

PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN PROSES CATALYTIC CRACKING

Luqman Buchori, Widayat^{*)}

Abstract

Crude oil is a source of energy which is not be renewable. This fact motivates so much countries in economizing on fuel. Many researches have been done to gets another fuel substitute the crude oil. Biodiesel is represented as fuel instead of diesel fuel, and it is produced from vegetable oil. In the other side, ex-cooking oil is waste-product from food industry, restaurant and household which is potential to be alternative fuels because of the high contents of carbon and hydrogen atoms. Commonly the biodiesel made from vegetable oil by esterification and transesterification process. But if using esterification and transesterification process to ex-cooking oil material, it is not economically feasible because the process makes another reaction between alkaly catalist and oil to produce soap. One of biodiesel process is catalytic cracking of the ex-cooking oil. This research is aimed to analyze zeolite catalist size effect (0.125mm; 0.3375mm; 0.425mm; 0.85mm; 1.18mm), and acid concentration on the product (2N; 3N; 4N). This result shows that at 4N acid concentration and 0.125 mm zeolite catalist size is optimal which can reach diesel specification.

Key words : biodiesel, ex-cooking oil, catalytic cracking, natural zeolite

Pendahuluan

Bahan Bakar Minyak (BBM) di Indonesia merupakan salah satu produk yang banyak dibutuhkan oleh masyarakat. Dengan bertambahnya penduduk maka semakin meningkat pula konsumsi akan kebutuhan BBM tersebut, sehingga cadangan energi dari minyak bumi semakin menipis dan suatu saat bisa habis. Di sisi lain, bahan bakar minyak sendiri banyak menghasilkan gas buang yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan sehingga perlu dicari bahan bakar yang akrab lingkungan.

Banyak peneliti telah menguji kemungkinan – kemungkinan penggunaan minyak nabati sebagai pengganti bahan bakar baik secara langsung maupun sebagai bahan pencampur. Diantaranya adalah Gerhard Knothe yang meneliti tentang pengolahan minyak tanaman, lemak hewan dan minyak jelantah secara transesterifikasi menjadi biodiesel (BAPE-DALDA kota makassar, 2003). Kemudian perusahaan NANKO di Jepang membuat mesin diesel pembangkit listrik dengan bahan bakar dari minyak goreng jelantah yang telah disaring dan kemudian ditambah methanol. Supranto dkk, meneliti tentang pengaruh suhu dan perbandingan pereaksi pada pembuatan metil ester biodiesel dari distilat asam lemak sawit (Supranto dkk, 2003). Herawan meneliti tentang kemungkinan penggunaan kelapa sawit untuk minyak pelumas mesin otomotif, alat – alat hidrolik dan kompresor. Hasil penelitiannya menunjukkan

bahwa ester asam lemak dari kelapa sawit dapat disintesis menjadi pelumas dengan cara esterifikasi metil ester asam lemak kelapa sawit dengan poliol (Nama dagang : TMP - Ester) (Kompas, 22 Oktober 2001). Djaeni dkk, meneliti tentang penggunaan minyak goreng bekas menjadi biodiesel dengan cara transesterifikasi. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa zeolite yang telah diaktivasi dengan asam sulfat mempunyai kemampuan sebagai katalis dalam proses transesterifikasi minyak nabati bekas menjadi biodiesel (Djaeni dkk, 2004). Bismo, meneliti prospek ozonosasi etil ester dari minyak nabati untuk bahan bakar mesin diesel. Penelitian ini menyimpulkan bahwa reaksi ozonisasi dapat mengubah sifat – sifat dan atau karakteristik dari ester yang berasal dari minyak – minyak nabati seperti kelapa sawit, minyak sawit, minyak kedelai dan minyak matahari (Bismo, 2004).

Minyak merupakan trigliserida yang tersusun atas tiga unit asam lemak, berwujud cair pada suhu kamar (25°C) dan lebih banyak mengandung asam lemak tidak jenuh sehingga mudah mengalami oksidasi. Minyak yang berbentuk padat biasa disebut dengan lemak. Minyak dapat bersumber dari tanaman, misalnya minyak zaitun, minyak jagung, minyak kelapa, dan minyak bunga matahari. Minyak dapat juga bersumber dari hewan, misalnya minyak ikan sardin, minyak ikan paus dan lain-lain (Ketaren, 1986). Minyak sayur adalah jenis minyak yang digunakan dalam pengolahan bahan pangan, biasanya terbuat dari kelapa maupun kelapa sawit. Komposisi minyak goreng dari kelapa sawit seperti disajikan dalam tabel 1.

