

# Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) dan Karakteristik Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit

Elwina<sup>1</sup>, Zuhra Amalia, Faridah, Ummi Habibah, Andi Wardana

Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

<sup>1</sup>elwina@pnl.ac.id

**Abstrak**— Pada penelitian ini dilakukan proses transesterifikasi pada minyak kelapa sawit, dengan menggunakan labu leher empat. proses transformasi kimia dimana molekul trigliserida yang besar, bercabang dari minyak nabati dan lemak menjadi molekul yang lebih kecil, molekul rantai lurus dan hampir sama dengan molekul dalam bahan bakar diesel. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu pengadukan dan variasi katalis CaO, serta menguji karakteristik biodiesel. Katalis yang divariasikan yaitu 3, 4, 5, 6, dan 7 % sedangkan untuk pengadukannya sebesar 300 dan 400 rpm. Suhu yang digunakan adalah 65 0C. Proses dilakukan perbandingan mol methanol yaitu 6:1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perolehan yield (%) tertinggi sebesar 91,98% waktu reaksi 90 menit pada suhu 65°C dengan kecepatan pengadukan 300 rpm. Sedangkan pada 400 rpm didapatkan hasil sebesar 90,40%. Karakteristik produk metil ester yang diperoleh yaitu densitas 0,873 g/cm<sup>3</sup>, kadar air yang diperoleh sebesar 0,033% dan viskositas sebesar 5,56. Nilai biodiesel yang didapatkan sudah dalam range biodiesel SNI yang diinginkan.

**Kata kunci**— Biodiesel, Minyak Kelapa Sawit, CaO, Transesterifikasi, CFD.

**Abstract**— In this research the transesterification process was carried out on palm oil, using a four neck flask. the process of chemical transformation in which large triglyceride molecules, branched from vegetable oils and fats into smaller molecules, are straight chain molecules and are almost the same as the molecules in diesel fuel. The purpose of this study was to determine the effect of stirring time and variation of CaO catalysts, and to test the characteristics of biodiesel. The catalysts varied were 3, 4, 5, 6, and 7% while the stirring was 300 and 400 rpm. The temperature used is 65 0C. The process of mole methanol comparison is 6: 1. The results showed that the highest yield (%) was 91.98% 90 minutes reaction time at 65°C with a stirring speed of 300 rpm. Whereas at 400 rpm the results were 90.40%. The characteristics of the methyl ester product obtained were the density of 0.873 g / cm<sup>3</sup>, the moisture content obtained was 0.033% and the viscosity of 5.56. The value of biodiesel obtained is already in the desired SNI biodiesel range.

**Keywords**— biodiesel, palm oil, caO, transesterification,, CFD

## I. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya pemanasan global dari tahun ke tahun, berkurangnya bahan bakar fosil serta terus meningkatnya harga minyak bumi menjadi masalah pertama yang mendorong minat dunia untuk mengembangkan energi alternatif terbarukan, biodegradable, dan bersifat berkelanjutan. Pembakaran bahan bakar fosil melepaskan 98% karbon aktif yang berbahaya bagi lingkungan [1]. Untuk itu perlu adanya energi terbarukan untuk meminimalisir penggunaan minyak bumi. Energi terbarukan seperti biofuel, angin, air dan energi hidrotermal secara luas menjadi pertimbangan sebagai potensi untuk menggantikan bahan bakar fosil. Untuk itu, Biofuel seperti biodiesel menjadi kandidat utama untuk menggantikan biodiesel. Hal ini disebabkan tingkat karbon yang dikeluarkan tidak bertambah saat terjadi pembakaran dan mengurangi intensitas efek rumah kaca [2].

