

PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA DENGAN KATALIS KOH, Ca(OH)₂, DAN Mg(OH)₂ MENGGUNAKAN GELOMBANG MIKRO (*MICROWAVE*) SECARA BATCH

R. Jazilah Qaudry, N. Arifah, M. Mahfud*

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail: mahfud@chem-eng.its.ac.id

Biodiesel merupakan bioenergi atau bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi-transesterifikasi. Proses pembuatan biodiesel dapat dilakukan dengan metode pemanasan konvensional dan metode pemanasan *microwave*. Dengan radiasi *microwave*, maka waktu yang dibutuhkan saat proses transesterifikasi lebih singkat dibandingkan dengan konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk membuat biodiesel dari minyak kelapa secara *batch* melalui proses transesterifikasi methanol dengan menggunakan radiasi *microwave* dengan katalis KOH, Ca(OH)₂, dan Mg(OH)₂ dan mempelajari pengaruh konsentrasi tiap katalis, daya, dan waktu yang digunakan terhadap yield dan viskositas biodiesel yang dihasilkan. Reaksi dilakukan sesuai dengan variabel waktu yang ditentukan, yaitu 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 menit. Variabel konsentrasi tiap katalis adalah 0,01; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 (% berat) dari berat minyak kelapa dengan perbandingan *mol ratio* 1 (minyak) : 9 (methanol) serta variasi daya *microwave* (100, 264, dan 400 Watt). Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu persiapan, transesterifikasi, pemisahan, pencucian, dan tahap analisis hasil biodiesel yaitu analisis densitas, viskositas dan %FFA. Standar Nasional Indonesia (SNI) menjadi *standard* dari pembuatan biodiesel dari penelitian. Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi konsentrasi katalis maka *yield*-nya akan semakin tinggi dan viskositasnya juga menurun. Hal ini juga berlaku pada variabel daya dan waktu. Dimana ketiga variabel tersebut memiliki pengaruh terhadap nilai viskositas dan *yield* yang dihasilkan. Nilai *yield* tertinggi dari variabel di atas adalah 93,225 % pada katalis KOH dengan konsentrasi 0,2 %, daya 400 Watt, dan waktu 150 detik, dimana viskositasnya sebesar 3,45 cSt. Hal ini menunjukkan bahwa pembuatan Biodiesel menggunakan *microwave* lebih cepat waktunya dan lebih sedikit konsentrasi katalis yang digunakan. Biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan katalis Ca(OH)₂ dan Mg(OH)₂ menghasilkan *yield* di bawah 10 % dan viskositas di atas 25 cSt.

Kata kunci: Biodiesel, Minyak Kelapa, Transesterifikasi, *Microwave*

I. PENDAHULUAN

Energi adalah salah satu kebutuhan dasar dari semua kebutuhan industri dan rumah tangga dalam lingkup sosial. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi penduduk, pengembangan wilayah dan pembangunan dari tahun ke tahun, kebutuhan akan pemenuhan energi di seluruh sektor secara nasional juga semakin besar. Hasil kajian Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral memaparkan bahwa total konsumsi

energi per kapita Indonesia meningkat setiap tahunnya dengan pertumbuhan di atas 5% (Kementerian ESDM, 2010).

Salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar minyak adalah biodiesel. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar diesel yang baik bila dibandingkan dengan bahan bakar diesel berbasis petroleum, karena lebih sedikit menyebabkan kerusakan lingkungan. Kelebihan lain yang dimiliki biodiesel adalah biodiesel menghasilkan lebih sedikit asap dan partikulat, mempunyai angka setana yang lebih tinggi, menghasilkan emisi karbon monoksida dan hidrokarbon lainnya lebih sedikit, dapat diperbarui, dan tidak beracun (Agarwal dan Das, 2001).