^{*)} Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Tabel 1. Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Sawit (Ketaren, 1986)

Asam Lemak	Kandungan
Asam miristat	1.1 - 2.5
Asam palmitat	40 - 46
Asam stearat	3.6 - 4.7
Asam oleat	39 - 45
Asam linoleat	7.0 - 11

Tabel 2. Karakteristik Minyak Goreng Bekas (Sidjabat, 2004)

No	Karakteristik	Hasil analisis	Metode uji
1.	Spesifik gravitas, 60/60°F	0.9225	ASTM D-1298
2.	Viskositas Kinematik, 100°C, cSt	50.47	ASTM D-445
3.	Warna	>3.5	ASTM D-1500
4.	Bilangan Asam total, mg KOH/gr	5.289	ASTM D-664
5.	Residu karbon, %-brt	0.314	ASTM D-189
6.	Asam lemak bebas, %-brt	4.2	-
7.	Komposisi as.lemak, %-brt : - Asam Laurat - Asam palmitat - Asam margarat - Asam Stearat - Asam Oleat - Asam linoleat - Asam arkhidat	1.606 14.939 3.959 13.121 32.192 5.022 2.585	HPLC

Penggunaan minyak nabati berulang kali sangat membahayakan kesehatan. Hal ini dikarenakan selain semakin banyaknya kotoran yang terkandung dalam minyak goreng akibat penggorengan bahan makanan sebe-lumnya dan semakin banyaknya senyawa – senyawa asam karboksilat bebas di dalam minyak serta warna minyak goreng yang semakin tidak jernih jika dipakai berulang kali. Selama proses penggorengan, terjadi pemanasan dan minyak berubah menjadi berwarna gelap karena terjadinya reaksi kimia yang dapat menghasilkan sekitar 400 senyawa kimia yang umum-nya bersifat karsinogenik (Boyd dan Margaret, 1996). Sedangkan pembuangan minyak goreng bekas secara langsung ke lingkungan akan menimbulkan pencemaran. Komposisi minyak goreng bekas dari kelapa sawit, disajikan dalam tabel 2.

Catalytic cracking atau perengkahan berkatalis adalah suatu cara untuk memecah hidrokarbon kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana yang dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produk dan juga dapat menurunkan jumlah residu yang dihasilkan.

Ada tiga tipe dari proses *catalytic cracking* yaitu *Fluid catalytic cracking* (FCC), *moving – bed catalytic cracking*, dan *thermoform catalytic cracking* (TCC).

1. *Fluid catalytic cracking*

Yaitu proses perengkahan dimana minyak dipecah dengan adanya katalis yang ada didalam reaktor dengan jalan menjaga aliran fluida dalam proses tersebut.

2. *Moving-bed catalytic cracking*

Proses ini hampir sama dengan proses *fluid catalytic cracking*. Perbedaannya terletak pada perlakuan katalis yang dipindahkan secara kontinyu untuk dijatuhkan kedalam reaktor dan kemudian diregenerasi.

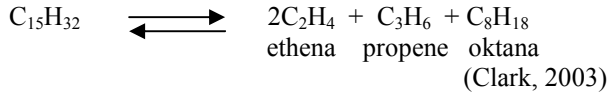
3. *Thermoform catalytic cracking*

Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan minyak terlebih dahulu, kemudian dialirkan hingga mencapai reaktor bed katalitik. Dalam reaktor ini uap akan terpisah dari katalis dan mengirimnya ke kolom fraksinasi.

(SET laboratories, 1999)

Zeolite cracking catalyst

Cracking adalah suatu cara untuk memecah rantai molekul hidrokarbon yang besar menjadi molekul yang lebih kecil. Pemecahan ini menggunakan suhu dan tekanan yang tinggi tanpa adanya katalis, atau suhu dan tekanan yang rendah dengan menggunakan katalis. Keunikan dari reaksi ini adalah molekul hidrokarbon dihancurkan secara acak untuk menghasilkan campuran hidrokarbon yang lebih kecil. Suatu misal hidrokarbon $C_{15}H_{32}$ dapat dipecah de-ngan zeolite menjadi :



Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh ukuran katalis zeolit alam (0,125 mm; 0,3375 mm; 0,425 mm; 0,85 mm; 1,18 mm), dan konsentrasi asam (2N; 3N; 4N) yang digunakan terhadap produk yang akan dihasilkan.