Dalam beberapa tahun terakhir ini, biodiesel menjadi perbincangan populer sebagai bahan alternatif yang dapat menggantikan minyak bumi. Biodiesel dianggap sebagai bahan bakar pengganti yang efektif untuk dikembangkan. Dianggap bahan bakar yang menonjol karena tidak beracun, biodegradable, dan terbarukan. Selain itu sifatnya yang ramah lingkungan juga menjadi alasan utama serta sumber daya alam yang melimpah bahkan keberadaan bahan baku sudah tersebar secara global. Bahan baku yang dibutuhkan untuk memproduksi biodiesel juga bervariasi, yaitu minyak kedelai, rapseed, sawit, jelantah, lemak hewan, dan beberapa sumber lainnya.

Reaksi transesterifikasi merupakan metode yang umum digunakan untuk menghasilkan biodiesel dengan mereaksikan trigliserida dengan alkohol. Dalam prosesnya, transesterifikasi

biasanya melibatkan katalis yang berfungsi untuk mempercepat reaksi. pada dasarnya, terdapat lima parameter utama yang mempengaruhi dalam proses produksi yaitu kandungan asam lemak bebas (FFA) yang terdapat dalam bahan baku, jenis dan jumlah alkohol yang dibutuhkan untuk mendukung reaksi, jenis dan jumlah katalis, rasio molar (minyak: alkohol), waktu dan suhu reaksi [3].

Proses transesterifikasi bisa dikategorikan kedalam non-katalis ataupun katalis. Tetapi kehadiran katalis nampak nyata dalam mempercepat reaksi transesterifikasi [4]. Katalis pada transesterifikasi terbagi menjadi beberapa macam yaitu katalis homogen, heterogen, dan enzim. Tetapi dalam pemakaiannya biasanya terdiri dari katalis homogen dan heterogen. Untuk katalis homogen ini sering digunakan dalam kalangan luas dalam pembuatan biodiesel. Namun, katalis ini memiliki beberapa kekurangan diantaranya sulit dipisahkan dari produk karena katalis ini larut dalam biodiesel dan gliserol, dapat menyebabkan korosi pada mesin, untuk pemisahan antara produk dengan katalis memerlukan biaya yang besar.

Katalis heterogen menjadi kandidat utama yang dapat menutupi kekurangan dari katalis homogen. Katalis ini dapat menghasilkan biodiesel yang ramah lingkungan serta lebih mudah dipisahkan dalam pemisahan biodiesel dan dapat digunakan kembali sehingga biaya produksi biodiesel menjadi berkurang. Bahan dari katalis heterogen ini bersumber dari limbah seperti cangkang telur dan cangkang kerang darah sebagai alternatif sumber alternatif katalis CaO. Dalam hal ini dapat mengurangi limbah dan dapat memproduksi biodiesel pada biaya rendah.

Katalis yang digunakan dalam pembuatan biodiesel terbagi menjadi dua macam yaitu cangkang telur dan cangkang kerang darah. Reaksi ini terjadi pada range temperatur 50-60 °C, menggunakan CaO sebagai katalis dan perbandingan mol optimum minyak/alkohol adalah sekitar 1:6 dengan kurun

waktu selama 1 jam. Hasil menunjukkan bahwa meningkatkan rasio molar lebih dari 1:6 tidak dapat menambah hasil dari biodiesel dan juga dengan rasio molar 1:6 digunakan memiliki jumlah alkohol yang cukup untuk memecah asam lemak bebas dan mendapat hasil Yield lebih dari 98w/w% [5].

Proses transesterifikasi terjadi pada labu leher tiga dilengkapi dengan stirrer. Pada variasi katalis yang berbeda, produk yang diinginkan juga akan berbeda juga tentunya. Hal ini membuat banyak hipotesis yang dilakukan untuk studi mendalam dalam mendapatkan hasil yang memuaskan.

Dengan memanfaatkan teknologi komputasi CFD untuk mendukung penelitian modern pada biodiesel [6]. Software ANSYS Fluent dapat simulasi dan memprediksi pencampuran, hasil visualisasi aliran, data densitas dan viskositas tergantung pada setiap fasa. Hal ini dapat menjadi rekomendasi untuk dioptimalkan untuk menjadi lebih sempurna.