Biodiesel mempunyai titik beku yang lebih rendah dibanding minyak nabati, sehingga dapat digunakan lebih rendah dibanding minyak nabati, sehingga dapat digunakan di daerah-daerah bersuhu rendah. Biodiesel ini mempunyai sifat fisik yang mirip dengan minyak diesel mineral sehingga langsung dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti minyak diesel (Widodo dkk, 2011). Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati, minyak hewani atau dari minyak goreng bekas (daur ulang).

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak kelapa. Digunakan minyak kelapa karena karakteristik minyak kelapa yang baik dan mendukung untuk diolah sebagai bahan bakar renewable.

Reaksi transesterifikasi digunakan dalam proses pembuatan biodiesel. Pemilihan dan penggunaan katalis dalam proses transesterifikasi merupakan bagian yang sangat penting. Variable yang digunakan dalam pemilihan katalis adalah perbedaan persen katalis berbanding berat minyak. Katalis yang digunakan adalah katalis padat KOH, Ca(OH)₂, dan Mg(OH)₂. Dipilih menggunakan katalis padat karena katalis padat mempunyai kecenderungan mudah untuk berpisah tanpa menggunakan pemisahan yang kompleks. Digunakan tiga titik pengambilan variable konsentrasi untuk mengetahui konsentrasi mana yang dapat memberikan hasil paling baik dalam proses transesterifikasi. Penggunaan katalis dapat berpengaruh terhadap hasil yang didapatkan. Dari segi lama waktu reaksi bergantung pada karakteristik masing-masing katalis.

Metode batch yang digunakan ini lebih baik dibandingkan dengan metode kontinu sebab kemudahan dalam mengontrol reaksinya, serta tidak membutuhkan banyak peralatan. Proses tahap transesterifikasi merupakan bagian terpenting pada rangkaian proses pemurnian pasca reaksi.

Pemanasan menggunakan gelombang mikro mempunyai karakteristik yang berbeda dengan pemanasan konvensional karena panas dibangkitkan secara internal akibat getaran molekul-molekul bahan yang ingin dipanaskan oleh gelombang mikro. Pemilihan wadah sampel sangat berpengaruh dalam pemanasan, maka dipilihlah bahan yang dapat ditembus oleh gelombang mikro sehingga gelombang mikro dapat diteruskan dan langsung memanaskan bahan sampel terlebih dahulu memanaskan wadahnya. Sehingga reaksi berjalan lebih cepat dan waktu reaksi juga akan lebih singkat.

Biodiesel yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan standar kualitas biodiesel sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI 7182-2012). Uji tersebut meliputi densitas, viskositas, dan yield biodiesel. Diharapkan penelitian ini akan memberikan kontribusi yang cukup berarti bagi ilmu pengetahuan, khususnya di bidang energi, dalam hal penemuan sumber energi alternatif dan dapat lebih dikembangkan lagi sehingga dapat diperoleh kualitas biodiesel yang lebih bagus dengan proses yang lebih mudah.

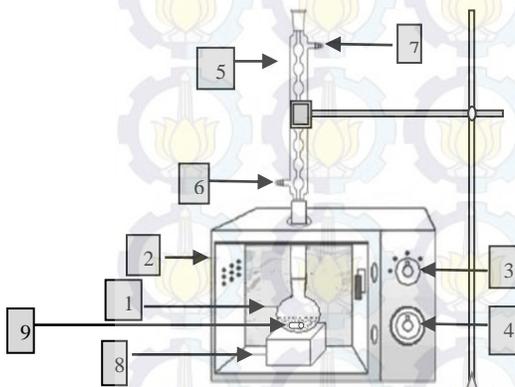
II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahap Pretreatment

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak kelapa dengan merk Barco. Sebelum digunakan, minyak kelapa diukur densitas, viskositas, %FFA, berat molekulnya.