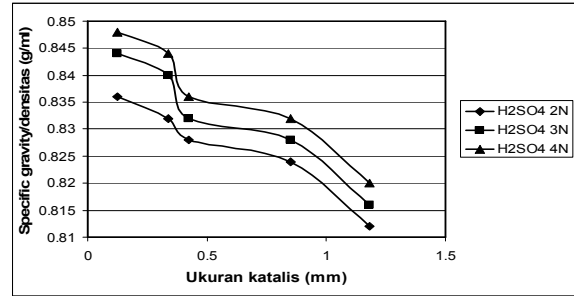
Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu pemanas yang dilengkapi dengan temperatur kontrol dan pendingin balik. Langkah pertama yang dilakukan adalah preparasi katalis zeolit dengan cara menghancurkan hingga sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Kemudian dilakukan proses aktivasi zeolite menggunakan larutan H_2SO_4 pada berbagai konsentrasi. Aktivasi ini bertujuan untuk memurnikan zeolite dari senyawa-senyawa yang terkandung di dalamnya seperti modernite, clipotilotile dan senyawa - senyawa lainnya. Senyawa ini dapat mengganggu atau mengurangi penyerapan ion pada zeolite. Katalis selanjutnya dikeringkan dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu $110^{\circ}C$ selama 2 jam. Proses perengkahan dilakukan seperti pada Gambar 1.

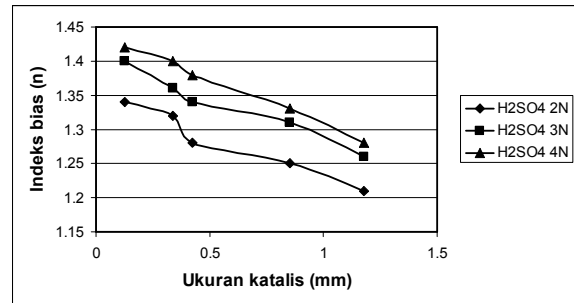
Minyak goreng bekas bersama dengan zeolite yang telah diaktifasi selanjutnya dipanaskan pada temperatur $250^{\circ}C$ dalam labu pemanas yang telah disetting dengan temperatur kontrol. Uap minyak goreng bekas yang telah direnkahkan oleh zeolite kemudian didinginkan, sehingga uap tersebut terkondensasi. Reaksi dihentikan ketika komposisi minyak dalam labu pemanas sudah habis atau sudah tidak mengeluarkan uap cair. Cairan hasil kondensasi kemudian ditampung untuk dianalisa secara kuantitatif dan kualitatif sesuai dengan respon yang diamati. Uji kuantitatif meliputi specific gravity, indeks bias dan viskositas sedangkan Uji kualitatif dilakukan untuk mengetahui senyawa komponen penyusunnya dengan menggunakan *Analysis Gas Chromatograph Mass Spectrofotometry* dan nilai kalor bahan bakarnya dengan *Bom Calorimeter*.

Hasil dan Pembahasan Pengaruh ukuran katalis

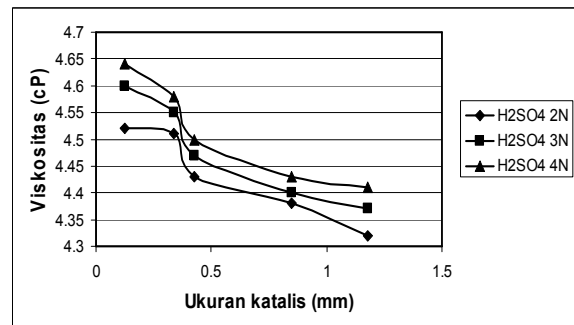
Analisis pengaruh ukuran katalis pada produk biodiesel proses *catalytic cracking* minyak jelantah, untuk hubungannya dengan specific gravity/densitas disajikan pada gambar 2, sedangkan hubungan ukuran katalis dengan Indeks bias disajikan pada gambar 3, dan pada gambar 4 disajikan hubungan ukuran katalis dengan viskositas.



Gambar 2. Grafik Hubungan ukuran katalis zeolite alam (0,125mm; 0,3375mm; 0,425mm; 0,85mm; 1,18mm) dengan spesifik graviti (gr/ml)



Gambar 3. Grafik Hubungan ukuran katalis zeolite alam (0,125mm; 0,3375mm; 0,425mm; 0,85mm; 1,18mm) dengan Indeks Bias (n)



