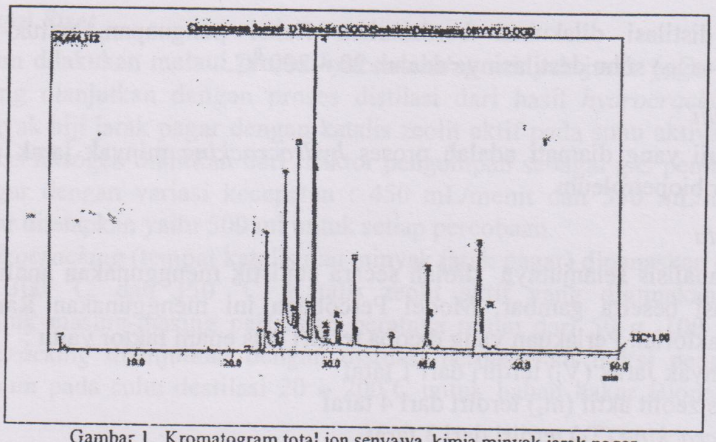
Tabel 1. Rancangan pembuatan biopetroleum skala laboratorium

Ulangan	Berat katalis zeolit aktif (g)				Suhu *hydrocracking* (^{0}C)			Laju alir gas hidrogen (mL/menit)		Waktu *hydrocracking* (jam)	
	m_{z1}	m_{z2}	m_{z3}	m_{z4}	T_{h1}	T_{h2}	T_{h3}	Q_{g1}	Q_{g2}	t_{h1}	t_{h2}
1	75	100	125	150	250	300	350	100	125	2	3
2	75	100	125	150	250	300	350	100	125	2	3
3	75	100	125	150	250	300	350	100	125	2	3

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Hasil analisis minyak jarak pagar sebelum perlakuan*

Hasil analisis persenyawaan kimia dan berat molekul minyak jarak pagar menggunakan GC-MS disajikan dalam bentuk kromatogram seperti terlihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Kromatogram total ion senyawa kimia minyak jarak pagar

Data hasil analisis minyak jarak pagar dengan GC-MS menunjukkan terdapat 27 kromatogram yang dapat terdeteksi, dengan keseluruhan waktu retensi selama 45,982 menit. Kromatogram yang terdeteksi mempunyai luas area yang berbeda dan waktu retensi yang berbeda sesuai dengan sifat fisika-kimia dari persenyawaan kimia dan berat molekul dari masing-masing persenyawaan kimia yang terkandung dalam minyak jarak pagar. Tabel 2 berikut ini merupakan hasil analisis persenyawaan kimia minyak jarak pagar dengan menggunakan GC-MS.

Kromatogram minyak jarak pagar dari hasil deteksi dengan GC-MS baru mulai tampil setelah pembacaan pada waktu retensi pada menit ke 21,516 berjumlah 2 kromatogram. Tampilan pembacaan kromatogram dan luas area dari masing-masing kromatogram berhubungan langsung dengan formula dari persenyawaan kimia, jumlah ikatan rantai atom karbon, dan berat molekul dari masing-masing persenyawaan kimia yang terkandung di dalamnya.

Hasil analisis minyak jarak pagar dari data yang terbaca oleh GC-MS seperti terlihat pada Tabel 2 di atas menunjukkan, terdapat enam area kromatogram terluas dengan waktu retensi dan ketinggian peak yang berbeda. Perbedaan ini menunjukkan adanya perbedaan dari persenyawaan kimia dan perbedaan berat molekul yang terkandung dalam minyak jarak pagar. Persenyawaan kimia dengan berat molekul lebih rendah dan rantai atom karbon pendek dari hasil pengujian tampil terlebih dahulu jika dibanding dengan persenyawaan kimia dengan berat molekul yang lebih tinggi dan rantai atom karbon panjang (Zuas 2004).

Tabel 2. Hasil analisis persenyawaan kimia minyak jarak pagar

Peak	R.Time (menit)	Area (%)	Formula	Persenyawaan Kimia	BM
1	23,358	6,47	$C_{16}H_{32}O_2$	Hexadecanoic acid	256
2	25,208	14,43	$C_{18}H_{32}O_2$	9,12-Octadecadienoic acid	280
3	26,475	7,12	$C_{18}H_{34}O_4$	Octadecanedioic acid	314
4	28,108	23,36	$C_{18}H_{31}ClO$	9,12-Octadecadienoylchloride,	298
5	32,392	6,10	$C_{18}H_{36}O$	9-Octadecen-1-ol	268
6	45,608	19,66	$C_{30}H_{52}O_2$	TRYCYCLO[20.8.0.0E7,16] TRIACONTAN	444

Kromatogram minyak jarak pagar sebelum waktu retensi menit ke 21,516 tampil hanya 1 kromatogram dengan luas area 0,36% yaitu pada waktu retensi menit ke 2,268. Kromatogram minyak jarak pagar setelah waktu retensi menit ke 21,516 tampil sebanyak 26 kromatogram. Hal ini menunjukkan, komposisi utama dari persenyawaan kimia dan berat molekul minyak jarak pagar bahan baku terdiri dari persenyawaan kimia dengan rantai atom karbon panjang.

Hasil dari beberapa penelitian terdahulu menyatakan bahwa, minyak jarak banyak mengandung asam risinoleat dengan struktur molekul asam cis-12-hidroksioktadeka-9-enoat dengan satu gugus fungsi hidroksi (Annual Book of ASTM Standards, D961).

Persenyawaan kimia minyak jarak pagar dan berat molekulnya dari hasil analisis yang telah dilakukan, jika dibandingkan dengan hasil analisis dari beberapa penelitian terdahulu menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan ini tentunya dapat menggambarkan bahwa, setiap persenyawaan kimia yang terkandung dalam minyak jarak pagar secara umum mempunyai karakteristik yang berbeda sesuai dengan kondisi lingkungan, umur tanaman dan dari mana minyak jarak pagar itu berasal.

