

## OPTIMASI KOMPOSISI KATALIS CAMPURAN $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{H}_2\text{SO}_4$ PEKAT DALAM REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK GORENG BEKAS SEBAGAI BAHAN BIODIESEL

Zulmanelis Darwis

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Rawamangun 13220, Jakarta

\*Corresponding author: Zulmanelis@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian mengenai optimasi komposisi  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat dalam reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas sebagai bahan biodiesel, bertujuan untuk mendapatkan komposisi katalis campuran  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat yang optimum di dalam mengkatalisis reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas dengan metano sebagai bahan biodiesel. Komposisi optimum diperoleh dengan membandingkan jumlah gliserol bebas yang dihasilkan pada reaksi transesterifikasi menggunakan katalis campuran pada berbagai komposisi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah gliserol terbanyak dihasilkan dari reaksi menggunakan campuran katalis dengan perbandingan 1 : 1 yaitu sebanyak 2,6 gram dari jumlah sampel 25 gram. Uji kualitas terhadap produk memberi hasil : viskositas 13,37; bilangan asam 0,62, densitas 0,9068(15<sup>0</sup>C) dan 0,8840 (40<sup>0</sup>C). Dari nilai bilangan asam dan densitas dapat dikatakan produk yang dihasilkan sudah memenuhi standar sebagai bahan biodiesel. Sedangkan untuk nilai viskositas belum bisa ditarik kesimpulan karena perlu pengujian dalam bentuk campuran antara produk reaksi dengan solar.

*Kata kunci : transesterifikasi, biodiesel, katalis*

### 1. Pendahuluan.

Tradisi masyarakat Indonesia dalam menggoreng umumnya menggunakan cara *deep frying*, atau merendam seluruh bahan dalam minyak panas. Dengan cara ini akan dihasilkan minyak bekas pada akhir proses penggorengan. Minyak bekas ini biasanya tidak dibuang tapi digunakan kembali untuk menggoreng berikutnya. Penggunaan minyak goreng secara berulang dapat mengganggu kesehatan karena proses pemanasan minyak dapat menyebabkan terjadi reaksi oksidasi yang menghasilkan senyawa-senyawa radikal bebas seperti hidroperoksida dan peroksida. Radikal bebas akan memicu terjadinya reaksi lebih lanjut dan menghasilkan berbagai senyawa kimia yang beberapa diantaranya bersifat karsinogenik dan beracun<sup>(1)</sup>. Sebaliknya bila minyak goreng bekas langsung dibuang ke saluran pembuangan akan menimbulkan masalah lingkungan. Pertama pada suhu rendah akan menyumbat pipa pembuangan, kedua menghalangi masuknya sinar matahari yang sangat dibutuhkan oleh biota perairan<sup>(2)</sup>. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk dapat memanfaatkan minyak goreng bekas

ini. Salah satu pemanfaatan minyak bekas adalah sebagai bahan biodiesel dengan cara mengubah menjadi metil ester melalui proses transesterifikasi. Reaksi transesterifikasi dapat berlangsung baik dalam suasana asam maupun basa<sup>(3)</sup>. Karena sifat reaksi yang ireversibel, katalis basa lebih umum digunakan. Namun dengan bahan dasar minyak bekas yang mengandung asam lemak bebas tinggi penggunaan katalis basa mendorong terjadinya reaksi penyabunan, yang akan menyulitkan dalam proses pengolahan berikutnya. Dan juga akan mengurangi rendemen hasil<sup>(4)</sup>. Sedangkan penggunaan asam yang biasanya adalah asam pekat, akan menghasilkan limbah yang bersifat korosif<sup>(2)</sup>.

Yong-min Liang dan Yong-xian Ma<sup>(5)</sup> menginformasikan bahwa campuran Feriklorida /asam sulfat pekat dapat digunakan sebagai katalis reaksi esterifikasi. Ditinjau dari mekanisme reaksi, proses esterifikasi dan transesterifikasi berlangsung dengan mekanisme yang sama yaitu diawali dengan tahap protonasi membentuk karbokation<sup>(3)</sup>. Hal ini berarti bahwa katalis

campuran  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  juga dapat digunakan sebagai katalis reaksi transesterifikasi.

Berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini dilakukan reaksi transesterifikasi minyak bekas menggunakan katalis campuran  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat dalam berbagai perbandingan untuk mendapatkan komposisi optimum.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mendapatkan komposisi optimum katalis campuran  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dalam mengkatalis reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas, yang dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Jakarta. Minyak goreng bekas yang digunakan diperoleh dari sebuah rumah makan di Jakarta

### 2.2 Alat Dan Bahan

Alat yang dipakai adalah : Alat Refluks yang dilengkapi magnetik stirrer, Alat Destilasi, Heating Mantle, Buret, Stopwatch, Piknometer, Botol timbang, Viskometer Ostwald, serta alat gelas lain yang biasa digunakan di Laboratorium kimia.

Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah : metanol p.a., katalis  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  teknis,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, Petroleum eter,  $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ ,  $\text{MgSO}_4$  anhidrat,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ ,  $\text{KOH}(\text{s})$ ,  $\text{NaOH}(\text{s})$ ,  $\text{HCl}(\text{aq})$  37%,  $\text{KIO}_4(\text{s})$ ,  $\text{KI}(\text{aq})$  15%,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ , Indikator pp, Indikator Kanji .

### 2.3 Prosedur Penelitian

#### *Tahap pendahuluan*

Pada tahap ini dilakukan pemisahan sampel dari kotoran bekas menggoreng dengan cara disaring. Selanjutnya sampel dicuci dengan air dan dihitung bilangan asamnya. Pencucian dilakukan beberapa kali sampai tidak terjadi lagi penurunan bilangan asam. Tujuan pencucian adalah untuk menghilangkan asam lemak rantai pendek.

#### *Sintesis Metil ester*

Sebanyak 25,0 g minyak goreng bekas dicampurkan dengan 45,0 g metanol (p.a.) serta masing-masing 0,1507 gram kristal  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dan 0,1509  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat (untuk perbandingan 1:1) sebagai katalis campuran ke dalam labu erlenmeyer<sup>(6)</sup>. Campuran direfluks selama 5 jam pada suhu sekitar 68°C. Perlakuan ini diulangi untuk komposisi katalis campuran  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat sebesar 1:2, 1:3, 2:1, 3:1. Setelah reaksi selesai, campuran reaksi didinginkan sampai temperatur ruang dan terjadi dua lapisan yaitu lapisan atas (metil ester) dan lapisan bawah (gliserol). Kedua lapisan tersebut dipisahkan. Larutan pada lapisan atas diekstraksi dengan air sedangkan larutan pada lapisan bawah diekstraksi dengan 20 mL petroleum eter sebanyak 2x. Fase organik yang dihasilkan digabung dengan fraksi metil ester sebelumnya, sedangkan fase air digabungkan dengan fraksi gliserol sebelumnya. Volume fraksi gliserol yang diperoleh dicatat dan ditentukan kadar gliserol bebas dengan metode iodometri menggunakan oksidator  $\text{KIO}_4$ . Selanjutnya fraksi metil ester ditambahkan 10 mL larutan  $\text{NaHCO}_3$  1% dan kemudian dicuci dengan air sampai netral. Setelah air dipisahkan fraksi organik (metil ester) dikeringkan dengan kristal  $\text{Mg}$ -sulfat anhidrat. Perlakuan ini diulang untuk komposisi katalis campuran  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat yang lain

#### *Penentuan Rendemen Metil Ester*

Produk campuran metil ester yang diperoleh dipanaskan dalam oven pada suhu  $\pm 80^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Selanjutnya produk campuran metil ester didinginkan hingga suhu kamar dan ditimbang dengan neraca analitis. Pemanasan dilakukan berulang hingga didapatkan massa produk campuran metil ester yang konstan ( $\pm 0,50$  mg).

#### *Penentuan kadar gliserol bebas dalam fraksi air*

Sebanyak 10 mL larutan sampel aliquot dimasukkan kedalam erlenmeyer, ditambahkan 10 mL larutan  $\text{KIO}_4$  0,01 M dan ditutup dengan kaca masir. Campuran dikocok perlahan dan didiamkan selama 1

jam agar reaksi oksidasi gliserol dengan KIO<sub>4</sub> berlangsung sempurna. Setelah 1 jam ditambah 5 mL larutan NaHCO<sub>3</sub> 1% dan 20 mL air hingga pH netral (7-8). Selanjutnya, ditambah 2 mL larutan KI 15%, dikocok perlahan dan dititrasi dengan larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,1 M hingga berwarna kuning kecoklatan. Kemudian ditambahkan 1 mL indikator kanji dan dititrasi kembali dengan larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,01 M hingga warna biru keunguan dari kompleks iodium pati benar-benar hilang. Pengujian juga dilakukan untuk larutan blanko dan masing-masing dilakukan secara duplo.