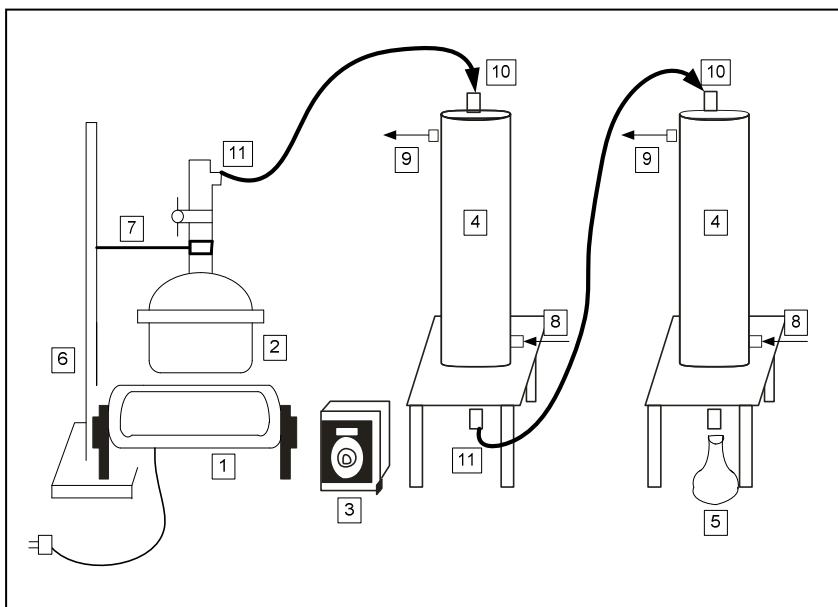
Gambar 4. Grafik Hubungan ukuran katalis zeolite alam (0,125mm; 0,3375mm; 0,425mm; 0,85mm; 1,18mm) dengan viskositas (cP)

Dari ketiga grafik tersebut, terlihat jelas bahwa semakin kecil ukuran katalis maka nilai karakteristik dari spesifik gravity/ densitas, indeks bias dan viskositasnya semakin mendekati nilai spesifikasi dari bahan bakar solar, Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran zeolite, maka ukuran pori zeolite semakin luas, sehingga frekuensi tumbukan dengan atom minyak goreng akan semakin besar dan akibatnya aktifitas perengkahan zeolite dalam memutuskan rantai semakin baik. Hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius: (Levenpiel, 1985)

$$k = A \exp (- Ea/RT)$$

Pengaruh konsentrasi asam

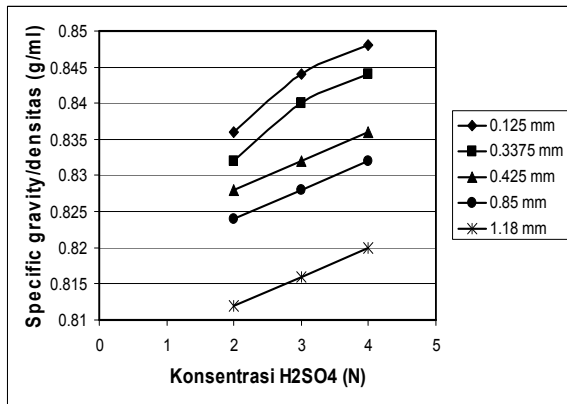
Analisis pengaruh konsentrasi asam pada produk biodiesel proses *catalytic cracking* minyak jelantah, untuk hubungannya dengan specific gravity/densitas disajikan pada gambar 5, sedangkan hubungan ukuran katalis dengan Indeks bias disajikan pada gambar 5, dan pada gambar 7 disajikan hubungan konsentrasi asam dengan viskositas.



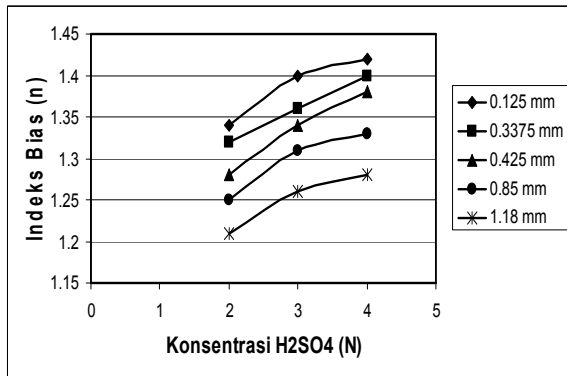
Ket.gambar :

1. Kompor listrik
2. Labu pemanas
3. Termokontrol
4. Pendingin balik
5. Erlenmeyer
6. Statif
7. Klem
8. Air pendingin masuk
9. Air pendingin keluar
10. Aliran uap keluar
11. Aliran uap keluar