Dalam simulasi ANSYS Fluent ini bertujuan untuk melihat hasil Yield dari Metil Ester (Biodiesel), dengan menetapkan beberapa persamaan dari variabel yang ditentukan dan diharapkan hasil dapat memenuhi sesuai dengan penelitian yang dilakukan dan juga dapat meningkatkan Yield.

## II. METODOLOGI PELAKSANAAN

Adapun tempat untuk melakukan penelitian ini adalah Laboratorium Satuan proses pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe.

1. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Bahan : Minyak kelapa sawit 4 Liter, Metanol 2 Liter, Katalis CaO 35 gram, Aquadest 2 Liter

Alat : picnometer, Viscosity Kinematic, Flash point

### 2. Rancangan Perlakuan Percobaan

#### 2.1 Variabel Tetap :

Waktu Reaksi : 90 Menit

Temperatur Reaksi : 60°C

Volume Kelapa Sawit : 150 mL

Volume Metanol : 60 m

Rasio Molar Metanol : Minyak : 6 : 1

Jenis Katalis : CaO

#### 2.2 Variabel Bebas

Jenis Katalis :

1. Katalis CaO : 1,5%, 3%, 4,5%, 5%, 5,5%

2. Kecepatan Pengadukan : 300 rpm, 400 rpm

#### 2.3 Variabel Terikat

a. Yield biodiesel (metil ester) yang terbentuk pada setiap parameter.

b. Analisa sifat-sifat fisika dan kimia biodiesel (Viskositas, Densitas, Flash point).

c. Profil Temperatur & Konsentrasi dengan komputasi CFD Fluent.

### 3. Prosedur Penelitian

Tahap prosedur penelitian yang dilakukan pada pengolahan minyak kelapa sawit menjadi biodiesel dengan menggunakan proses batch terjadi dalam dua tahap yaitu, secara penelitian dan komputasi.

#### 3.1 Pembuatan Biodiesel dengan Variasi Katalis

- Sebanyak 150 mL minyak dimasukkan dalam labu leher tiga dan dipanaskan hingga mencapai suhu 60°C dengan water bath.
- Sebanyak 60 mL metanol teknis 96 % dicampur dengan 1,5% katalis CaO.
- Kemudian mencampur methanol dan CaO dengan minyak di dalam labu leher tiga yang dipanaskan dengan water bath.
- Suhu reaksi dijaga 65°C dengan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 90 menit.
- Setelah waktu tercapai, reaksi dihentikan dan larutan di dinginkan.
- Dimasukkan larutan kedalam corong pemisah kemudian biarkan selama 24 jam sampai terbentuk 2 lapisan.
- Pisahkan lapisan atas adalah metil ester (biodiesel) dan lapisan bawah adalah gliserol.
- Analisa yield biodiesel (metil ester) yang terbentuk.
- Langkah-langkah di atas diulang dengan variasi Katalis yang berbeda-beda sesuai dengan variabel.

### 3.2 Metode CFD Fluent

Pada bagian ini, reaktor batch dibentuk dengan Autodesk Inventor (perangkat lunak pemodelan alat 3D). Geometri ini terdiri dari labu leher tiga, water bath, dan mini stirrer anchor beserta porosnya. Sistem reaktor ini pertama kali seluruhnya trigliserida, dan kecepatan impeller diatur ke 200 rpm. Model turbulensi k-epsilon dipilih karena dianggap tepat untuk berbagai simulasi, dengan permintaan komputasi yang relatif rendah. Metode Moving Reference Frame (MRF) digunakan untuk menangani masalah pencampuran dalam hal ini karena kekhasannya yang andal dan ekonomis, metode MRF menyederhanakan perhitungan dan sesuai dengan simulasi reaktor batch.

