

PEMBUATAN BAHAN BAKAR HIDROKARBON CAIR MELALUI REAKSI *CRACKING* MINYAK PADA LIMBAH CAIR PENGOLAHAN KELAPA SAWIT

PREPARATION OF LIQUID HIDROCARBON FUEL BY *CRACKING* OIL FRACTION OF PALM OIL MILL EFFLUENT

Agus Sundaryono^{1)*} dan Budiyanto²⁾

¹⁾Program Studi Pendidikan Kimia, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Bengkulu
Jl. WR. Supratman No.1 Bengkulu 38121
Email : sundaryono_2005@yahoo.fr

²⁾Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu, Bengkulu 38121

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the utilization of two types of zeolite catalists to produce liquid hydrocarbon fuel from oil fraction of palm oil mill effluent (POME). The oil fractions of POME were converted into metil ester prior to be cracked using bifunctional catalist of zeolite. Esterification of the oil was done by using H₂SO₄ at 60 °C for two hours and transesterification of it by using NaOH at 55 °C. The product methtyl ester of the POME was cracked with zeolit catalists Cr-H-ZA (25:1) and Ni-H-ZA. The result had indicated that zeolit catalyst Cr-H-ZA could yield liquid hidrocarbon that containing fraction of gasoline fuel better than zeolite catalyst Ni-H-ZA. The product liquid hidrocarbon had kinematic viscosity of 0.8329 cSt and had similar properties of gasoline fuel.

Keywords: catalitic craking, liquid hidrocarbon fuel, methylester, POME

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi penggunaan dua jenis katalis zeolit untuk memproduksi bahan bakar hidrokarbon cair bahan bakar hidrokarbon cair dari fraksi minyak limbah cair pengolahan kelapa sawit (POME). Fraksi minyak limbah diubah menjadi metilester sebelum mengalami *cracking* menggunakan zeolit sebagai katalis bifungsional. Esterifikasi minyak limbah dilakukan menggunakan katalisator H₂SO₄ pada 60 °C selama dua jam, dan transesterifikasi menggunakan katalisator NaOH pada 55 °C. *Cracking* dilakukan pada produk metil ester menggunakan katalis zeolit Cr-H-ZA (25:1) dan Ni-H-ZA. Hasil studi menunjukkan bahwa katalis zeolit Cr-H-Za dapat menghasilkan bahan bakar hidrokarbon cair yang mengandung gasoline lebih baik daripada penggunaan kalis zeolit Ni-H-ZA. Produk bahan bakar hidrokarbon cair yang dihasilkan memiliki viskositas kinematik sebesar 0,8329 cSt dan karakteristik menyerupai gasolin.

Kata kunci: *Craking* katalitik, bahan bakar hidrokarbon cair, metil ester, POME

PENDAHULUAN

Ketergantungan Indonesia terhadap bahan bakar fosil sangat besar, sehingga sejak tahun 2000 menjadi negara pengimpor BBM. Berdasarkan data ESDM (2006), minyak bumi mendominasi 52,5% pemakaian energi di Indonesia, sedangkan penggunaan energi terbarukan hanya sekitar 0,2% dari total penggunaan energi. Padahal cadangan minyak bumi Indonesia diperkirakan akan habis dalam waktu dua puluh tiga tahun mendatang. Beberapa alternatif dikaji untuk memproduksi bahan bakar terbarukan (*renewable resources*) seperti misalnya dari berbagai jenis minyak nabati, yang kemudian dikenal dengan bioenergi. Pengembangan bioenergi semakin mendesak untuk segera dilaksanakan, tidak lain untuk mensubstitusi kebutuhan BBM di Indonesia.

Kelapa sawit merupakan penghasil CPO (*Crude Palm Oil*), CPO paling memungkinkan

dipakai sebagai sumber bahan bioenergi ditinjau dari aspek teknis dan aspek ekonomi. Penelitian yang sekarang banyak dilakukan untuk memperoleh bioenergi digunakan bahan baku minyak pangan seperti misalnya CPO. Tentu saja pengembangan energi alternatif berbahan baku CPO dapat dilakukan jika produksi CPO sedang melimpah.