Hasil dari pembacaan dengan GC-MS menunjukkan, persenyawaan kimia minyak jarak pagar berdasarkan luas area kromatogram dapat digolongkan menjadi 6 golongan persenyawaan kimia yang dominan. Golongan pertama dengan luas area 23,36% dengan waktu retensi pada menit ke 28,108 terdiri dari tiga kelompok. *Kelompok pertama* dengan berat molekul 298 persenyawaan kimianya $C_{18}H_{31}ClO$ yaitu: 9,12-Octadecadienoyl chloride. *Kelompok kedua* berat molekul 210 dengan persenyawaan kimianya adalah: $C_{14}H_{26}O$ yaitu: 13-Tetradecenal. *Kelompok ketiga* berat molekul 266 persenyawaan kimianya $C_{18}H_{34}O$ nama persenyawaan kimianya adalah: 9-Octadecanal.

Golongan ke dua luas area kromatogram 19,66% waktu retensi menit ke 45,608 terbagi dalam tiga kelompok. *Kelompok pertama* berat molekul 444 persenyawaan kimianya adalah: $C_{30}H_{52}O_2$ (TRYCYCLO[20.8.0E7,16]TRIACONTAN). *Kelompok kedua* berat molekul 252 persenyawaan kimianya adalah: $C_{17}H_{32}O$ (R)-(-)-14-Methyl-8-Hexadecyn-1-ol. *Kelompok ketiga* berat molekul 310 persenyawaan kimianya adalah: $C_{20}H_{38}O_2$ (Ethanol, 2-(9,12-octadecadiennyloxy).

Golongan ke tiga dengan luas area 14,43% waktu retensi menit ke 25,208 terbagi empat kelompok. *Kelompok pertama* berat molekul 280 persenyawaan kimianya adalah: $C_{18}H_{32}O_2$ (9,12-Octadecadienoic acid). *Kelompok ke dua* berat molekul 266 persenyawaan kimianya: $C_{18}H_{34}O$ (9-Octadecenal).

Kelompok ke tiga berat molekul 268 persenyawaan kimianya: $C_{18}H_{36}O$ persenyawaan kimianya: Oley Alcohol. Kelompok *ke empat* berat molekul 266 persenyawaan kimianya $C_{15}H_{30}O$ (6-Pentadecen-1-ol).

Golongan ke empat luas area 7,12 waktu retensi 26,475 terbagi lima kelompok. *Kelompok pertama* berat molekul 314 persenyawaan kimianya $C_{18}H_{34}O_4$ (Octadecanedioic acid). *Kelompok ke dua* berat molekul 314 persenyawaan kimianya $C_{16}H_{32}O_2$ nama persenyawaan kimianya Octadecanedioic acid. *Kelompok ke tiga* berat molekul 256 persenyawaan kimianya adalah $C_{16}H_{32}O_2$ (Hexadecanoic acid). *Kelompok ke empat* berat molekul 200 persenyawaan kimianya $C_{11}H_{20}O_3$ (Decanoic Acid). *Kelompok ke lima* berat molekul 218 persenyawan kimianya $C_{12}H_{23}ClO$ (Dodecanoyl chloride).

Golongan ke lima dengan luas area 6,47 waktu retensi 32,392 terbagi dalam lima kelompok. *Kelompok pertama* berat molekul 268 persenyawaan kimianya $C_{18}H_{36}O$ (9-Octadecen-1-ol). *Kelompok ke dua* berat molekul 298 persenyawaan kimianya $C_{18}H_{31}ClO$ (9-12-Octadecadienoyl chloride). *Kelompok k*e tiga berat molekul 280 persenyawaan kimianya adalah: $C_{18}H_{32}O_2$ (9,12-Octadecadienoic acid). *Kelompok ke* empat berat molekul 278 persenyawaan kimianya adalah: $C_{20}H_{38}$ (9-Eicosyne). *Kelompok ke lima* berat molekul 250 persenyawaan kimianya adalah: $C_{18}H_{34}$ (9-Octadecyne).

Golongan ke enem luas area 6,47 waktu retensi 23,358 terbagi dalam dua kelompok. *Kelompok pertama* dengan berat molekul 256 persenyawaan kimianya $C_{16}H_{32}O_2$ (Hexadecanoic acid). *Kelompok ke dua* berat molekul 284 persenyawaan kimianya $C_{18}H_{36}O_2$ (Octadecanoic acid).

Minyak jarak pagar seperti telah duraikan diatas dan dari Gambar 1, dan Tabel 2 mempunyai persenyawaan kimia, berat molekul, waktu retensi, luas area kromatogram dan tampilan kromatogram yang berbeda. Menurut Marlina *et al.*, (2004) minyak jarak pagar memiliki gugus –OH, ikatan rangkap dan serapan –OH lebih lemah dibandingkan dengan ikatan rangkapnya. Serapan –OH yang lemah dapat berpengaruh langsung terhadap tampilan kromatogram dan luas area kromatogram dari pembacaan GC-MS.

Hasil analisis minyak jarak pagar menunjukan puncak tertinggi terjadi pada waktu retensi menit ke 28,107 dengan luas area 23,36% persenyawaan kimianya adalah 9,12,-

Octadecadiennoyl chloride. Puncak tertinggi kedua terdeteksi pada waktu retensi menit ke 45,608 dengan luas area kromatogram 14,43% dengan persenyawaan kimianya adalah: TRICYCLO[20.8.OE7,16]TRIACONTAN.

Menurut Marlina *et al.*, (2004) minyak jarak pagar memperlihatkan puncak tertinggi pada waktu retensi 19,550 dan 21,258 detik yang merupakan asam-asam lemak bebas, seperti asam risinoleat, asam palmitat, asam linoleat dan asam olet. Hal ini menunjukkan, persenyawaan kimia yang terkandung dalam minyak jarak pagar dapat terpengaruh oleh faktor lingkungan.