### 4. Analisa Hasil

Biodiesel yang dihasilkan diuji sifat fisik dan kimia seperti density, Viscosity Kinematic, dan Flash Point °C dan senyawa penyusun biodiesel menggunakan GC-MS serta analisa metil ester.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini difokuskan pada pembuatan biodiesel secara transesterifikasi menggunakan Minyak dari Kelapa Sawit sebagai bahan baku utama dan CaO yang berperan sebagai katalis. Produk biodiesel yang dihasilkan akan dilakukan analisa densitas, viskositas, dan kadar air. Sampel yang akan dianalisa Pada GC-MS adalah sampel terbaik saja yang diperoleh dari hasil perhitungan yield biodiesel.

Berikut pengamatan dari penelitian pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan proses transesterifikasi.

Berdasarkan data yang didapat pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa nilai yield tertinggi yang terdapat pada Putaran 300 rpm yaitu sebesar 91,98% dan nilai yield tertinggi pada Putaran 400 rpm yaitu sebesar 90,40%. Kecepatan pada 400 rpm adalah kecepatan maksimum dalam pengadukan, penambahan kecepatan lebih dari 400 rpm dapat merusak proses transesterifikasi.

Viskositas minyak merupakan jumlah waktu (detik) yang diperlukan oleh volume tertentu dari minyak untuk mengalir melalui lubang dengan diameter tertentu (kecil). Semakin sedikit waktu yang diperlukan untuk mengalir berarti semakin rendah viskositasnya. Viskositas mempunyai peranan yang sangat penting dalam proses penginjeksian bahan bakar. Nilai viskositas yang tertinggi saat putaran berada pada 300 rpm adalah 5,56 Cst. dan Nilai viskositas tertinggi saat putaran berada pada 400 rpm adalah 5,18 Cst.

Viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan kebocoran dalam pompa injeksi bahan bakar dan jika nilai viskositasnya terlalu tinggi maka akan mempengaruhi kecepatan kerja alat injeksi sehingga mempersulit pengabutan bahan bakar [7]. Ketika viskositas tinggi maka densitas juga tinggi, semakin besar densitas akan berpengaruh terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar. Hal ini disebabkan karena dibutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk diinjeksikan ke dalam ruang pembakaran untuk mendapatkan tenaga mesin yang sama [8]. Jadi berdasarkan hasil yang didapat, Viskositas dengan nilai yang lebih kecil lah yang lebih bagus untuk digunakan sebagai bahan bakar karena tidak membutuhkan banyak biodiesel dalam melakukan pembakaran dalam mesin sehingga mesin dapat menghemat pemakaian bahan bakar.

Pengukuran densitas dilakukan untuk menentukan perbandingan massa dengan volume tertentu dari biodiesel yang diperoleh dengan menggunakan alat piknometer. hasil pengukuran nilai densitas tertinggi saat 300 rpm diperoleh nilai sebesar 886 kg/m<sup>3</sup> dan nilai densitas tertinggi saat 400 rpm diperoleh nilai sebesar 887 kg/m<sup>3</sup>. Dari kedua data diatas tidak menunjukkan perbedaan data yang jauh signifikan, Bila dibandingkan dengan standar densitas menurut SNI 7128:2016 yaitu 850 – 890 kg/m<sup>3</sup>, secara keseluruhan nilai densitas dalam penelitian ini belum memenuhi standar.

Jika nilai standar pada biodiesel hasil uji memiliki nilai densitas yang tidak memenuhi ketentuan standar, ada kemungkinan bahwa reaksi pembuatan biodiesel tersebut tidak berjalan dengan baik, karena masih terdandung trigliserida di dalam produk tersebut. [9] mengatakan bahwa pada dasarnya proses transesterifikasi harus mampu merubah trigliserida yang mempunyai nilai densitas yang tinggi menjadi senyawa alkil ester yang memiliki densitas yang lebih rendah, sehingga memenuhi standar untuk digunakan dalam mesin diesel sebagai pengganti solar. Biodiesel dengan nilai denstias yang tinggi akan meningkatkan standar untuk membuang keausan pada mesin diesel sehingga akan membuat mesin diesel cepat rusak dan tidak dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang..