Berdasarkan data Dinas Perkebunan Provinsi Bengkulu pada tahun 2007/2008 tercatat 17 Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS), setiap pabrik memproduksi CPO rata-rata sebanyak 30-60 ton/jam. Pengolahan minyak dalam PMKS dihasilkan sebanyak 5% PKO dan 24% CPO, sedangkan *oil losses* sebanyak 1,5% terikut dalam *Palmoil Mill Effluent* (POME). POME hanya dibuang ke lingkungan, sehingga menjadi salah satu pencemar lingkungan dengan rata-rata *Biological Oxygen Demand* (BOD) 25,3 g/l, *Chemical Oxygen Demand* (COD) 34,7 g/l dan pH 4,1 (Afrizal, 2007).

POME sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, oleh karenanya dengan penelitian yang mempunyai tujuan jangka panjang meningkatkan nilai ekonomi POME melalui pengembangan energi terbarukan di Provinsi Bengkulu ini telah dimulai melalui penelitian pendahuluan dengan hasil bahwa POME dapat dikonversi menjadi metil ester dengan rendemen 80% (Budiyanto *et al.*, 2008).

Kajian pembuatan hidrokarbon cair setara gasolin (biogasolin) dari minyak biomass pengolahan kelapa sawit, termasuk fraksi minyak POME telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penggunaan beberapa jenis logam yang diimpregnasikan pada zeolit dilaporkan dapat merubah fraksi minyak menjadi hidrokarbon cair atau gasolin (Hikayat dan Sundaryono, 2009; Nasikin *et al.*, 2009; Nurjanah, 2010; Setiadi dan Fitria, 2006; Siregar dan Amin, 2006; Suharto *et al.*, 2003).

Zeolit alam pada umumnya memiliki kristalinitas yang tidak tinggi, ukuran porinya sangat tidak seragam, aktivitas katalitiknya rendah, oleh karena itu perlu diaktivasi dan dimodifikasi sebelum digunakan. Menurut Suharto (2003) zeolit alam yang diimpregnasi dengan logam dapat digunakan sebagai katalis dalam *cracking* molekul hidrokarbon. Perekahan minyak sawit menggunakan Zeolit yang diimpregnasi logam Ni dan Mo pada suhu 350 °C selama 1 dan 1,5 jam menghasilkan senyawa hidrokarbon cair dengan mayoritas molekul C 8 sampai dengan C 15 (Nasikin *et al.*, 2009). Modifikasi zeolit alam dengan impregnasi logam menghasilkan katalis bifungsional yaitu katalis asam yang berfungsi untuk reaksi konversi dan logam yang berfungsi untuk reaksi dehidrogenasi (Ariyanti *et al.*, 2007).

Studi perekahan minyak sawit lain dilakukan dengan katalis B₂O₃ zeolit dan Cu-ZSM-5 (Setiadi dan Fitria, 2006; Siregar dan Amin, 2006). Pada studi perekahan menggunakan katalis Cu-ZSM-5 pada suhu 500 °C 4 jam diketahui bahwa penambahan penggunaan katalis sampai 8% berat sampel, meningkatkan jumlah gasoline yang terbentuk (Siregar dan Amin, 2006). Sementara itu studi penggunaan katalis B₂O₃ zeolit pada perekahan minyak goreng dan asam lemak, menunjukkan bahwa pada kondisi perekahan yang sama, penambahan katalis boron oksida (B₂O₃) akan menurunkan *yield* gasoline yang dihasilkan. Selain itu, diketahui pula bahwa perekahan metal ester minyak sawit lebih mudah daripada perekahan minyak goreng (Setiadi dan Fitria 2006).