B. *Hydrocracking minyak jarak dengan kataolitlis zeolit teraktivasi*

1. *Hydrocracking* minyak jarak pagar dengan 75 g ZA, suhu *hydrocracking* 250 ^{0}C, selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C

Hydrocracking minyak jarak dengan 75 g katalis zeolit yang telah diaktivasi pada suhu 250 °C selama 2 jam yang dilanjutkan dengan distilasi pada suhu 200 °C menghasilkan persenyawaan kimia dari fraksi biopetroleum (C_5-C_{10}) sebanyak 18 dengan persen yield 22,55%. Persenyawaan kimia lainnya yang bersama-sama dengan fraksi bipetrolium adalah fraksi biometana, biokerosin, dan biodiesel. Fraksi biometana, biokerosin, dan biodiesel pada penelitian ini diasumsikan sebagai produk ikutan. Hasil karakterisasi dari proses *hydrocracking* terhadap minyak jarak pagar dengan katalis zeolit yang telah diaktivasi, pada suhu 250 °C selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 °C disajikan pada Tabel 3 berikut ini.

Persenyawaan kimia yang terbentuk dari hasil proses *hydrocracking* mencerminkan telah terjadinya persenyawaan kimia baru yang menghasilkan fraksi biopetroleum (C_5–C_{10}). Hasil dari proses *hydrocracking* tidak terlepas dari peranan aktif katalis zeolit teraktivasi. *Hydrocracking* minyak jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi mempunyai keunggulan jika dibandingkan dengan katalis zeolit yang tidak diaktivasi. Menurut Nasruddin *et al.*, (2009) *cracking* minyak jarak pagar dengan katalis zeolit tanpa aktivasi persenyawaan kimia rantai atom karbon fraksi biopetroleum (C_5-C_{10}) lebih rendah yang hanya menghasilkan 12,67% jika dibandingkan dengan katalis zeolit teraktivasi.

Tabel 3. Hasil *hydrocracking* minyak biji jarak pagar dengan 75 g ZA, suhu *hydrocracking* 250 ^{0}C, selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C laju alir hidrogen 100 mL/menit

No	Fraksi	Formula	Nama Formula	Yield (%)
1	C_5-C_{10}	C_6H_{10}	Cyclopentene, 3-methyl	1.82
	(Biopetroleum)	C_7H_{12}	4-Methylcyclohexene	0,29
		C_8H_{10}	Benzene, 1,2-dimethyl	0,04
		C_8H_{16}	1-Octene	3,60
		C_8H_{14}	4-Octyne	2,57
		C_9H_{12}	n-Propylbenzene	1,05
		C_9H_{16}	1,3-Nonadiene	2,2
		C_9H_{14}	4-Nonen-2-yne	0,14
		C_9H_{18}	1-Nonene	0,84
		C_9H_{20}	2,4-Dimethylheptane	0,23
		C_9H_{16}	7-METHYL-BICYCLO[4.2.0]OCTANE	1,62
		C_9H_{20}	Nonane	1,21
		$C_{10}H_{12}$	Benzene, 2-ethenyl-1,3-dimethyl	0,17
		$C_{10}H_{14}$	Butylbenzene	2,71
		$C_{10}H_{16}$	Trans-Ocimene	0,93
		$C_{10}H_{18}$	4,6-Decadiene	0,90
		$C_{10}H_{20}$	1-Decene	1,74
		$C_{10}H_{22}$	Decane	0,49
			Total Yield (%)	22,55

Katalis zeolit yang telah diaktivasi mempunyai keunggulan, karena mempunyai struktur kristal berpori dan mengandung gugus aktif pada permukaan pori kristal. Menurut Lowell dan Shield (1984) pori-pori mempunyai peranan penting untuk meningkatkan luas permukaan padatan, dengan demikian bila ingin memperoleh luas permukaan padatan yang besar, maka harus diperhatikan luas dan volume pori-pori padatan tersebut. Katalis *hydrocracking* modern dikembangkan dengan menggunakan material padatan berpori (Li, 1999). Diantara bahan-bahan berpori berpotensi sebagai katalis adalah zeolit.

Zeolit aktif pada proses *hydrocracking* minyak biji jarak pagar menjadi biopetroleum dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari suatu campuran tertentu karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam (berkisar antara 2 A° s/d 8 A°, tergantung dari jenis zeolit). Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang maksimum.

Hydrocracking minyak biji jarak pagar menjadi biopetroleum dengan melibatkan katalis zeolit yang telah diaktivasi bertujuan untuk mendapatkan persen *yield* bahan bakar minyak biopetroleum yang lebih banyak, dimana dengan memanfaatkan aktivitas zeolit persenyawaan kimia yang berantai karbon panjang pada saat dilakukan *hydrocracking* dengan katalis zeolit teraktivasi, sisi aktiv katalis zeolit dengan mudah dapat melakukan proses *hydrocracking* secara sempurna terhadap rantai karbon minyak biji jarak pagar.

Zeolit aktif mempunyai pori-pori yang cukup banyak, dan pori-pori ini pada proses *hydrocracking* memainkan peranan yang cukup penting sebagai katalis perengkah. Pori-pori dari zeolit A berbentuk sirkuler, dapat memisahkan n-parafin dari campuran hidrokarbon (Sutarti *et al.*, 1994).