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) kadar air yang terkandung dalam biodiesel maksimum 0,05%. Kadar air merupakan salah satu tolak ukur mutu biodiesel. Berdasarkan data pada Tabel 1 kadar air yang terkandung di dalam biodiesel secara transesterifikasi menggunakan Minyak dari Kelapa Sawit yang telah dilakukan adalah 0,060% nilai tertinggi pada saat kecepatan pengadukan 300 rpm dan 0,066 % nilai tertinggi pada saat kecepatan pengadukan 400 rpm. Kadar air yang terkandung di dalam biodiesel lebih rendah bila dibandingkan dengan SNI sehingga biodiesel lebih aman. Kandungan air yang tinggi dalam biodiesel yang digunakan sebagai bahan bakar dapat menyebabkan turunnya panas pembakaran, berbusa dan bersifat korosif jika bereaksi dengan sulfur karena akan membentuk asam dan memberi ruang bagi mikroba untuk tumbuh sehingga akan menjadi pengotor bagi biodiesel.

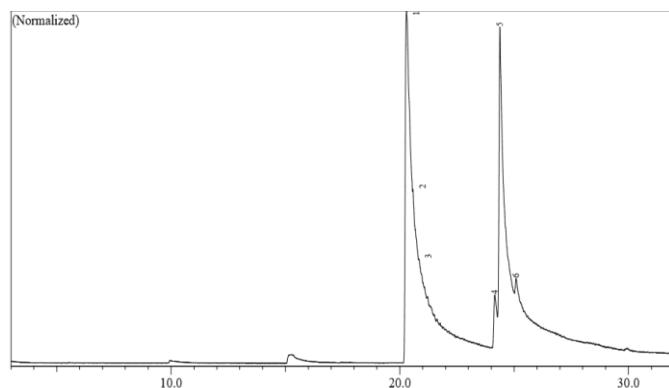
TABEL 1.  
ANALISA KARAKTERISTIK BIODIESEL

Kecepatan Pengadukan	Berat Katalis CaO	Kadar Air (%)	Viskositas (Cst)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Yield (%)
300 rpm	3 %	0,033	5,56	873	91,98
	4 %	0,035	5,14	886	81,03
	5 %	0,060	5,34	884	73,99
	6 %	0,037	5,49	874	66,97
	7 %	0,041	6,86	863	51,02
400 rpm	3 %	0,037	5,15	886	90,40
	4 %	0,049	5,18	886	79,59
	5 %	0,033	5,18	887	75,28
	6 %	0,039	5,30	878	65,84
	7 %	0,066	5,55	868	49,13

1. Analisa GC-MS

Berdasarkan hasil analisa sebelumnya dipilih satu produk dengan kondisi terbaik yaitu pada dengan campuran CaO yang paling sedikit untuk menghindari kesalahan analisa pada GC-MS (Gas Chromatography – Mass Spectrometry). Pengujian GC-MS ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, Politeknik Negeri Lhokseumawe. Dalam hal ini sampel yang di analisis adalah biodiesel dengan CaO 4% putaran 300 rpm dan 3% CaO dengan putaran 400 rpm. Hasil analisis komposisi metil ester dari minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 4.5

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa kromatogram pengujian GC-MS pada 4% biodiesel CaO 300 rpm menunjukkan adanya 6 puncak. Puncak ke 1 dan ke-2 yaitu metil palmitat sebesar 6,11% dengan waktu retensi 20.292 menit, puncak ke 2 yaitu metil oleat sebesar 35,49% dengan waktu retensi 20.574 menit, puncak ke 3 sampai ke-6 yaitu metil oleat sebesar 15,03, 32,53, 4,01, 6,82 dengan waktu retensi 20.833, 24.159, 24.377, dan 25.083 menit, dan. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa senyawa metil tertinggi terdapat pada metil oleat sebesar 58,39%. Kadar biodiesel dapat dihitung dengan membandingkan luas area metil ester yang terkandung dalam biodiesel dengan luas area keseluruhan yang dianalisa pada uji GC tersebut. Jadi, total keseluruhan luas puncak (%) yang terbentuk dari seluruh komponen metil ester yaitu 100%.