Informasi tentang penggunaan zeolit dengan berbagai jenis logam masih terbatas. Selain itu, informasi sifat fisik produk hasil perekahan metil ester yang diperoleh dari fraksi POME masih sangat terbatas. Dengan demikian, kajian pada perekahan katalitik metil ester yang dihasilkan dari minyak limbah pada POME perlu dilakukan.

Pada penelitian ini metil ester yang diperoleh dari POME dikembangkan menjadi bahan bakar hidrokarbon cair melalui reaksi *cracking* katalitik dengan memanfaatkan katalis bifungsional berbasis zeolit. Hasil *cracking* katalitik ditentukan sifat fisiknya melalui uji densitas, viskositas, titik tuang dan titik pengkabutan. Analisis GC-MS digunakan untuk mengetahui apakah komponen penyusun bensin (*gasoline fuel*, C₅-C₁₂) diperoleh dalam hidrokarbon cair, hasil *cracking* katalitik metil ester dari POME. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya untuk mengembangkan sumber energi terbarukan.

METODE PENELITIAN

Perlakuan Katalis

Serbuk zeolit alam (ZA) dimasukkan dalam larutan pengaktif HCl 2 M (ZA : HCl 2 M adalah 1 : 2) sambil diaduk selama 4 jam tanpa pemanasan, setelah selesai dicuci dengan aquades sehingga pH menjadi netral. Zeolit yang diperoleh (H-ZA) dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C.

Impregnasi dilakukan pada H-ZA, dengan cara mencampurkan serbuk H-ZA ke dalam larutan yang mengandung 0,1 M ion logam Cr³⁺ (1 : 5 g/ml). Campuran diaduk selama 2 jam, kemudian disaring dan dipanaskan pada suhu 110 °C dalam oven selama 12 jam. Katalis yang dihasilkan (Cr-H-ZA) selanjutnya dikalsinasi dalam *muffle furnace* pada suhu 500 °C selama 4 jam. Hal yang sama impregnasi dilakukan dengan larutan 0,1 M ion logam Ni²⁺. Sehingga dihasilkan katalis zeolit bifungsional yaitu Cr-H-ZA dan Ni-H-ZA.

Perlakuan Sampel

POME disaring secara manual, minyak yang diperoleh dipanaskan 104 °C selama satu jam. Minyak dipucatkan dengan cara kontak menggunakan zeolit aktif (Sundaryono dan Verina, 2005), kemudian ditambahkan asam fosfat (H₃PO₄) 0,6% sebanyak 1-3% dari volume minyak dari POME kemudian diaduk selama 30 menit, proses *degumming* ini diakhiri dengan memisahkan endapan.

Sebanyak 2 ml H₂SO₄ ditambahkan ke dalam campuran metanol dan minyak dari POME hasil proses *degumming* (metanol : minyak = 1 : 5), campuran dipanaskan pada suhu 60 °C, diaduk dengan cepat selama 2 jam, kemudian dibiarkan dalam keadaan dingin selama kurang lebih 8 jam. Kedalamnya ditambahkan metoksi (NaOH yang dilarutkan dalam metanol dengan perbandingan 1:30 g/ml), kemudian dipanaskan pada suhu 55 °C sambil diaduk selama 2 jam, hasil dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan selama satu malam. Campuran akan terpisah, metil ester dicuci dengan menggunakan air hangat 60 °C sampai air cucian jernih, kemudian dikeringkan dengan MgSO₄.

Metil ester hasil konversi minyak dari POME dan katalis Cr-H-ZA (25:1 mL/g) dipanaskan pada

suhu 350 °C selama 2 jam, kemudian didestilasi pada suhu yang sama selama 1 jam. Variasi dilakukan terhadap jumlah katalis hingga dua sampai tiga kali lipat. Langkah yang sama dilakukan juga dengan menggunakan katalis Ni-H-ZA.