B. Deskripsi Peralatan

Skema alat pada tahap trans-esterifikasi dengan pemanas microwave adalah sebagai berikut :



Keterangan gambar :

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Reaktor labu leher satu | 6. Aliran air pendingin masuk |
| 2. Microwave | 7. Aliran air pendingin keluar |
| 3. Kontrol daya | 8. Alas labu leher satu |
| 4. Kontrol waktu | 9. <i>Magnetic stirrer</i> |
| 5. Kondensor reflux | |

C. Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam pembuatan biodiesel dari minyak kelapa adalah proses reaksi trans-esterifikasi

dengan menggunakan radiasi gelombang *micro* dari *microwave*. Adapun langkah-langkah pengerjaannya diawali dengan menimbang katalis yang digunakan untuk proses reaksi trans-esterifikasi sesuai variabel (0,01%; 0,05%; 0,1%; 0,15%; 0,2%; 0,25% (% berat) untuk masing-masing jenis katalis yakni katalis KOH, Ca(OH)₂, dan Mg(OH)₂). Mencampur dan mengaduk katalis dengan metanol sebanyak 25ml. Perbandingan mol minyak kelapa : metanol yang digunakan yaitu 1:9. Menambahkan minyak kelapa 50ml ke dalam larutan metanol dan katalis yang telah dicampur sebelumnya. Mengatur daya *microwave* sesuai dengan variabel (100; 264; dan 400 Watt). Mengatur stirer pengadukan. Memulai reaksi trans-esterifikasi di dalam *microwave* dengan mengatur waktu satu jam pada pengatur waktu *microwave*.

Setelah proses trans-esterifikasi selesai, pengadukan stirer dihentikan. Memindahkan hasil proses reaksi ke dalam corong pemisah. Mendinginkan campuran selama 12-24jam hingga terbentuk dua lapisan yaitu lapisan atas dan bawah. Memisahkan lapisan atas (biodiesel) dan lapisan bawah (gliserol). Mencuci biodiesel dan *impurities* yang masih tersisa dengan menggunakan *aquadest* pada suhu 40°C. Mendinginkan campuran kurang lebih satu jam sampai terbentuk dua lapisan. Memisahkan biodiesel dengan air bersama *impurities*. Memanaskan produk biodiesel ke dalam oven pada suhu 110°C selama satu jam.

D. Tahap Analisa

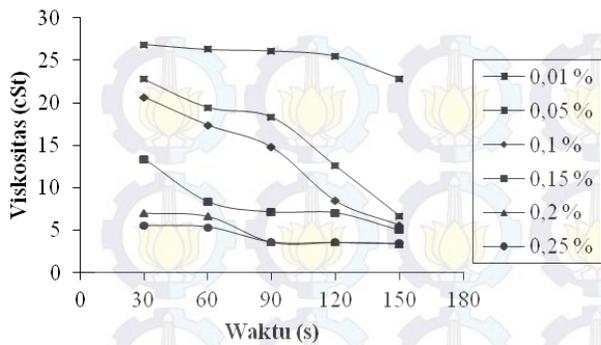
Analisa yang dilakukan meliputi analisa densitas dengan menggunakan piknometer pada suhu 40°C, analisa viskositas dengan menggunakan Viscometer Ostwald pada suhu 40°C, analisa *Flash Point* dengan menggunakan ASTM D-93, analisa *Pour Point* dengan menggunakan ASTM D-97, dan analisa *Gas Chromatographic* (GC).

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Waktu Pemanasan Terhadap Viskositas Produk Biodiesel

Minyak kelapa mempunyai viskositas kinematik yang tinggi, yaitu sebesar 25 - 30 cSt [4].