Katalis zeolit yang telah diaktivasi dalam proses *hydrocracking*, dari hasil analisis menunjukkan mempunyai kemampuan untuk memotong persenyawaan kimia rantai karbon panjang menjadi persenyawaan kimia rantai karbon sederhana. Proses *hydrocracking* yang terjadi berlangsung melalui pori-pori zeolit yang tersedia dalam jumlah yang besar. Zeolit berstruktur tiga dimensi dan mempunyai pori-pori atau ruang-ruang yang dapat diisi oleh kation lain atau molekul air tanpa merusak struktur zeolit (Sutarti *et al.*, 1994).

Disisi lain *hydrocracking* dengan 75 gram katalis zeolit yang diaktivasi mampu menghasilkan persenyawaan kimia yang berantai karbon $\leq C_{18}$ sebanyak 38 persenyawaan kimia bahan bakar minyak, *hydrocracking* dengan 75 gram katalis zeolit yang tidak diaktivasi persenyawaan kimia bahan bakar minyak dengan rantai atom karbon $\leq C_{18}$ hanya 34 persenyawaan kimia.

2. *Hydrocracking* minyak jarak pagar dengan 100 g ZA, suhu *hydrocracking* 300 ^{0}C, selama 3 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C

Peningkatan suhu *hydrocracking* dari 250 ke 300 °C dan peningkatan konsentrasi katalis zeolit teraktivasi dari 75 menjadi 100 gram secara teoritik, memungkinkan terjadinya penguapan persenyawaan kimia minyak yang berantai karbon $\leq C_5$, disisi lain terjadi peningkatan yield fraksi bipopetroleum mencapai 26,55% jika dibandingkan dengan suhu *hydrocracking* 250 °C. Tabel 4 berikut ini menyajikan persenyawaan kimia hasil *hydrocracking* dengan 100 gram ZA, suhu *hydrocracking* 300 ^{0}C, selama 3 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C.

Tabel 4. Hasil *hydrocracking* minyak biji jarak pagar dengan 100 g ZA, suhu *hydrocracking* 300^{0}C, selama 3 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C laju alir hidrogen 100 mL/menit

No	Fraksi	Formula	Nama Formula	Yield (%)
1	C_5-C_{10} (Biopetroleum)	C_7H_{14}	1-Heptene	0,15
		C_7H_{16}	Heptane	0,3
		C_8H_{16}	1-Octene	0,25
		C_8H_{10}	Benzene, 1,2-dimethyl	1,27
		C_8H_{18}	Octane	0,28
		C_9H_{16}	3-Octyne, 7-methyl-	1,44
		C_9H_{18}	2-NONENE	1,82
		C_9H_{20}	n-Nonane	1,85
		$C_{10}H_{12}$	Benzene, 2-ethenyl-1,4-dimethyl	1,34
		$C_{10}H_{16}$	1,5-CYCLOOCTADIEN, 3,8-DIMETHYL	0,13
		$C_{10}H_{18}$	1-Isopentylcyclopentene	12,01
		$C_{10}H_{20}$	1-Decene	3,82
		$C_{10}H_{22}$	Decane	1,89
	Total Yield (%)			26,55

Naiknya yield biopetroleum menunjukkan, dengan kenaikan suhu *hydrocracking* terhadap hasil *hydrocracking* minyak jarak pagar berfungsi untuk meningkatkan percepatan penguapan persenyawaan kimia fraksi biopetroleum (C_5-C_{10}) dan membantu untuk memutuskan ikatan C-C pada rantai minyak jarak pagar yang belum terengkah.

Kenaikan suhu *hydrocracking* memungkinkan terjadinya percepatan proses *hydrocracking* rantai atom karbon panjang minyak biji jarak pagar menjadi rantai atom karbon pendek. Disisi lain peningkatan suhu *hydrocracking* memungkinkan terjadinya penguapan fraksi-fraksi rendah ($\leq C_4$) hasil dari *hydrocracking*. Kenaikan suhu *hydrocracking* diperlukan untuk penguapan persenyawaan yang terbentuk dari proses *hydrocracking* minyak jarak pagar. Kenaikan suhu *hydrocracking* dapat memicu terjadinya penguapan persenyawaan kimia C_{15}-C_{17}. Persenyawaan kimia C_{15}-C_{17} merupakan fraksi bahan bakar minyak yang mengalami penguapan setelah fraksi biopetroleum dan fraksi biokerosin.

Peningkatan suhu *hydrocracking* dari 250 sampai 300 °C dapat menghasilkan persenyawaan kimia yang terdistilasi untuk fraksi C_5-C_{10} (biopetroleum) berjumlah 13 persenyawaan kimia. Hasil *hydrocracking* pada perlakuan ini persenyawaan kimia yang mempunyai nilai *yield* tertinggi dari fraksi C_5-C_{10} yaitu $C_{10}H_{18}$ (1-Isopentylcyclopentene) dengan persen yield adalah 12,01%.

3. *Hydrocracking* minyak biji jarak pagar dengan 125 g ZA, suhu *hydrocracking* 350 ^{0}C, selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C

Peningkatan konsentrasi katalis zeolit teraktivasi dari 75 gram, dinaikkan menjadi 100 gram, dan dinaikkan lagi menjadi 125 gram dengan mengkondisikan suhu distilasi 200 °C, waktu *hydrocracking* 3 jam, dan suhu distilasi 300 °C (Tabel 5), yield yang biopetroleum yang didapat secara setatistik mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Hasil *hydrocracking* minyak jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi 125 gram dengan suhu *hydrocracking* 350 °C selama proses *hydrocracking* 2 jam disajikan pada Tabel 5.

Peningkatan *yield* ini jika dibandingkan dengan perlakuan *hydrocracking* sebelumnya yaitu proses *hydrocracking* dengan katalis zeolit teraktivasi 100 gram Tabel 4 *yield* total dari fraksi biopetroleum pada perlakuan ini mengalami peningkatan cukup signifikan dengan hasil yield biopetroleum 31,42%. Peningkatan yield sebagai indikator katalis zeolit teraktivasi mempunyai kemampuan untuk memotong persenyawaan kimia rantai atom karbon panjang $\geq C_{19}$ minyak jarak pagar menjadi rantai atom karbon pendek fraksi biopetroleum.