Senyawa hidrokarbon cair hasil perengkahan katalitik metil ester dianalisis dengan kromatografi GC-MS, sedangkan sifat fisika hidrokarbon cair yang ditentukan meliputi densitas, viskositas, titik tuang dan titik pengkabutan (Syah, 2006).

HASIL DAN PEMBAHASAN

POME sebagai sampel diambil dari pabrik PT. Bio Nusantara Bengkulu yang mengandung Asam Lemak Bebas (ALB) sebesar 26,90%. ALB yang tinggi menyebabkan terjadinya *blocking* reaksi pembentukan metil ester, yaitu metanol yang seharusnya bereaksi dengan trigliserida terhalang oleh reaksi pembentukan sabun yang terbentuk oleh katalis basa kuat dengan asam lemak bebas, akibatnya konsumsi katalis basa akan lebih besar dan produk metil ester yang dihasilkan tidak maksimal. Oleh karena itu konversi metil ester dari minyak POME ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu esterifikasi dengan katalis H₂SO₄ dan transesterifikasi dengan katalis NaOH. Reaksi tahap satu esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas agar menjadi sekitar 2% yaitu dengan mengubah asam lemak bebas menjadi metil ester. Proses tersebut merupakan suatu rangkaian dari reaksi reversibel, yang di dalamnya molekul trigliserida diubah tahap demi tahap menjadi digliserida, monogliserida, dan gliserol. Dalam tiap tahap, satu mol alkohol dikonsumsi dan satu mol ester yang dibebaskan (Khasanah *et al.*, 2009;

Yunitasari, 2009). Setelah dua tahap reaksi selesai, metil ester yang terbentuk dicuci dengan air hangat 60 °C untuk menghilangkan sisa katalis, gliserol dan metanol yang tidak bereaksi dan tertinggal dalam metil ester.

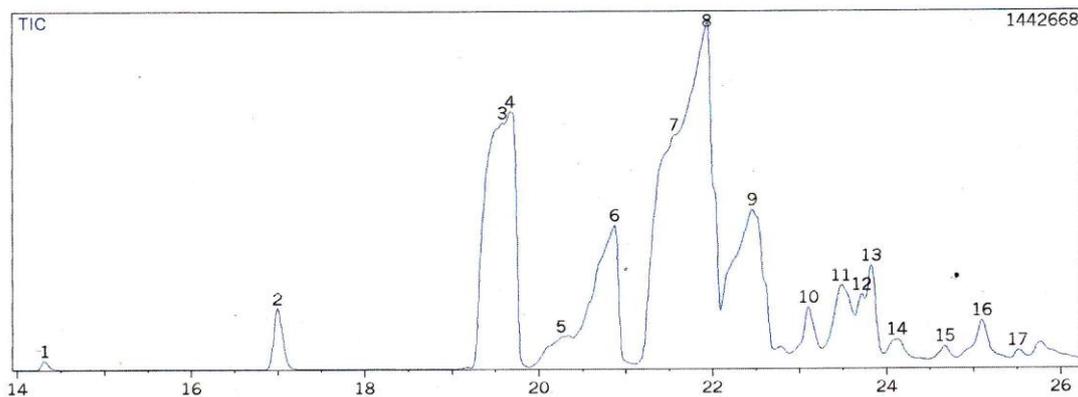
Hidrokarbon cair sebagai hasil dari *cracking* katalitik terhadap metil ester dengan katalis Cr-H-ZA (dengan variasi jumlah katalis 1:2:3) diperoleh rendemen 42%, 56% dan 70,5%. Sedangkan dengan katalis Ni-H-ZA diperoleh rendemen 37,5%, 61,5%, 69,5%. Densitas, viskositas, titik kabut, dan titik tuang hidrokarbon cair hasil *cracking* katalitik disajikan pada Tabel 1.