Dengan adanya proses transesterifikasi minyak kelapa menjadi biodiesel, maka akan terjadi penurunan pada viskositas kinematiknya. Dimana sesuai SNI 7182-2012, standar viskositas pada biodiesel adalah 2,3 – 6,0 cSt. Dari uji yang dilakukan pada biodiesel standard (80 % biodiesel dan 20 % solar) didapatkan viskositasnya adalah 3,035 cSt. Dimana nilai viskositas ini akan digunakan sebagai acuan pada analisis penelitian ini. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pengaruh waktu pemanasan terhadap viskositas produk yang dihasilkan dapat terlihat pada grafik di bawah ini :



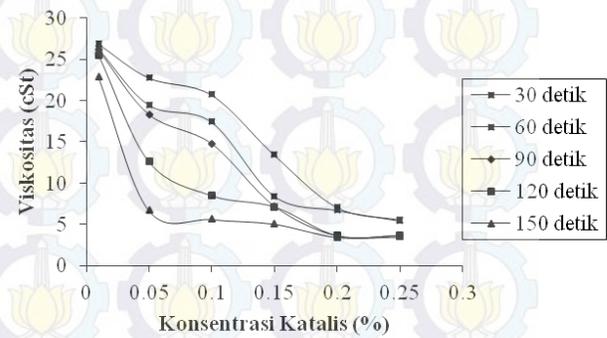
Gambar 2 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Viskositas Produk dengan Daya 400 Watt pada Katalis KOH

Dari gambar 2, menunjukkan bahwa nilai viskositas biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan katalis KOH cenderung menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan pada proses transesterifikasi, maka nilai viskositas yang didapatkan semakin kecil. Viskositas terkecil yang didapatkan adalah 3,45 cSt, dimana nilai ini sesuai dengan standard viskositas pada SNI 7182-2012. Nilai ini didapatkan pada waktu 150 detik dengan variable konsentrasi 0,2 % dan daya 400 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa pada daya 400 Watt merupakan daya yang terbaik dari ketiga variabel daya yang diujikan. Hal ini dikarenakan pada 100 dan 264 Watt masih menunjukkan adanya kecenderungan nilai dari viskositas yang terus menurun. Dengan demikian, adanya peningkatan daya akan memberikan efek thermal yang besar yang ditandai dengan adanya kenaikan suhu dan penurunan viskositas produk biodiesel yang dihasilkan [5].

Pada daya tersebut, nilai viskositas yang sesuai standard SNI adalah pada waktu 90-150 detik. Dimana nilai viskositasnya (konsentrasi 0,2 %) pada waktu 90, 120, dan 150 detik berturut-turut adalah 3,625; 3,6; 3,45 cSt, sedangkan pada konsentrasi 0,25 % adalah 3,65; 3,625; 3,5 cSt. Hal ini menunjukkan bahwa lama waktu reaksi yang digunakan berbanding lurus dengan penurunan viskositas produk biodiesel yang dihasilkan [6]. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa waktu dan daya memberikan pengaruh yang besar terhadap viskositas yang dihasilkan.

Pentingnya nilai viskositas biodiesel ini karena dapat mempengaruhi kinerja dari mesin dan karakter emisinya. Semakin tinggi nilai viskositas menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk memompa dan menginjeksi bahan bakar [7].

B. Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Viskositas Produk Biodiesel



Gambar 3 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap Viskositas Produk pada Daya 400 Watt

Pada gambar 3, menunjukkan bahwa pada daya 400 watt sudah mendapatkan viskositas biodiesel yang sesuai standard SNI dan viskositas tersebut tidak mengalami perubahan (konstan) di beberapa titik. Dimana nilai tersebut berada pada konsentrasi katalis 0,2% dan 0,25% dengan waktu reaksi 90 – 150 detik. Dimana nilai viskositasnya (konsentrasi 0,2 %) pada waktu 90, 120, dan 150 detik berturut-turut adalah 3,625; 3,6; 3,45 cSt, sedangkan pada konsentrasi 0,25 % adalah 3,65; 3,625; 3,5 cSt. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa konsentrasi katalis dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap viskositas dari biodiesel.

C. Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Yield Produk Biodiesel

Yield merupakan perbandingan antara massa biodiesel yang dihasilkan (produk) dengan massa bahan baku (minyak kelapa awal). Data (massa biodiesel) yang didapat dari percobaan bukan merupakan biodiesel murni dikarenakan adanya *impurities* selama proses berlangsung. Namun, kemurnian suatu produk tersebut dapat dicari dengan menggunakan persamaan Arrhenius [8] sebagai berikut

$$\ln(\eta_{\max}) = x_1 \ln(\eta_1) + x_2 \ln(\eta_2)$$

dimana η_{\max} : viskositas kinematik produk biodiesel

η_1 : viskositas kinematik minyak kelapa awal

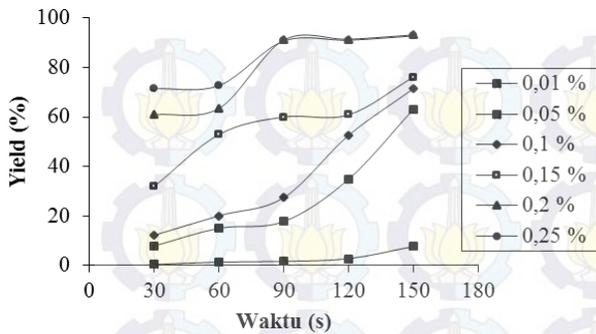
η_2 : viskositas kinematik biodiesel standard

(80 % biodiesel dan 20 % solar)

x_1 : kadar minyak kelapa awal (*mass fraction*)

x_2 : kadar biodiesel (*mass fraction*)

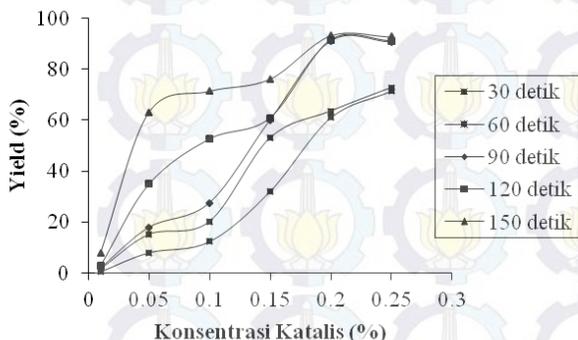
Dari hasil perhitungan, diperoleh grafik pengaruh waktu pemanasan terhadap *yield* produk yang dihasilkan sebagai berikut:



Gambar 4 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap *Yield* Produk dengan Daya 400 Watt pada Katalis KOH

Pada gambar 4, menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan, maka *yield* yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Meningkatnya nilai dari *yield* ini dikarenakan semakin lama waktu dari percobaan, maka semakin banyak trigliserida dalam minyak kelapa yang akan bereaksi dengan methanol dan menghasilkan biodiesel lebih banyak. Pada daya 400 Watt sudah mulai ada nilai yang konstan atau tidak ada perubahan yang signifikan pada *yield*-nya. Dimana *yield* yang konstan tersebut berada pada waktu 90-150 detik dan pada konsentrasi 0,2 dan 0,25 %. Nilai *yield* pada daya 400 Watt dan konsentrasi 0,2 % dengan waktu 90, 120, dan 150 detik berturut-turut adalah 91,140; 91,458; 93,225 %, sedangkan pada konsentrasi 0,25 % adalah 90,747; 91,093; 92,805 %. Dari data-data tersebut terlihat bahwa pada waktu 90 detik sudah mendapatkan *yield* di atas 90 % dan *yield* tertinggi pada waktu 150 detik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu yang dibutuhkan pada proses transesterifikasi maka akan menghasilkan tingginya *yield* dari biodiesel [9]. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa waktu pemanasan memberikan pengaruh yang besar terhadap *yield* yang dihasilkan.

D. Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap *Yield* Produk Biodiesel



Gambar 5 Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH terhadap *Yield* Produk pada Daya 400 Watt

Pada gambar 5, menunjukkan bahwa semakin banyak konsentrasi katalis dari KOH yang digunakan, maka *yield* yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Meningkatnya nilai dari *yield* ini dikarenakan semakin banyak trigliserida dalam minyak kelapa yang akan bereaksi dengan methanol dengan

bantuan katalis yang lebih banyak yang akan menghasilkan biodiesel lebih banyak. Pada daya 400 Watt sudah mulai ada nilai yang konstan atau tidak ada perubahan yang signifikan pada *yield*-nya. Dimana *yield* yang konstan tersebut berada pada waktu 90-150 detik dan pada konsentrasi 0,2 dan 0,25 %. Nilai *yield* pada daya 400 Watt dan konsentrasi 0,2 % dengan waktu 90, 120, dan 150 detik berturut-turut adalah 91,140; 91,458; 93,225 %, sedangkan pada konsentrasi 0,25 % adalah 90,747; 91,093; 92,805 %. Dari data-data tersebut terlihat bahwa pada waktu 90 detik sudah mendapatkan *yield* di atas 90 % dan *yield* tertinggi pada waktu 150 detik.

Dari pembahasan di atas terlihat bahwa penambahan konsentrasi dari katalis memberikan pengaruh yang besar terhadap *yield* yang dihasilkan. Namun, terlihat bahwa nilai 0,2 % menghasilkan *yield* yang lebih tinggi dibandingkan dengan 0,25 %. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi katalis yang melebihi kadar optimum akan meningkatkan pembentukan sabun sehingga *yield* berkurang. Menurut penelitian Ong, penambahan katalis juga menaikkan *yield* hingga suatu titik optimal. Apabila melebihi titik optimal tersebut, penambahan katalis justru akan mengurangi *yield* [10].

E. Data Viskositas dan *Yield* pada Produk Biodiesel dengan Konsentrasi Katalis 0,2% dan 0,25%

Tabel 1. Data Viskositas dan *Yield* pada Produk Biodiesel dengan Konsentrasi Katalis 0,2% dan 0,25%

Katalis	Waktu (s)	Konsentrasi Katalis (%)			
		0,2		0,25	
		η (cSt)	<i>Yield</i> (%)	η (cSt)	<i>Yield</i> (%)
KOH	90	3,625	91,140	3,650	90,747
	120	3,600	91,458	3,625	91,093
	150	3,450	93,225	3,500	92,805
Ca(OH) ₂	90	25,075	3,379	26,050	1,621
	120	24,250	4,692	25,025	3,488
	150	23,675	5,822	24,825	4,044
Mg(OH) ₂	90	26,625	0,828	26,05	1,779
	120	25,3	3,075	25,8	2,248
	150	21,875	9,529	25,075	3,466

Pada tabel 1, terlihat bahwa nilai viskositas biodiesel yang didapatkan dengan menggunakan katalis Ca(OH)₂ dan Mg(OH)₂ masih belum memenuhi standard dari biodiesel pada SNI, yaitu 2,3 – 6 cSt dan *yield* nya sangat rendah. Dimana nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 1. Penggunaan variabel waktu pemanasannya adalah 90-150 detik dan konsentrasi katalisnya 0,2 – 0,25 %. Variabel ini merujuk pada penelitian menggunakan katalis KOH yang menghasilkan viskositas dan *yield* terbaik. Katalis KOH menjadi rujukan disebabkan banyak penelitian terdahulu yang menggunakan KOH dan NaOH sebagai katalis homogen dalam proses pembuatan biodiesel [11].

Tingginya nilai viskositas dan rendahnya *yield* yang didapat dengan menggunakan katalis $Mg(OH)_2$ dan $Ca(OH)_2$ dikarenakan lambatnya proses reaksi yang terjadi sehingga untuk mendapatkan produk biodiesel dengan viskositas lebih rendah dibutuhkan waktu yang lebih lama [12]. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa variabel waktu dan konsentrasi katalis yang diberikan tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap viskositas yang dihasilkan dengan menggunakan katalis $Ca(OH)_2$ dan $Mg(OH)_2$. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Serio et al, untuk mencapai *yield* sekitar 81 % dibutuhkan waktu selama 20 menit dan konsentrasinya sebesar 2 % [13].