#### *Pengujian Kualitas Metil Ester<sup>(7)</sup>*

##### 1) Uji Bilangan Asam

Sebanyak 2,0134 gram sampel dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer dan ditambahkan dengan 20 mL etanol 95% netral, direfluks selama 1 jam. Selanjutnya larutan didinginkan hingga suhu ruang, kemudian ditambahkan 3 tetes indikator fenolftalein dan dilakukan titrasi dengan larutan standar NaOH 0,1 N hingga warna merah muda tetap (tidak berubah dalam 15 detik).

##### 2) Uji Bilangan Penyabunan

Sebanyak 2,0185 gram sampel dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 250 mL. Kemudian ditambahkan 25 mL KOH dalam alkohol 95 % dengan menggunakan pipet gondok dan direfluks selama 1 jam sambil diaduk. Selanjutnya larutan didinginkan hingga suhu ruang dan ditambahkan tiga tetes indikator fenolftalein, kemudian dilakukan titrasi dengan larutan HCl 0,5 N hingga warna larutan menjadi tak berwarna (titik akhir). Pengujian juga dilakukan untuk blanko (tanpa sampel) sebagai pembandingan dan dilakukan secara duplo.

##### 3) Uji Densitas (15°C)

Alat yang digunakan untuk menentukan densitas dari sampel adalah piknometer. Piknometer yang telah dikeringkan ditimbang dalam keadaan kosong. Setelah itu diisi dengan sampel metil ester hingga meluap dan tak ada gelembung udara. Piknometer ditutup

dan direndam dalam bak air bersuhu 15°C dan dibiarkan pada suhu konstan selama 30 menit.

##### 4) Uji Densitas (40°C)

Sama dengan penentuan densitas pada suhu 15°C hanya suhunya diubah menjadi 40°C.

##### 5) Uji Viskositas (40°C)

Metode yang digunakan untuk mengukur viskositas sampel adalah metode Ostwald. Viskometer diisi dengan cairan sampel melalui reservoir (A) sehingga kalau cairan ini dibawa ke reservoir (B), direservoir (A) masih tersisa kira-kira setengahnya. Viskometer diletakkan pada penangas air dengan suhu 40°C dalam posisi vertikal dan dibiarkan pada suhu konstan selama 10 menit. Ujung reservoir (B) dihisap sehingga cairan terbawa ke reservoir (B) sampai sedikit di atas garis tanda batas atas. Kemudian cairan dibiarkan mengalir dan waktu yang dibutuhkan dari batas atas sampai bawah dicatat. Sebagai pembandingan ditentukan juga waktu alir untuk air (t<sub>0</sub>) pada suhu yang sama dan dengan menggunakan viskometer yang sama.

### **3. Hasil dan Pembahasan**

#### 3.1 Pencucian sampel dan pengujian bilangan asam

Sampel yang digunakan adalah minyak goreng bekas yang umumnya mempunyai bilangan asam tinggi. Dalam penelitian ini bilangan asam sampel adalah 0,9 yang lebih besar dibandingkan bilangan asam minyak goreng segar yaitu sekitar 0,3. Hal tersebut mengindikasikan tingginya kandungan asam lemak bebas rantai pendek maupun rantai panjang dalam sampel minyak goreng bekas, yang terbentuk selama proses pemanasan minyak goreng. Asam karboksilat rantai pendek terbentuk sebagai hasil oksidasi rantai hidrokarbon tak jenuh dari asam lemak pembangun minyak (trigliserida). Sedangkan asam lemak bebas terbentuk sebagai hasil hidrolisis minyak<sup>(8)</sup>. Dalam reaksi transesterifikasi berkatalis asam, asam lemak rantai panjang dapat mengalami reaksi esterifikasi dengan metanol menjadi metil

ester. Namun adanya asam-asam lemak rantai pendek tidak dibutuhkan dalam sintesis metil ester sebagai bahan biodiesel, malah sebaliknya dapat menurunkan kualitas biodiesel yang dihasilkan khususnya nilai viskositas<sup>(9)</sup>. Oleh karena itu sebelum dilakukan reaksi transesterifikasi asam lemak rantai pendek perlu dihilangkan terlebih dahulu. Asam lemak rantai pendek bersifat polar sehingga dapat dihilangkan dengan pencucian menggunakan air. Dan setelah pencucian delapan kali diperoleh nilai yang bilangan asam yang konstan sebesar 0,72. Pencucian juga menyebabkan terjadi perubahan warna minyak dari hitam kecoklatan menjadi coklat kemerahan. Ini menunjukkan proses pencucian juga menghilangkan komponen-komponen sekunder hasil reaksi selama pemanasan.