Zeolit yang diakifasi mempunyai kemampuan sebagai katalis *hydrocracking* yang mempunyai kinerja yang cukup tinggi. Hal ini terlihat dari hasil uji yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu untuk merengkahkan sampah plastik yang mempunyai rantai karbon panjang menjadi rantai karbon pendek dan sederhana yang menghasilkan produk cair. Sakata *et al.*, (1996), silika alumina sebagai katalis dalam degredasi PP menghasilkan senyawa hidrokarbon dengan atom nC_5-nC_{15} (titik didih, 36 °C - 270 °C). Joo and Guin (1997) menggunakan katalis NiMo/zeolit-alumina untuk proses *hidrohydrocracking* plastik campuran HDPE, PP, dan PS (Akzo, 2600).

Hydrocracking dengan katalis zeolit teraktivasi pada perlakuan ini, dapat menghasilkan persenyawaan kimia dari golongan Cyclopentene, 1-methyl, Benzene, Heptene, Octane, Tetradecene, Pentadecane dan seterusnya. Hasil *hydrocracking* perlakuan ini menghasilkan 25 persenyawaan kimia barum fraksi biopetroleum.

Katalis zeolit yang diaktivasi mempunyai luas permukaan yang memungkinkan secara langsung dapat melakukan kontak dengan reaktan. Luas permukaan menggambarkan permukaan aktif yang dapat kontak dengan reaktan sehingga berfungsi sebagai jembatan dalam proses reaksi *hydrocracking*.

Permukaan aktif yang semakin besar dari suatu katalis mempunyai aktivitas yang semakin baik dalam proses *hydrocracking* dari molekul rantai atom karbon $\geq C_{18}$ menjadi molekul rantai atom karbon $\leq C_{18}$. Luas permukaan katalis zeolit semakin besar secara signifikan akan meningkat dengan modifikasi zeolit alam melalui proses pengasaman, hidrotermal, kalsinasi, oksidasi, impregnasi logam kromium dan reduksi (Setyawan *et al.*, 2003).

Tabel 5. Hasil hydrocracking minyak biji jarak pagar dengan 125 g ZA, suhu hydrocracking 350^{0}C, selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C laju alir hidrogen 125 mL/menit

No	Fraksi	Formula	Nama Formula	Yield (%)
1	C_5-C_{10} (Biopetroleum)	C_6H_{10}	Cyclopentene, 1-methyl	0,85
		C_9H_{16}	Propenylcyclohexane	0,27
		C_7H_8	Benzene, methyl	1,08
		C_7H_{12}	Cyclohexene, 1-methyl	1,04
		C_7H_{14}	1-Heptene	0,82
		C_7H_{12}	Bicyclo[4.1.0]heptane	0,35
		C_7H_{16}	Heptane	0,61
		C_8H_{10}	Benzene, ethyl-	0,61
		C_8H_{14}	Cyclooctene	1,13
		C_8H_{16}	1-Octane	0,95
		C_8H_{18}	Octane	0,85
		C_8H_{14}	2,4-Hexadiene, 2,5-dimethyl	0,28
		C_9H_{10}	Benzene, 1-propenyl	0,14
		C_9H_{14}	Spiro[4.4]non-1-ene	0,19
		C_9H_{12}	Benzene, propyl	3,90
		C_9H_{16}	3-Nonadiene	0,61
		C_9H_{18}	1-Nonene	2,62
		$C_{10}H_{16}$	OCTAHYDRO-CYCLOBUTA[C]PENTALENE	1,16
		C_9H_{20}	2,4-Dimethylheptane	0,36
		$C_{10}H_{12}$	2,3-Dihydro-1-methylindene	1,14
		$C_{10}H_{14}$	n-Butylbenzene	1,90
		$C_{10}H_{16}$	1,5-Cyclooctadiene, 1,2-dime	2,65
		$C_{10}H_{18}$	4,6-Decadiene	2,96
		$C_{10}H_{20}$	Cyclooctane, 1,4-dimethyl-, cis	3,18
		$C_{10}H_{22}$	Decan	1,77
	Total Yield (%)			31,42

Menurut Lowell dan Shield (1984), pori mempunyai peranan yang penting sekali dalam peningkatan luas permukaan padatan, dengan demikian bila ingin memperoleh luas permukaan padatan yang besar, maka harus diperhatikan luas dan volume pori padatan tersebut. Hasil penelitian dari semua perlakuan zeolit teraktivasi menunjukkan reaksi *hydrocracking* berlangsung cukup baik yang dapat menghasilkan persenyawaan kimia bahan bakar biopetroleum seperti minyak bumi.

4. *Hydrocracking* minyak jarak pagar dengan 150 g ZA, suhu *hydrocracking* 350 ^{0}C, selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C

Hydrocracking minyak jarak pagar dengan 150 gram katalis zeolit teraktivasi menjadi fraksi bahan bakar biopetroleum, suhu *hydrocracking* 350 ^{0}C, selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C menghasilkan yield bahan bakar minyak biopetroleum seperti terlihat pada Tabel 6. Hasil *hydrocracking* minyak jarak pagar dengan katalis zeolit pada perlakuan ini yield yang dihasilkan mengalami penurunan yang cukup signifikan jika dibandingkan terhadap perlakuan sebelumnya, dimana pada perlakuan yield yang dihasilkan hanya 22,05%.