Dari semua pembahasan di atas, kandungan dari produk biodiesel yang dihasilkan dapat dilihat pada lampiran.

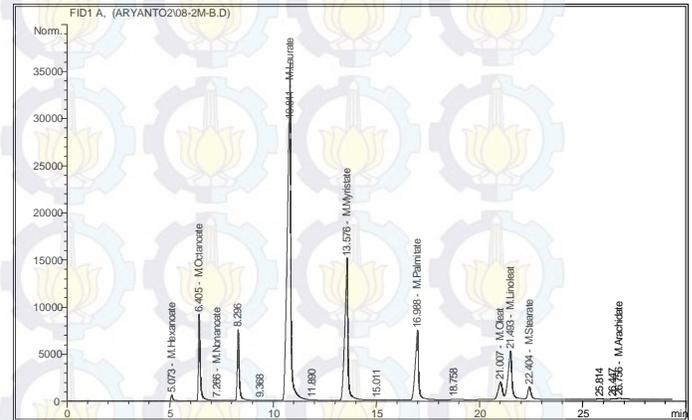
F. Perbandingan Metode Pemanasan menggunakan Microwave dan secara Konvensional terhadap Yield Biodiesel

Tabel 2 Perbandingan *Yield* Biodiesel dengan menggunakan Metode Pemanasan *Microwave* pada Daya 400 Watt dan Konvensional

Metode Pemanasan	Waktu	Konsentrasi Katalis KOH (%)	Yield (%)
Microwave	90 detik		91,14
	120 detik	0,2	91,458
	150 detik		93,225
Konvensional (Azcan et al, 2007)	30 menit		91,4
	45 menit	1,5	88,6
	60 menit		88,5

Dari tabel di atas terlihat bahwa untuk menghasilkan *yield* di atas 90 %, pada metode konvensional dibutuhkan waktu reaksi selama 30 menit, sedangkan waktu yang dibutuhkan dengan menggunakan *microwave* adalah 90 detik. Hal ini juga berlaku pada konsentrasi katalisnya, dimana dengan menggunakan metode konvensional dibutuhkan 1,5 % katalis KOH, sedangkan pada *microwave* hanya dibutuhkan 0,2 % katalis KOH. Perbedaan ini menunjukkan bahwa proses pembuatan biodiesel dengan menggunakan gelombang mikro dapat memberikan *yield* yang maksimal meskipun dengan waktu pemanasan yang lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional [14]. Persamaan ini juga berlaku pada penggunaan konsentrasi katalis, dimana dengan menggunakan katalis yang lebih sedikit sudah menghasilkan *yield* di atas 90 % pada *microwave* dibandingkan dengan metode konvensional [15].

G. Hasil Analisis Gas Chromatography (GC) pada Produk Biodiesel



Gambar 6 Hasil Analisa GC dari Biodiesel pada Konsentrasi Katalis KOH 0,2 % dengan daya 400 watt pada waktu 150 detik

Berdasarkan hasil analisa GC di atas, diketahui bahwa komposisi asam lemak minyak kelapa merk Barco yang terbentuk menjadi metil ester di dominasi oleh Metil Laurat sebesar 53,1 % dan Metil Miristat sebesar 19,2 %. Dimana Asam Laurat memiliki kandungan unsur C 12 dan menurut standarnya, biodiesel memiliki kandungan unsur C 12 – C 20.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Produk Biodiesel dapat dihasilkan menggunakan metode radiasi *microwave* dengan katalis KOH dimana konsentrasi katalisnya 0,2 % serta kondisi operasinya pada waktu reaksi 90 detik dan daya 400 Watt.
2. Konsentrasi katalis memberikan pengaruh terhadap nilai viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan sampai pada konsentrasi 0,2 % pada KOH. Pada konsentrasi $Ca(OH)_2$ dan $Mg(OH)_2$ tidak memberikan pengaruh terhadap nilai viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan.
3. Daya memberikan pengaruh terhadap nilai viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan sampai pada daya 400 Watt.
4. Waktu pemanasan memberikan pengaruh terhadap nilai viskositas dan *yield* dari biodiesel yang dihasilkan sampai pada waktu 90 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, "Handbook of Energy & Economic Statistic of Indonesia", Jakarta: Kementrian ESDM (2010)
- [2] Agarwal, A.K. dan L.M. Das, "Biodiesel Development and Characterization for Use as a Fuel in Compression Ignition Engines", Madison: University of Wisconsin (2001)