Hasil pengukuran densitas mengindikasikan bahwa *cracking* katalitik metil ester menggunakan katalisator Cr-H-ZA mampu menurunkan densitas lebih baik dari pada penggunaan katalis Ni-H-ZA. Viskositas hidrokarbon cair hasil perengkahan katalitik dengan katalis Ni-H-ZA dan Cr-H-ZA lebih besar dari viskositas bensin. Titik kabut hidrokarbon cair hasil *cracking* katalitik dengan katalis Ni-H-ZA sama dengan titik kabut bensin. Sedangkan titik kabut hidrokarbon cair yang dihasilkan dengan katalis Cr-H-ZA lebih besar dari titik kabut bensin. Titik tuang hidrokarbon cair hasil *cracking* katalitik dengan katalis Ni-H-ZA dan Cr-H-ZA menyerupai titik tuang bensin. Titik tuang dipengaruhi oleh panjang rantai karbon, semakin panjang rantai karbon maka semakin tinggi titik tuang (Anonim, 2005).

Metil ester hasil konversi dari POME dianalisa secara kualitatif menggunakan GC-MS untuk mengetahui komponen senyawa yang terbentuk. Kromatogram GC untuk komponen metil ester yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Sifat fisik hidrokarbon cair hasil *cracking* katalitik metil ester dan bensin

Parameter	Satuan	Metil Ester	Hidrokarbon Cair Hasil <i>Cracking</i>		Bensin (premium)
			Ni-H-ZA	Cr-H-ZA	
Densitas	g/cm ³	0,8785	0,8354	0,7883	0,6876
Viskositas	cSt	2,469	0,7636	0,646	0,372
Titik kabut	°C	13,3	< 0	1	< 0
Titik tuang	°C	9	< 0	< 0	< 0



Gambar 1. Kromatogram GC komponen metal ester

Banyaknya komponen metil ester yang terbentuk ditunjukkan oleh puncak-puncak yang ada pada kromatogram. Kromatogram metil ester ini digunakan sebagai pembanding untuk melihat komponen baru yang dihasilkan pada perengkahan katalitik terhadap metil ester dari POME menggunakan katalis berbasis zeolit.

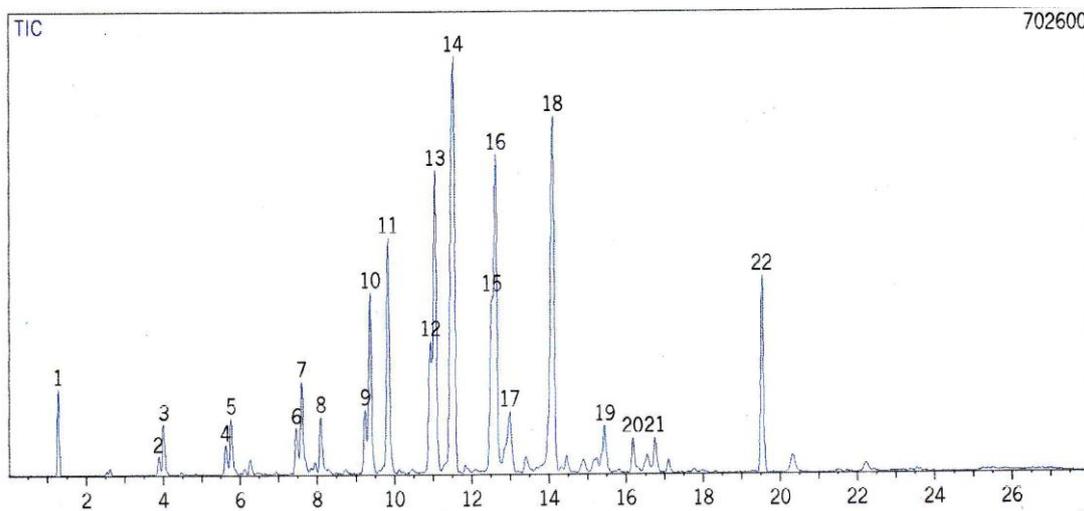
Komponen-komponen penyusun metil ester hasil konversi minyak dari POME disajikan pada Tabel 2.