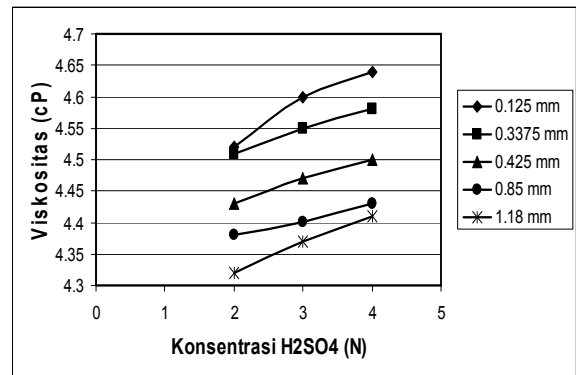
Gambar 1. Rangkaian Alat Pembuatan Biodiesel dengan *Catalytic Cracking*



Gambar 5. Grafik Hubungan konsentrasi H₂SO₄ (2N; 3N; 4N) dengan spesifik graviti/densitas (gr/ml)



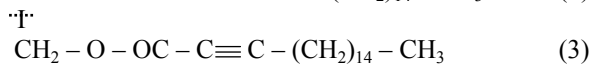
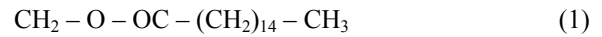
Gambar 6. Grafik Hubungan konsentrasi H₂SO₄ (2N; 3N; 4N) dengan Indeks Bias (n)



Gambar 7. Grafik Hubungan konsentrasi asam (2N; 3N; 4N) dengan viskositas (cP)

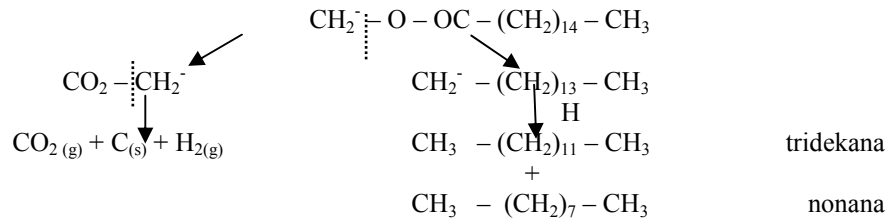
Dari ketiga grafik tersebut, terlihat jelas bahwa semakin besar konsentrasi asam maka nilai karakteristik dari spesifik graviti/densitas, indeks bias dan viskositasnya semakin mendekati nilai spesifikasi dari bahan bakar solar, Hal ini dikarenakan katalis zeolite yang telah diaktivasi oleh asam sulfat mempunyai kemampuan merengkahkan minyak jelantah menjadi biodiesel yang lebih baik.

Perengkahan awal minyak goreng kelapa sawit :

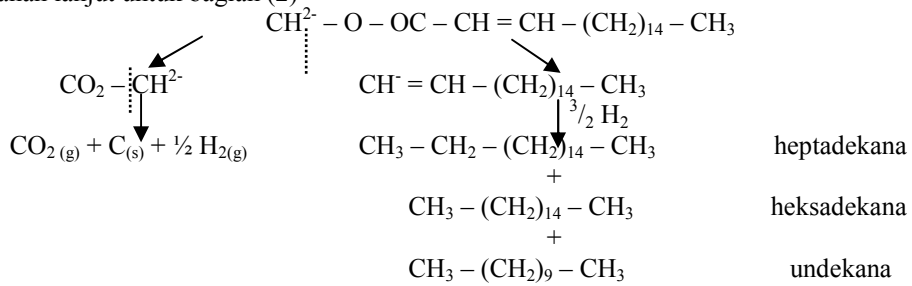


[Perengkahan rantai trigliserida menjadi 3 bagian, yaitu (1), (2), dan (3)]

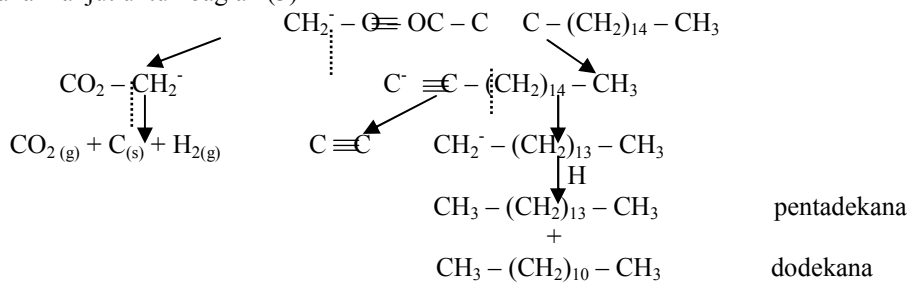
a. Perengkahan lanjut untuk bagian (1)



b. Perengkahan lanjut untuk bagian (2)



c. Perengkahan lanjut untuk bagian (3)



Dari semua hasil tersebut dapat dilihat bahwa kondisi yang memberikan hasil optimum adalah minyak jelantah yang di operasikan dengan katalis zeolit alam yang berukuran 0.125 mm yang sebelumnya diaktivasi oleh asam sulfat dengan konsentrasi 4N.