### 3.2 Transesterifikasi

Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis campuran dengan berbagai komposisi menghasilkan produk yang dapat dilihat pada tabel 1.

Dari tabel dapat dilihat bahwa massa produk hasil reaksi hampir sama dengan

jumlah sampel minyak goreng yang digunakan yaitu 25 gram. Hal ini dapat dijelaskan karena perubahan dari satu molekul trigliserida menjadi tiga molekul metil ester dari sudut bobot molekul hanya berbeda dua satuan masa atom hidrogen. Sedangkan perubahan asam lemak bebas menjadi metil ester akan meningkatkan bobot molekul. Produk yang diperoleh bukanlah campuran metil ester saja, tetapi ada kemungkinan masih tercampur dengan sisa minyak goreng yang belum bereaksi. Hal ini berarti massa produk belum dapat dijadikan indikator keefektifan katalis. Penetapan kadar metil ester yang terdapat dalam campuran juga sulit dilakukan karena sifat metil eter dan minyak goreng relatif sama sehingga sulit dipisahkan. Keberhasilan reaksi dapat diketahui dari jumlah gliserol yang dihasilkan dalam reaksi. Selain itu keberhasilan reaksi juga dapat dilihat dari nilai viskositas. Karena pada prinsipnya perubahan trigliserida menjadi metil ester bertujuan menurunkan kandungan gliserol sehingga nilai viskositas rendah dan dapat digunakan sebagai bahan biodiesel.

Tabel 1. Massa produk, massa gliserol dan viskositas pada berbagai komposisi campuran katalis

No	Perb. Katalis Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .xH <sub>2</sub> O dan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pekat	Massa Produk (gram)		Massa gliserol (gram)	Viskositas
1	1 : 3	25,42	25,57	2,22	14,65
		25,72		2,57	
2	1 : 2	25,26	25,23	2,32	14,38
		25,20		2,54	
3	1 : 1	24,43	24,67	2,62	13,37
		24,91		2,60	
4	2 : 1	25,93	25,91	1,96	14,93
		25,89		2,26	
5	3 : 1	25,72	25,85	1,80	15,88
		25,97		1,23	

Jumlah gliserol tertinggi adalah pada penggunaan katalis dengan perbandingan satu banding satu yaitu sebanyak 2,61 gram dengan nilai viskositas terendah 13,37. Mekanisme lengkap proses transesterifikasi menggunakan katalis campuran ini belum diketahui secara pasti. Namun dari data yang diperoleh dapat diduga bahwa pada penggunaan katalis dengan komposisi  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  rendah, aktivitas katalitik paling utama ditentukan oleh katalis tersebut. Sedangkan katalis asam sulfat dapat memicu reaksi balik. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Yong Wan<sup>(10)</sup> yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat sampai 4 % dapat meningkatkan rendemen hasil, yang kemudian menurun dengan penggunaan asam sulfat lebih dari 4 %. Pada komposisi katalis  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  lebih besar, kedua katalis berperan dalam aktivitas katalitik. Dalam mekanisme reaksi yang dikatalisis ion logam, peran logam analog dengan proton pada mekanisme katalisis asam ( $\text{H}^+$ )<sup>(11)</sup>. Jadi aktivitas katalitik ion logam berkaitan dengan sifat ion logam tersebut sebagai asam Lewis. Karena mekanisme reaksi transesterifikasi menyerupai mekanisme hidrolisis, diduga mekanisme katalisis oleh ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  analog dengan mekanisme yang dijabarkan oleh Kroll yaitu melalui pembentukan khelat dipermukaan katalis  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

Berkurangnya perolehan rendemen dengan peningkatan jumlah  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dalam komposisi katalis dapat terjadi karena besarnya halangan sterik yang terjadi dalam zat antara khelat yang terbentuk. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Yong-min Liang<sup>(3)</sup> yang menyebutkan bahwa katalis campuran  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat memberikan perolehan ester asam-asam organik rantai pendek relatif lebih besar dibandingkan perolehan ester dari asam organik rantai panjang.