Penurunan yield biopetroleum pada perlakuan ini dimungkinkan aktivasi katalis zeolit pada saat *hydrocracking* minyak jarak pagar dapat menghasilkan persenyawaan kimia dengan rantai atom karbon $\leq C_5$ yang berupa gas, disamping konsentrasi katalis cukup tinggi yaitu 150 gram, *hydrocracking* pada suhu tinggi memungkinkan persenuawaan kimia rantai karbon pendek mengalami penguapan pada tahap awal *hydrocracking*. Zeolit alam setelah dilakukan aktivasi dan modifikasi mempunyai aktivitas yang lebih baik untuk proses *hydrocracking* (Trisunaryanti *et al.*, 1996). Zeolit yang diaktivasi bersifat riolitik dengan air pori atau air meteorik (air hujan). Mineral ini merupakan kelompok alumino silikat terhidrasi dengan unsur utama terdiri dari kation, alkali dan alkali tanah, mempunyai pori-pori yang dapat diisi oleh air molekul. Banyaknya jumlah pori yang terdapat pada zaeolit yang telah diaktivsi akan mempermudah terjadinya proses *hydrocracking*.

Tabel 6. *Hydrocracking* minyak jarak pagar dengan 150 g ZA, suhu *hydrocracking* 350 ^{0}C, selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C laju alir hidrogen 125 mL/menit

No	Fraksi	Formula	Nama Formula	Yield (%)
1	C_5-C_{10} (Biopetroleum)	C_8H_{16}	1-Octane	3,39
		C_8H_{18}	Octane	2,6
		C_8H_{10}	Benzene, 1,2-dimethyl	2,11
		C_9H_{18}	n-Nonyl alcohol	1,65
		C_9H_{20}	2,4-Dimethylheptane	2,21
		$C_{10}H_{12}$	Benzene, 2-ethenyl-1,4-dimethyl	3,19
		$C_{10}H_{18}$	Cyclopentene, 1-(3-methylbutyl)	4,66
		$C_{10}H_{20}$	1-Decene	2,24
	Total Yield (%)			22,05

Persenyawaan kimia dengan rantai atom karbon $\leq C_4$ yang berupa gas pada saat dilakukan *hydrocracking* pada suhu 350 ^{0}C mengalami penguapan ke udara. *Hydrocracking* dengan suhu air pendingin 10 ^{0}C pada pada kolom *hydrocracking* tidak mempunyai kemampuan untuk mencairkan uap panas yang mengandung persenyawaan kimia dengan rantai atom karbon $\leq C_5$. Disamping itu laju alir uap panas yang melalui kolom pendingin *hydrocracking* dimungkinkan tidak sebanding dengan rasio kecepatan uap panas yang mengalir dengan diameter dan panjang lintasan distilasi. Biopetroleum hasil *hydrocracking* secara umum dari perlakuan ini mengalami penurunan yang cukup bermakna mencapai 70,74% jika dibandingkan dengan *hydrocracking* pada suhu 350 dengan konsentrasi katalis 125 gram.

Persenyawaan kimia yang berantai atom karbon pendek ($\leq C_5$) pada perlakuan ini ada 8 persenyawaan kimia, sedangkan pada perlakuan sebelumnya persenyawaan kimia yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* mencapai 25 persenyawaan kimia fraksi biokerosin.

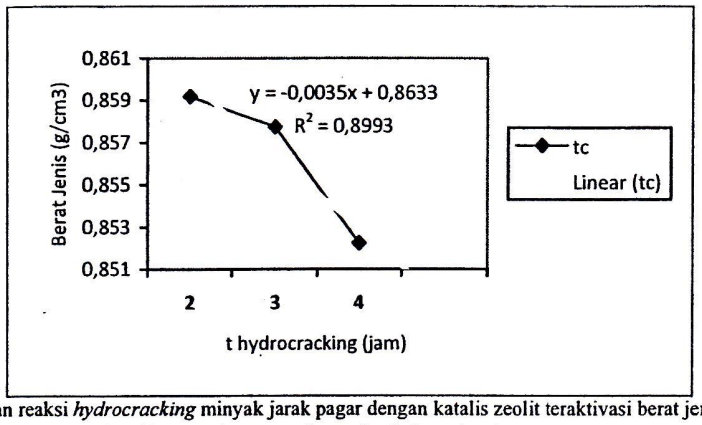
Konsentrasi katalis zeolit terhadap rasio suhu *hydrocracking* minyak jarak yang tidak optimum memungkinkan persenyawaan kimia yang berantai atam karbon pendek mengalami penguapan. Proses hydrocracking selain dapat menghasilkan persenyawaan kimia rantai atom karbon pendek, juga dapat menghasilkan persenyawaan kimia rantai atom karbon panjang (Ismail, 2007).

Peningkatan konsentrasi katalis zeolit yang ditambahkan pada perengkahan minyak jarak berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah persenyawaan kimia yang dihasilkan, kromatogram, luas area puncak, karakteristik dan sifat fisika-kimia dari persenyawaan kimia yang dihasilkan. Menurut Handayani, *et al* (2004) semakin tinggi jumlah katalisator, konversi makin meningkat. Katalis dapat mengubah reaktan menjadi produk dalam jumlah yang lebih banyak (Septiawati, 1999).

Adanya katalis dapat mempengaruhi faktor-faktor kinetik suatu reaksi seperti laju reaksi, rasio reaktan, sifat dasar keadaan transisi dan lain-lain (Augustine, 1996). Peristiwa hydrocracking minyak jarak pagar menjadi bahan bakar minyak biopetrolium merupakan suatu peristiwa yang berhubungan langsung dengan faktor-faktor tersebut di atas.