Asam Lemak	Nama Sistematis	Hasil Analisis (%)	Puncak Ke-
Metil Palmitat	Hexadecanoic Acid, Methyl Ester	44,4	1 & 2
Metil linoleat	9-12-Octadecenoid Acid, Methyl Ester	4,01	3
Metil Oleat	9-Octadecenoic Acid, Methyl Ester	45,62	5 & 6

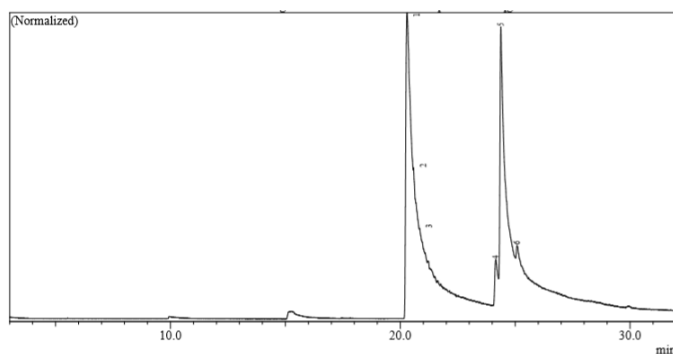
Gambar 1. Analisa GC-MS Biodiesel CaO 4% putaran 300 rpm

TABEL 2

KANDUNGAN METIL ESTER LIMBAH MINYAK GORENG DARI KELAPA SAWIT HASIL GC-MS CAO 4%

Asam Lemak	Nama Sistematis	Hasil Analisis (%)	Puncak Ke-
Metil Palmitat	Hexadecanoic Acid, Methyl Ester	41,6	1 & 2
Metil Oleat	9-Octadecenoid Acid, Methyl Ester	51,57	3, 4, dan 5
	17-Octadecenoic Acid, Methyl Ester	6,82	6

Kemudian untuk pengujian GC-MS pada 3% CaO 400 rpm menunjukkan adanya 6 puncak, dimana puncak 1 dan ke-2 adalah metil palmitat sebesar 31,76% dan 12,64. Kemudian pada puncak ke-3 adalah metil linoleat sebesar 4,01. Setelah itu pada puncak ke-5 sampai ke 6 adalah metil oleat sebesar 36,99% dan 8,63%. Kandungan standar pada biodiesel berdasarkan standar Eropa yaitu dengan dengan monogliserida sebesar 0,80, digliserida sebesar 0,20, dan trigliserida sebesar 0,20. Selain itu, kualitas biodiesel tidak ditentukan dari jenis senyawa yang terkandung didalamnya, melainkan dari karakterisasi sifat fisik dan kimia [10] pada puncak ke-3 adalah metil linoleat sebesar 4,01. Setelah itu pada puncak ke-5 sampai ke 6 adalah metil oleat sebesar 36,99% dan 8,63%. Kandungan standar pada biodiesel berdasarkan standar Eropa yaitu dengan dengan monogliserida sebesar 0,80, digliserida sebesar 0,20, dan trigliserida sebesar 0,20. Selain itu, kualitas biodiesel tidak ditentukan dari jenis senyawa yang terkandung didalamnya, melainkan dari karakterisasi sifat fisik dan kimia [11].