Selanjutnya hasil optimum ini dianalisis lebih lanjut secara kimiawi untuk diketahui senyawa komponen penyusunnya dengan menggunakan *Analysis Gas Chromathograph Mass Spectrofotometry*, dan nilai kalor bahan bakarnya dengan *Bom Calorimeter*.

Tabel 3. Hasil Analisa GCMS dengan waktu retensi 2,850

No.	Berat Molekul	Rumus Molekul	Nama Senyawa
1	128	C ₉ H ₂₀	Nonana
2	128	C ₉ H ₂₀	Nonana
3	128	C ₉ H ₂₀	Nonana
4	128	C ₉ H ₂₀	Nonana
5	142	C ₁₀ H ₂₂	Dekana

Tabel 4. Hasil Analisa GCMS dengan waktu retensi 4,692

No.	Berat Molekul	Rumus Molekul	Nama Senyawa
1	142	C ₁₀ H ₂₂	Oktana
2	142	C ₁₀ H ₂₂	Oktana
3	156	C ₁₁ H ₂₄	Undekana
4	114	C ₈ H ₁₈	Heksana
5	156	C ₁₁ H ₂₄	Undekana

Tabel 5. Hasil Analisa GCMS dengan waktu retensi 13,875

No.	Berat Molekul	Rumus Molekul	Nama Senyawa
1	197	C ₁₄ H ₂₉	Tetradekana
2	85	C ₁₁ H ₂₃	Undekana
3	212	C ₁₅ H ₃₂	Pentadekana
4	212	C ₁₅ H ₃₂	Pentadekana
5	184	C ₁₃ H ₂₈	Tridekana

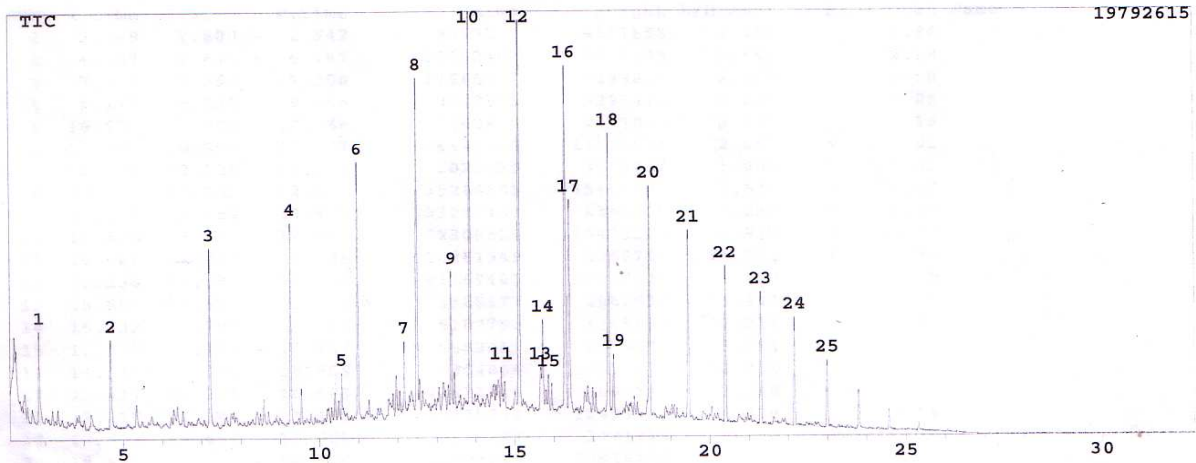
Tabel 6. Hasil Analisa GCMS dengan waktu retensi 15,142

No.	Berat Molekul	Rumus Molekul	Nama Senyawa
1	197	C ₁₄ H ₂₉	Tetradekana
2	85	C ₁₁ H ₂₃	Undekana
3	268	C ₁₇ H ₃₆	Heptadekana
4	240	C ₁₇ H ₃₆	Heptadekana
5	240	C ₁₇ H ₃₆	Heptadekana

Analisa GCMS

Lab.kimia organik FMIPA UGM

*** CLASS-5000 *** Report No. = 1 Data : RIZKY.D01
 Sample : Biodiesel Rizky Widyo Laksito
 ID : 11028
 Operator : dom
 Method File Name : RIZKY.MET



Data : RIZKY.D01
 Sample : Biodiesel Rizky Widyo Laksito
 ID : 11028
 Operator : dom
 Method File Name : RIZKY.MET