5. Model Kinetika reaksi hydrocracking minyak jarakterhadap berat jenis biopetroleum

Penentuak konstanta model kinetika kecepatan laju reaksi *hydrocracking* minyak jarak pagar terhadap berat jenis dengan katalis zeolit teraktivasi dari hasil percobaan menunjukkan, telah terjadi perbedaan yang cukup signifikan dari masing-masing rasio reaktan, konsentrasi katalis terhadap setiap bertambahnya waktu reaksi *hydrocracking*. Hasil penelitian menunjukkan, laju kecepatan reaksi dengan rasio reaktan minyak jarak pagar 500 ml dan katalis zeolit teraktivasi (75, 100, 125, 150) gram mempunyai perbedaan yang cukup signifikan seperti diperlhatkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Laju kecepatan reaksi *hydrocracking* minyak jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi berat jenis biopetroleum

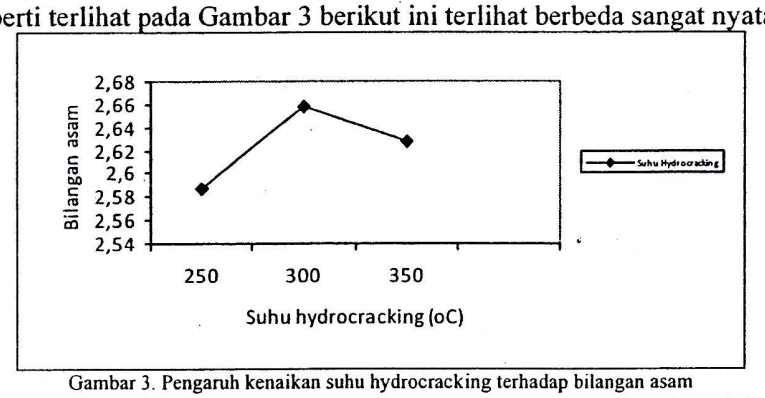
Laju kecepatan reaksi dinyatakan sebagai laju berkurangnya pereaksi atau laju bertambahnya konversi produk bahan bakar minyak biopetroleum yang dihasilkan. Waktu reaksi tidak cukup lama, kemungkinan terjadi pergeseran reaksi kearah kiri yang berpeluang sangat kecil, sehingga dapat diabaikan. Kinetika laju kecepatan reaksi *hydrocracking* minyak jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi menyebabkan terjadinya perubahan setruktur kimia minyak jarak dari rantai atom karbon panjang menjadi rantai atom karbon sederhana (pendek).

Rantai atom karbon panjang atau pendek sangat berpengarauh nyata terhadap nilai berat jenis biopetroleum yang dihasilkan. Nilai berat jenis dapat diasumsikan sebagai jumlah ikatan karbon yang membentuk persenyawaan kimia minyak jarak, dan rantai karbon sederhana ≤ 4 akan menyebabkan persenyawaan kimia mudah mengalami penguapan.

Titik nyala pada bahan bakar minyak sangat terpengaruh terhadap jumlah ikatan rantai atom karbon yang dimilikinya. Hal ini terlihat dari persenyawaan kimia bahan bakar petroleum yang mempunyai ikatan rantai karbon antara C_5-C_{10}, dimana sifat dari petroleum mudah menguap dan mudah terbakar. Berat jenis dari petroleum itu sendiri < 0,8 g/cm^3. Hasil pengujian terhadap biopetroleum yang dihasilkan dari proses hydrocracking minyak jarak menjdai biopetroleum berat jenisnya $\leq$ 0,85 g/cm3 (Gambar 2).

6. Pengaruh *hydrocracking* terhadap bilangan asam

Bilangan asam dalam bahan bakar minyak terutama untuk kendaraan bermotor sangat tidak dikehendaki, hal ini akan menyebabkan terjadinya korosi terhadap sistem peralatan (instrumen mesin). Hasil analisis secara statistik terhadap bilangan asam biopetroleum dari proses *hydrocracking* minyak jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi untuk perlakuan suhu *hydrocracking* seperti terlihat pada Gambar 3 berikut ini terlihat berbeda sangat nyata.



Gambar 3. Pengaruh kenaikan suhu hydrocracking terhadap bilangan asam

Nilai bilangan asam untuk kesemua perlakuan dari rerata statistik adalah 2,5864 – 2,6586. Adanya bilangan asam yang terkandung dalam biopetroleum hasil proses *hydrocracking*, hal ini dimungkinkan dari hasil pengamatan laboratorium terjadi pengikatan asam lemak bebas yang terperangkap dalam molekul-molekul minyak. Proses *hydrocracking* disamping memotong persenyawaan kimia rantai atom karbon panjang, juga memungkinkan atom-atom hidrogen yang terlepas oleh proses *hydrocracking* akan mengalami reaksi pembentukan kembali selama pristiwa hydrocracking berlangsung.

KESIMPULAN

Hydrocracking minyak jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi dapat melakukan proses perengkahan minyak jarak pagar dengan rantai atom karbon panjang ($\geq C_{20}$) menjadi fraksi bahan bakar biopetroleum (C_5-C_{10}).

Perlakuan *hydrocracking* 500 ml minyak biji jarak pagar dengan katalis zeolit teraktivasi 125 gram suhu *hydrocracking* 350 ^{0}C, selama 2 jam, dan suhu distilasi 200 ^{0}C dapat menghasilkan 31,42% yield biopetroleum dengan persenyawaan kimia rantai atom karbon C_5-C_{10} sebanyak 25 persenyawaan kimia.

Konsentrasi katalis zeolit teraktivasi 150 gram suhu *hydrocracking* 350 °C memungkinkan persenyawaan kimia rantai ataom karbon pendek akan lebih banyak mengalami penguapan pada saat *hydrocracking*, menginagat kemampuan katalis zeolit pada proses *hydrocracking*.

Berat jenis minyak jarak untu semua perlakuan antara 0,851-0,859 memenuhi persyaratan untuk motor bensi.

Niai asam dari hasil proses *hydrocraking* minyak jarak menjadi biopetroleum untuk semua perlakuakuan tidak memenuhi persyatan dengan nilai Bilangan asan 2,5864-2,65854.