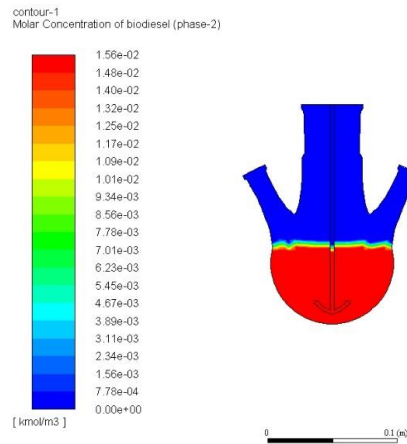
Gambar 2. Analisa GC-MS Biodiesel CaO 3% putaran 300 rpm

TABEL 3

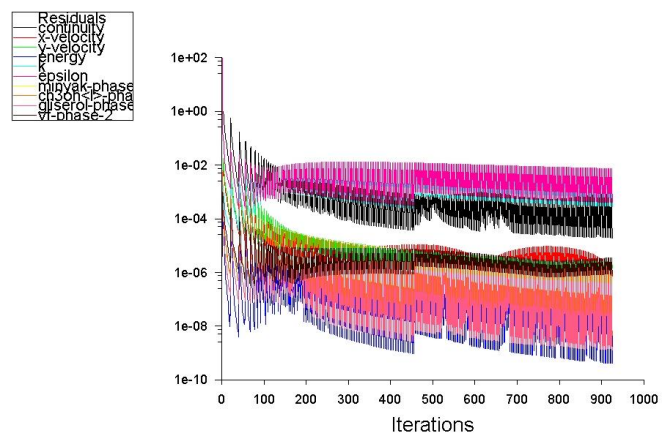
KANDUNGAN METIL ESTER LIMBAH MINYAK GORENG DARI KELAPA SAWIT HASIL GC-MS CAO

2. Analisa Computational Fluid Dynamic (CFD)

Pada pengukuran bilangan Reynold didapatkan hasil sebesar 1.089.118,12. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa aliran pada putaran 300 rpm adalah turbulen. Pilihan persamaan *k-epsilon* adalah yang terbaik untuk jenis aliran yang turbulen. Kemudian pada ukuran mesh yang di gunakan ada sebanyak 3090 nodes atau mesh.



Gambar 3. Konsentrasi Molar biodiesel



Gambar 4. Grafik Iterasi pada ANSYS FLUENT

Hasil yang didapatkan setelah dilakukan simulasi FLUENT adalah sebesar  $1,56 \times 10^{-2}$  Kmol/m<sup>3</sup> Konsentrasi Molar. Simulasi ini dilakukan pada temperature tetap. Hasil yang didapatkan ini masih jauh dari range biodiesel yang didapatkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan menggunakan metode transesterifikasi dapat disimpulkan bahwa :Semakin CaO yang dimasukkan maka hasil dari yield akan semakin berkurang yang disebabkan bercampurnya biodiesel dengan CaO. Variasi Putaran pengaduk tidak mempengaruhi besarnya yield biodiesel yang dihasilkan. Hasil analisa karakteristik yang

telah diuji yaitu pada densitas sebesar 0,873 g/cm<sup>3</sup>, kadar air sebesar 0,033% dan viskositas sebesar 5,56 Cst. Hasil penelitian simulasi CFD dengan suhu tetap 65 °C menghasilkan nilai Konsentrasi Molar sebesar 1,56x10<sup>-2</sup> Kmol/m<sup>3</sup>

#### REFERENSI

- [1] Demirbas, A., & Demirbas, M. F., Importance of algae oil as a source of biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 163-170. 2011
- [2] Meng, X., Yang, J., Xin, X., Zhang, L., Nie, Q., & Xian, M., Biodiesel production from oleaginous microorganisms. *Renewable Energy*, 1-5., 2009
- [3] Verma, P., & Sharma, M. P., Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1063-1071, 2016
- [4] Keera, S. T., Sabagh, S. M., & Taman, A. R.). Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst. *Fuel*, 42-47., 2011
- [5] Musa, I. A., The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. *Egyptian Journal of Petroleum*, 21-31. 2016
- [6] Adeyemi, N. A., Mohiuddin, A. K., & Nor, M. I., CFD Modeling of Waste Cooking Oil Transesterification in a Stirred Tank Reactor. *Mathematical Applications in Engineering*, 151-158. 2013