**** Peak Report ****

PKNO	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Height	A/H(sec)	MK	%Total	Name
1	2.849	2.800	2.942	9027237	4187558	2.156		1.84	
2	4.687	4.642	4.767	10703467	4052985	2.641		2.18	
3	7.220	7.158	7.300	17665757	8189816	2.157		3.60	
4	9.274	9.233	9.350	18902876	9291422	2.034		3.85	
5	10.575	10.550	10.958	5842839	2071943	2.820		1.19	
6	10.997	10.958	11.067	24442476	11823031	2.067	V	4.98	
7	12.178	12.125	12.242	6025455	3163937	1.904		1.23	
8	12.510	12.242	12.550	39246685	15461963	2.538		8.00	
9	13.384	12.550	13.433	33257453	6351813	5.236	V	6.78	
10	13.875	13.433	13.933	52308524	18436260	2.837	V	10.67	
11	14.667	13.933	15.083	26281949	1846746	14.231	V	5.36	
12	15.136	15.083	15.200	41169403	17937379	2.295	V	8.39	
13	15.667	15.633	15.708	6385677	1852610	3.447		1.30	
14	15.732	15.708	15.775	9189791	4155980	2.211	V	1.87	
15	15.875	15.775	15.917	5582065	1669979	3.343	V	1.14	
16	16.314	16.233	16.358	36904864	15917218	2.319		7.53	
17	16.417	16.358	16.483	22671114	9665196	2.346		4.62	
18	17.418	17.342	17.458	30375752	12993587	2.338		6.19	
19	17.535	17.458	17.600	6573399	2774213	2.369		1.34	
20	18.465	18.392	18.525	22806911	10416452	2.190		4.65	
21	19.459	19.383	19.517	19609823	8700456	2.254		4.00	
22	20.406	20.350	20.458	16084287	7251185	2.218		3.28	
23	21.310	21.242	21.367	12964976	6124873	2.117		2.64	
24	22.172	22.125	22.217	9868011	5012878	1.969		2.01	
25	23.002	22.958	23.050	6532167	3100707	2.107		1.33	
Total				490422956				100.00	

Gambar 8. Hasil Analisa GCMS

Tabel 7. Hasil Analisa GCMS dengan waktu retensi 23,008

No.	Berat Molekul	Rumus Molekul	Nama Senyawa
1	212	C ₁₅ H ₃₂	Pentadekana
2	268	C ₁₉ H ₄₀	Oktadekana
3	212	C ₁₅ H ₃₂	Pentadekana
4	254	C ₁₈ H ₃₈	Heptadekana
5	282	C ₂₀ H ₄₂	Eikosana

Analisa GCMS menunjukkan bahwa luas area terbesar terdapat pada waktu retensi 13,875 dimana produk yang dihasilkan adalah C₁₄H₂₉ (Tetradekana), C₁₁H₂₃

(Undekana), C₁₅H₃₂ (Pentadekana) dan C₁₃H₂₈ (Tri-dekana) yang menyerupai spesifikasi komponen penyusun bahan bakar solar (C₁₀ - C₂₀) (Indartono, 2005)

Dan analisa nilai kalor bahan bakar yang diperoleh pun menunjukkan nilai 37.46 MJ/ kg yang telah mencukupi spesifikasi minimum dari bahan bakar solar. Oleh karena itu dapat diasumsikan bahwa produk biodiesel yang dihasilkan dari minyak goreng bekas dengan proses *catalytic cracking* telah mencukupi batas minimum produk bakar solar.

Tabel 8. Perbandingan Karakteristik Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Spesifikasi Solar

No.	Karakteristik	Hasil Penelitian	Spesifikasi Solar	
			Min	Max
1	Spesifik Gravity, gr / ml	0.848	0.82	0.87
2	Viskositas kinematik, cP	4.64	4.5	5.8
3	Indeks Bias	1.42	1.3	1.45
4	Nilai Kalor, MJ / Kg	37.46	35	-

(Sidjabat, 2004)

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Minyak goreng bekas dapat menjadi produk biodiesel dengan cara perengkahan menggunakan katalis zeolite.
2. Zeolit yang telah diaktivasi dengan asam sulfat mempunyai kemampuan untuk merengkahkan minyak goreng bekas menjadi produk biodiesel.
3. Hasil optimum yang diperoleh dari produk biodiesel adalah yang dioperasikan dengan katalis zeolit alam yang berukuran 0.125 mm yang sebelumnya diaktivasi oleh asam sulfat dengan konsentrasi 4N.
4. Dari analisa GCMS didapatkan senyawa dengan komponen C₁₂-C₂₀ yang menyerupai komposisi senyawa penyusun bahan bakar solar (C₁₀-C₂₀)
5. Analisa nilai kalor bahan bakar yang diperoleh menunjukkan nilai 37.46 MJ/ kg yang telah mencukupi spesifikasi minimum dari bahan bakar solar.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rizky Widyo Laksito dan Tri Wulandari yang telah membantu terlaksananya penelitian ini hingga selesai.