DAFTAR PUSTAKA

Augustine. R.L. 1996. *Heterogeneous Catalysis for Chemist*, Marcel Dekker Inc., New York.

Annual Book of ASTM Standards, D961, Washington, D.C. (1976)

Demirbas, dan Ayhan. 2007. Alternative and Renewable Energy Industries; Energy and Fuel, International J of Green Energy 4, 15-26

Gubitz. G.M., M. Mittelbach dan M.Trabi. 1999. Exploitation of the tropical seed plant *Jatropha curcas* L., Bioresource Technology (67).

Hamdan. H. 1992. *Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and Modification*, Universiti Teknologi Malaysia. Imelik, B., 1985, Catalyst by Acid and Bases, Edisi I, *Elsevier*, Amsterdam.

Handayani. P.A., P. Suryo, dan Saputra., 2004. Kinetika Reaksi Hidrolisis Poliakrilamid dalam Suasana Basa. Program Studi Teknik Kimia. Program Pascasarjana Universitas Gajah Mada. Teknosains, 17(3), Hal 427-439.

Hayati. F. 2006. Sintesis Zeolit Y Sebagai Komponen Katalis Hydrocracking. Master Theses from JBPTITBPP / 2007-03-13 19:08:32.
http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&node=5044

Ismail. A. F. 2003. Teknlogi Minyak dan Gas Bumi. Universitas Sriwijaya. Palembang.

Joo. H.S, dan J.A. Guin. 1997, "Hydrocracking of a Plastics Pyrolysis Gas Oil to Naphtha", *Energy & Fuels*, 11, 586-592.Akzo KC 2600).

Ketaren. S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. Penerbit Universitas Indonesia (UI-PRESS), Jakarta.

Kirk. R.E, dan D.F. Othmer. 1980. Encyclopedia of Chemical Technology Vol. 9. ed. Jhon Wiley and sons,. New York. P. 305-308.

Lowell. S, dan J.E. Shields. 1984. Powder Surface Area and Porousity, Edisi II, *Chapman and Hall*, New York.

Marlina., N.M., Surdia., C.L. Radiman, dan S. Achmad. 2004. Pengaruh Konsentrasi Oksidator pada Proses Hidroksilasi Minyak Jarak (*Castor Oil*) Dengan atau Tanpa Proteksi Gugus Hidroksi. Proc. ITB Sains dan Tek. Nol 36 A. No. 1, 33-43

Moore. J.W, dan R.G. Pearson. 1981. Kinetic and Mechanism, third edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.

Nasruddin., G.Priyanto, B. Hamzah, M. Said. 2009. Studi Perengkahan Minyak Jarak Pagar Tanpa Katalis dan denganKkatalis Zeolit, Jur. Dinamika Penelitian BIPA

Nasruddin, 2009. Model Kinetika Laju Kecepatan Reaksi Perengkahan Minyak Jarak Pagar dengan Katalis Zeolit Teraktivasi Menjadi Bahan Bakar Hayati. Jur. Dinamika Penelitian BIPA.

Puppung. P.L. 1985. Beberapa Minyak Nabati yang memiliki Potensi sebagai bahan bakar Alternatif untuk motor diesel. Lembaran Publikasi lemigas, 4. Hal. 34-36.

Philip. K, dan W. Ricky. 2003. Penggunaan Minyak Nabati Sebagai Bahan Bakar Alternatif pada Motor Diesel Sistem Injeksi Langsung. Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra. Vol. 5 (1). Hal. 99-103.

Sakata. Y., Md Azhar, Uddin, dan A. Muto. 1999, "Degradation of Polyethylene and Polypropylene into Fuel Oil by Using Solid Acid and Non-Acid Catalysts", *J. Anal. App. Pyrol.*, 51, 135-155.

Sastrohamidjojo. H. 2001. Spektroskopi. Penerbit : Liberty, Yogyakarta, (2) hal 186.

Setiadi dan B. Arifianto. 2007. Hydrocracking Molekul Trigliserida Minyak Sawit menjadi Hidrokarbon Fraksi Gasoline Menggunakan Katalis B2O3/Al2O3. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. http://www.google.com.

Setyawan. D., dan P. Handoko. 2003. Aktivasi Katalis Cr/Zeolit dalam Reaksi Konversi Katalik Fenol dan Metil Isobutil Keton. *Jurnal ILMU DASAR Vol. 4 No. 2, : 70-76*

Suharyanto, T. Panji., M. Irfani dan K. Sayamsu., 2006. Biokonversi CPO dengan Desaturase Amobil Sistem Kontinu pada Skala Semipilot untuk Produksi Minyak mengandung GLA. Menara Perkebunan. 74(2), 97-108.

Sukarmin. 2004. Hidrokarbon dan Minyak Bumi, Departemen Pendidikan Nasional halaman 1 - 64.

Sutarti. M, dan R. Minta. 1994. Zeolit Tinjauan Literatur. Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah Lembaga Ilmu Pengetahuan Indfonesia. Jakarta.

Trisunaryanti. W., R. Shiba, Miura, M., Nomura, M., Nishiyama, M., dan M. Matsukata. 1996, Characterization and Modification of Indonesian Natural Zeolites and Their Properties for Hydrocracking of Paraffin, *Journal of The Japan* Petroleum Institute, Volume 39, hal 20-25.

Widodo. C.S., M. Nurhuda, Aslama, Hexa, dan R. Saiful. 2007. Studi Penggunaan Mikrowave pada Proses Trasesterifikasi Secara Kontinyu untuk Menghasilkan Bodiesel. Jurnal Teknik Mesin Vol. 9. No. 2. 54-58.

Zuas. O. 2004. Identifikasi dan Karakterisasi Senyawa Nitrogen Mustards Secara Gas Chromatograpy-Mass Spectrometry. Jurnal Ilmu Dasar Vol. 5 No. 2, 91-96.