### 3.3 Kualitas Metil Ester sebagai Biodiesel

Standar Nasional Indonesia mempersyaratkan beberapa parameter untuk biodiesel (SNI-04-7182-2006). Pada penelitian ini parameter yang diukur adalah bilangan asam dan viskositas. Hasil

pengujian terhadap produk reaksi transesterifikasi menggunakan komposisi campuran katalis optimum (satu:satu) menunjukkan :

- Bilangan asam produk adalah 0,62 . sedangkan nilai yang ditentukan oleh SNI adalah 0,82. Berarti dari sudut bil. asam produk sudah memenuhi syarat sebagai bahan biodiesel.
- Viskositas adalah 13,4 . Nilai yang dipersyaratkan oleh SNI untuk viskositas biodiesel adalah antara 2,3 – 6,0. Dari nilai viskositas ini belum bisa diambil kesimpulan apakah produk dapat digunakan sebagai bahan biodiesel. Karena Yang dipersyaratkan dalam SNI adalah viskositas biodiesel yang merupakan campuran metil ester dan solar. Nilai viskositas hasil pengujian menjadi petunjuk perbandingan campuran produk metil ester dan solar dalam biodiesel. Viskositas produk yang rendah akan meningkatkan prosentase produk metil ester dalam campuran biodiesel. Sebagai gambaran sampai saat ini pemerintah baru merencanakan mensubstitusi solar dengan metil ester sebesar 7 sampai 10 % . Jadi bila dalam komposisi 10 % metil ester produk dalam campuran dengan solar masih memiliki viskositas lebih besar dari yang dipersyaratkan ,maka dapat dikatakan produk tidak memenuhi syarat. Sebaliknya bila dalam komposisi tersebut ternyata memiliki nilai viskositas lebih kecil dapat disimpulkan produk sudah memenuhi persyaratan.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa katalis campuran dengan perbandingan 1: 1 merupakan komposisi optimal dalam mengkatalisis reaksi transesterifikasi yang ditunjukkan oleh produk gliserol bebas paling tinggi (2,6 gram) dan viskositas paling rendah yaitu **13,4**. Uji Karakteristik terhadap produk pada penggunaan komposisi katalis optimum adalah bilangan asam: **0,62**. Parameter ini telah memenuhi persyaratan sebagai bahan

biodiesel sesuai SNI. Sedangkan untuk viskositas perlu pengujian lebih lanjut mengenai berapa komposisi produk dan solar yang dapat memenuhi standar viskositas

sesuai SNI. Bila viskositas diperoleh pada komposisi produk yang lebih rendah dari program pemerintah maka dapat dikatakan produk belum memenuhi persyaratan.

### Daftar Pustaka

1. Budijanto. 1993. "Minyak Goreng Jelantah", Sadar Pangan dan Gizi, vol. 3 (2) Carey
2. Prihandana, R., R. Hendroko & M. Munamin. 2006. Menghasilkan Biodiesel Murah : Mengatasi Polusi & Kelangkaan BBM. PT. Agro Media Pustaka, Jakarta : 1-119.
3. Fessenden, R.J. & J.S. Fessenden. 1994. Kimia Organik, edisi ketiga, jilid 1 dan 2. Terj. dari Organic Chemistry, third edition, oleh Pudjaatmaka, A.H. Erlangga, Jakarta.
4. Kasdadi, I. J. 2003. Penggunaan Katalis asam Basa Untuk Konversi Trigliserida Dalam Minyak Jelantah Menjadi FAME (Fatty Acid Methyl Ester), Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung, vol. 2 No. 1, Mei 2003
5. Liang, Yong-min. 2004. "Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.xH<sub>2</sub>O/concentrated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : An Efficient Catalyst for Esterification". Journal of Chemical Research : 226-227.
6. Febianti. 2006. "Efektivitas Katalis Tunggal Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.xH<sub>2</sub>O, Katalis Tunggal H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat serta Katalis Campuran Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.xH<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat pada Sintesis Metil Ester Sebagai Bahan Bakar Biodiesel". Skripsi. Jurusan Kimia FMIPA-Universitas Negeri Jakarta.
7. Underwood, A.L. & R.A. Day Jr. 1986. Analisis Kimia Kuantitatif, edisi kelima. Terj. dari Quantitative Analysis, fifth edition, oleh Pudjaatmaka, A.H. Erlangga, Jakarta
8. Ketaren, S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. UI Press, Jakarta.
9. Sidjabat, O. 2003. "Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar Setara Solar dengan Proses Transesterifikasi". Prosiding Seminar Nasional Daur Bahan Bakar. Jakarta, 27 Agustus 2003.
10. Wang, Yong. 2006. "Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil". Journal of Molecular Catalysis A: Chemical . vol. 252 : 107-112.
11. Basolo, F. & R.G. Pearson. 1967. Mechanisms of Inorganic Reactions : A Study of Metal Complexes in Solution, second edition. John Willey & Sons Inc, New york : 625-633.