Daftar Pustaka

1. BAPEDALDA Kota Makassar, (2003), "Pengembangan Industri Biodiesel Sawit", Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Kota Makassar, Sulawesi Selatan
2. Bismo, S., (2004), "Prospek Ozonisasi Etil Ester dari Beberapa Minyak Nabati untuk Bahan Bakar Mesin Diesel", *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses Teknik Kimia*, ISSN 1411 – 4216, Universitas Diponegoro Semarang
3. Budi, B. (1999), "Pirolisis Minyak Goreng Bekas Menjadi Bahan Bakar Alternatif Dengan Katalisator NaOH", *Laporan Penelitian*, Jurusan Teknik Kimia UNTAG. Semarang.
4. Clark, Jim, (2003), "Cracking Alkanes", http://www.chemguide.co.uk/organicprops/cracking_alkanes_thermal_and_catalytic.htm.
5. Djaeni, M., Suherman, Robyansah dan Hermawan H., (2004), "Transesterifikasi Minyak Nabati Bekas Menjadi Biodiesel Menggunakan Katalis Zeolite", *Prosiding Seminar Nasional Kejuangan Teknik Kimia*, ISSN 1693 – 4393, UPN "Veteran". Yogyakarta

6. Fessenden, Ralph J and Fessenden Joan S., (1997), "*Kimia Organik Jilid 2*", Penerbit Erlangga, Jakarta
7. Gates, B.C, dkk, (1977), "*Chemistry of Catalyst Processes*", New York : Academic.
8. Germain, J. E., (1969), "*Catalytic Conversion of Hydrocarbons*", Academic Pres Inc.
9. Harian Kompas, "Biodiesel Jelantah dan Pelumas Sawit", <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0110/22/daerah/bo25.htm>, 22 Oktober 2001
10. Indartono, Yuli, (2005), "Minyak Tanah Sebagai Pengganti Solar", <http://www.beritaipstek.com/zberita-beritaipstek>
11. Ketaren, S., (1986), "*Minyak dan Lemak Pangan*", Indonesia : UI – Press
12. Kusumo, Priyono dan M. F. Sri Mulyaningsih, (2004), "Kemungkinan Bahan Bakar Minyak Dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Dekarboksilasi", *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses Teknik Kimia*, ISSN 1411 – 4216, UNDIP Semarang
13. Laniwati M., (1999), "Isomerisasi 1 – buten menggunakan zeolite alam asal malang Jawa Timur Sebagai Katalis", <http://www.lp.itb.ac.id/product/vol31no2/melia.html>.
14. Othmer, Kirk, (1978), "*Chemical Engineering Enciclopedia*", Volume 11, Mc Graw Hill Book Company, Singapore.
15. Sidjabat, O., (2004), "Pengolahan minyak goreng bekas menjadi Biodiesel", *Lembaran Publikasi*, LEMIGAS Jakarta
16. SET Laboratories, Inc., (1999), "Catalytic Cracking", <http://www.setlaboratories.com/Catcracking.htm>.
17. Setiawan, R. W., (1999), "Dekarboksilasi Sabun Dari Minyak Goreng Bekas Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Pereaksi Soda Api", *Laporan Penelitian*, Jurusan Teknik Kimia UNTAG Semarang
18. Subagjo, (1998), "Zeolite", Laboratorium Konversi Termokimia, Institut Teknologi Bandung Indonesia.
19. Sumber Bratako, (2002), "*Daftar Harga Katalis*", Supplier Bahan Kimia. Semarang.
20. Supranto, Suhardi dan Purnomo, (2003), "Rancangan Proses Produksi Biodiesel Bahan Bakar Mesin Diesel dari Limbah Proses Pengolahan Minyak Goreng Berbasis Crude Palm Oil", *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses Teknik Kimia*, ISSN 1411 – 4216, Universitas Diponegoro Semarang
21. Tahar,A dan Soerawidjaja, T.H., (2003), "Evaluasi Teknis Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah," *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses Teknik Kimia*, ISSN 1411 – 4216, UNDIP Semarang
22. The Breck Group, (1975), "Heterogeneous Catalysis and Zeolite Synthesis", <http://www.umich.edu/~becklab/TheBreckGroup-CurrentResearch.htm>.