Analisis komponen-komponen penyusun metil ester pada Tabel 2 dilakukan dengan membandingkan hasil kromatogram GC-MS dengan referensi spektrum massa pembanding pada Bank-National Institute Standar of Technology (NIST)-62 Library (62 enteries) Willey 299 Library dan Pesticid.

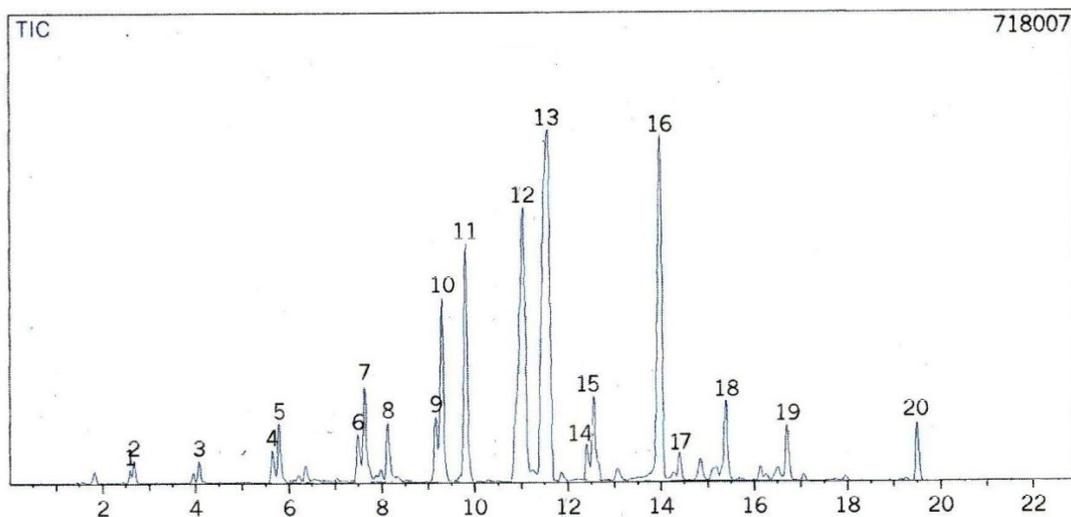
Kromatogram hasil *cracking* katalitik metil ester dengan menggunakan katalis Cr-H-ZA dan katalis Ni-H-ZA disajikan pada Gambar 2 dan 3.

Tabel 2. Komponen penyusun metil ester

No. Puncak	Komponen Penyusun	Rumus Molekul	Komposisi (%)
2	Metil Miristat	$C_{15}H_{30}O_2$	2,62
3,4	Metil Palmitat	$C_{17}H_{34}O_2$	36,86
5,6	Asam Palmitat (tidak termetilkan)	$C_{18}H_{34}O_2$	3,98
7,8	Metil Oleat	$C_{19}H_{36}O_2$	48,61
9	Komponen lainnya	-	4,10



Gambar 2. Kromatogram hasil *cracking* metil ester dengan katalis Cr-H-ZA



Gambar 3. Kromatogram hasil *cracking* metil ester dengan katalis Ni-H-ZA

Metil ester hasil konversi minyak dari POME tersusun atas komponen senyawa yang memiliki rantai hidrokarbon yang panjang dengan berat molekul yang besar. Diharapkan senyawa ini dapat dikonversi menjadi hidrokarbon berantai pendek dengan berat molekul yang lebih kecil, melalui metode *cracking* katalitik menggunakan katalis berbasis zeolit. Hasil konversi diharapkan merupakan bahan bakar hidrokarbon cair dengan rantai karbon lebih pendek setara dengan bensin. Analisis GC-MS komponen penyusun hidrokarbon hasil perengkahan katalitik metil ester dengan katalis Cr-H-ZA dan katalis Ni-H-ZA disajikan pada Tabel 3 dan 4.