- [3] Widodo, T.W. dan Elita R, "*Current Status of Bioenergy Development in Indonesia*", Serpong: Indonesian Center for Agricultural Engineering Research and Development (ICAERD) (2011)
- [4] www.apccsec.org, "*APCC Standard for Virgin Coconut Oil*", diakses pada tanggal 3 Juni 2015, pukul 14:16
- [5] Quitain, T.A., Hrioyuki D., Katoh, S., dan Moriyoshi,T, "*Microwave-Assisted Hydrothermal Degradation of Silk Protein to Amino Acids*", Japan: Kumamoto University (2011)
- [6] Evangelista, Joao P.C., Thiago Chellapa, Ana C.F. Coriolano, Valter J. Fernandes Jr., Luiz D. Souza, dan Antonio S. Araujo, "*Synthesis of Alumina Impregnated with Potassium Iodide Catalyst for Biodiesel Production from Rice Bran Oil*", Brazil: Federal University of Rio Grande do Norte (2012)
- [7] Tesfa, B., Mishra R., Gu F., dan Powles N, "*Prediction Models for Density and Viscosity of Biodiesel and Their Effects on Fuel Supply System in CI Engines*", Queensgate: University of Huddersfield (2010)
- [8] Tesfa, B., Mishra R., Gu F., dan Powles N, "*Prediction Models for Density and Viscosity of Biodiesel and Their Effects on Fuel Supply System in CI Engines*", Queensgate: University of Huddersfield (2010)
- [9] Serio, Martino Di, Riccardo Tesser, Lu Pengmei, dan Elio Santacesaria, "*Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production*", Napoli: Università di Napoli (2008)
- [10] Ong, H.C., A.S. Silitonga, H.H. Masjuki, T.M.I. Mahlia, W.T. Chong dan M.H. Boosroh, "*Production and Comparative Fuel Properties of Biodiesel From Non-Edible Oils : Jatropha curcas, Sterculia foetida and Ceiba pentandra*", Kuala Lumpur: University of Malaya (2013)
- [11] Viriya-empikul, N, Krasae P., Nualpaeng W., Yoosuk B., dan Faungnawakij K, "*Biodiesel Production over Ca-based Solid Catalysts Derived from Industrial Wastes*", Thailand: National Nanotechnology Center (NANOTEC) (2012)
- [12] Gryglewicz, S, "*Rapeseed Oil Methyl Esters Preparation using Heterogeneous Catalysts*", Poland: Institute of Chemistry and Technology of Petroleum and Coal (1999)
- [13] Serio, Martino Di, Riccardo Tesser, Lu Pengmei, dan Elio Santacesaria, "*Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production*", Napoli: Università di Napoli (2008)
- [14] Gude, Veera Gnanaswar, Prafulla Patil, Edith Martinez-Guerra, Shuguang Deng, dan Nagamany Nirmalakhandan, "*Microwave Energy Potential for Biodiesel Production*", Amerika: Sustainable Chemical Processes (2013)
- [15] Azcan, Nezihe dan Aysegul Danisman, "*Alkali Catalyzed Transesterification of Cottonseed Oil by Microwave Irradiation*", Turkey: Anadolu University (2007)