Berdasarkan analisis GC-MS diketahui bahwa *cracking* katalitik metil ester dari POME dapat dilakukan menggunakan katalis zeolit bifungsional Cr-H-ZA maupun Ni-H-ZA, akan tetapi kemampuan katalis Cr-H-ZA dalam menghasilkan hidrokarbon cair lebih baik dibanding katalis Ni-H-ZA. Produk hidrokarbon cair hasil *cracking* katalitik jika dibandingkan dengan bensin (C₅-C₁₂) dan kerosene (C₉-C₁₄), maka komponen penyusun bensin yang dihasilkan dari POME melalui *cracking* katalitik menggunakan katalis Cr-H-ZA mencapai 7,34% (n-undecana dan 1-undecene) dan penyusun kerosene yang dihasilkan sebesar 54,12%.

Proses perengkahan yang dilakukan diatas menghasilkan fraksi gasoline yang lebih rendah dibandingkan dengan hasil studi proses perengkahan minyak sawit yang dilakukan oleh Nurjanah (2010).

Pada penelitian perengkahan selama 75 menit, menggunakan katalis HZSM dapat dihasilkan fraksi gasoline dengan *yield* tertinggi 28,87%,(Nurjanah, 2010).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa POME dapat dikembangkan menjadi bahan bakar hidrokarbon cair melalui reaksi *cracking* katalitik dengan menggunakan katalis Cr-H-ZA maupun katalis Ni-H-ZA.

Karakteristik fisik hasil *cracking* katalitik menggunakan katalis Cr-H-ZA yaitu densitas 0,7883 g/cm³, viskositas kinematik 0,6460 cSt, titik kabut dan titik tuang < 0 °C. Sedangkan menggunakan katalis Ni-H-ZA, densitas 0,8354 g/cm³, viskositas kinematik 0,7636 cSt, titik kabut dan titik tuang < 0 °C.

Komponen kimia penyusun hidrokarbon cair hasil *cracking* katalitik dengan menggunakan katalis Cr-H-ZA yang setara dengan bensin sebanyak 7,34% yaitu C₁₁H₂₂ dan C₁₁H₂₄.

Saran

Diperlukan kajian lebih lanjut, khususnya hidrokarbon cair yang diperoleh dari POME mampukah digunakan sebagai bahan bakar pengganti bensin.

Tabel 3. Komponen penyusun hidrokarbon cair hasil *cracking* katalitik Metil Ester dengan Katalis Cr-H-ZA

No. Puncak	Komponen Penyusun	Rumus Molekul	Komposisi (%)	Keterangan
7, 10, 12, 13, 15, 16, 18	n-hendecana,	C ₁₁ H ₂₄ , C ₁₂ H ₂₆ ,	2,75	Komponen hidrokarbon
	n-dodecana		5,37	
	1-undecene	C ₁₁ H ₂₂	4,59	
	n-tridecana	C ₁₃ H ₂₈	12,95	
	1-tetradecene	C ₁₄ H ₂₈	5,44	
	n-tetradecana	C ₁₄ H ₃₀	14,33	
	n-pentadecana	C ₁₅ H ₃₂	16,03	
11, 14, 22	Metil			Komponen ester
	Nonanoate	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	6,96	
	Metil	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	17,53	
	Decanoate	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	5,84	
	Metil palmitat			

Tabel 4. Komponen penyusun hidrokarbon cair hasil *cracking* katalitik metil ester dengan katalis Ni-H-ZA

No. Puncak	Komponen Penyusun	Rumus Molekul	Komposisi (%)	Keterangan
10, 12, 16	Dodecane, Tridecane	C ₁₂ H ₂₄	5,46	Komponen hidrokarbon
	Pentadecane	C ₁₃ H ₂₈	8,62	
		C ₁₅ H ₂₂	10,51	
11.	Methyl nonanoat	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	6,43	
13.	Komponen lain	-	9,31	

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis sampaikan terimakasih pada Dirjen DIKTI yang telah membantu penelitian hibah bersaing Tahun 2008 dan 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal. 2007. Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit. <http://afrizal.wordpress.com> [4 Januari 2009].
- Anonim. 2005. Bahan Bakar dan Pembakaran. <http://www.indobiofuel.com> [4 Januari 2009].
- Budiyanto, Yuwana, Surahman. 2008. Rendemen dan mutu metil ester dari berbagai kualitas limbah air pabrik kelapa sawit. Prosiding Seminar Nasional BKS-PTN wilayah Indonesia Barat, Bengkulu, 13-14 mei 2008, Bengkulu.
- Hikayat R dan Sundaryono A. 2009. Perengkahan Katalitik Metil Ester dari Limbah Cair Pengolahan CPO menjadi Biofuel dengan katalis zeolit serta implementasinya pada pembelajaran kimia SMA FKIP Kimia Universitas Bengkulu (tidak dipublikasikan).
- Khasanah dan Sundaryono A. 2009. Pemanfaatan Limbah Cair Pengolahan Kelapa Sawit Untuk Pembuatan Biokerosene dan Implementasinya Pada Pembelajaran Kimia di SMA. FKIP Universitas Bengkulu (tidak dipublikasikan).
- Nasikin M, Susanto BH, Hirsaman MA, Wijarnako A. 2009. Biogasoline from palm oil by simultaneous cracking and hydrogenation reaction over nimo/zeolyte catalyst. *World Applied Science Journal* 5: 74-79.
- Nurjanah. 2010. Perekahan katalitik minyak sawit untuk menghasilkan biofuel. ITS PhD. [Thesis]. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya (Tidak dipublikasikan).
- Prihandana R. 2006. Menghasilkan Biodiesel Murah : Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Setiadi dan Fitria RM. 2006. Proses katalitik sintesis hidrokarbon fraksi bensin dari minyak sawit menggunakan katalis B₂O₃/Zeolit. Disampaikan pada Seminar Nasional MKICS, Universitas Indonesia, 26-27 Juni 2006.
- Siregar TB, Amin, Nor Aisah S. 2006. Catalitic cracking of palm oil to gasoline overpretreated Cu-ZSM-5. *Jurnal Teknologi* 44 : 69-82.
- Suharto TE, Widiyati E, Gustian I. 2003. Pembuatan Katalis Baru Berbasis Zeolit dan Zirconia untuk Mengubah Propena Menjadi Bahan Bakar Cair Sejenis Bensin Bebas Timbal, Laporan Riset Unggulan Terpadu (RUT) X, UNIB-LIPI-KRT.
- Sumarni T dan Sundaryono A. 2009. Pengaruh penambahan variasi jumlah katalis bifungsional terhadap hasil craking metilester dari limbah cair pengolahankelapa sawit dan implementasinya pada pembelajaran kimia SMA. FKIP Universitas Bengkulu (tidak dipublikasikan).
- Syah dan Andi NA. 2006. Biodiesel Jarak Pagar : Bahan Bakar Alternatif yang Ramah Lingkungan. Jakarta : Agro Media Pustaka.
- Trisunaryanti. 2003. Aktivitas Katalis Cr/Zeorlit dalam Reaksi Konversi Katalitik Fenol dan Metil Isobutil Keton. *Jurnal ILMU DASAR* 4 (2): 70-76.
- Verina dan Sundaryono A. 2005. Reaktivasi Adsorben Zeolit Alam Bekas Pakai dan Penentuan Daya Serapnya Terhadap Betakaroten Dalam Minyak Sawit Mentah (CPO). FKIP Universitas Bengkulu (tidak dipublikasikan).
- Yunitasari, Sundaryono A, Budiyanto, 2009. Karakterisasi biodiesel sebagai hasil reaksi transesterifikasi dari limbah cair pabrik CPO FKIP Kimia Universitas Bengkulu (tidak dipublikasikan).