

## DESIGN OVEN SKALA LABORATORIUM UNTUK REKAYASA MINYAK GORENG BEKAS MENJADI BIOOIL

Elfi Nur Rohmah<sup>1\*</sup>, Tatun Hayatunnufus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon

<sup>2</sup>Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

\*Email: [elfinurrohmah@gmail.com](mailto:elfinurrohmah@gmail.com)

### Abstrak

Pemanfaatan Minyak Goreng bekas sebagai bahan baku dalam dalam pembuatan biooil sudah menjadi bahan penelitian, dan hal ini perlu dikembangkan lebih lanjut untuk design reactor yang dapat di manfaatkan mahasiswa untuk melakukan percobaan dalam skala laboratorium secara intensive. Pada penelitian kali ini akan dibahas mengenai cara membuat reaktor oven pirolisa dalam skala laboratorium. Dari design perhitungan berdasarkan persamaan teori membrant dengan tabung bejana berbentuk silinder silinder dan bertekanan hingga 18 bar, diperoleh tebal minimum bejana (i) adalah 0,54 cm, Tebal penutup (t) adalah 2,4765 cm. Dengan persamaan heat transfer maka akan didapatkan nilai Q adalah 766210,5 joule. bila waktu reaksi dibuat konstan selama 15 menit maka keperluan daya sebesar 851,345 watt ( maka di gunakan heater 1200 Watt) dengan factor safety 8 kali maka akan didapatkan tebal isolator 0,16 m. Dengan menggunakan alat ini dengan bahan baku minyak goreng bekas, variable operasi berupa temperature dan waktu reaksi pada kondisi tetap tekanan 8 atm didapatkan konversi minyak goreng bekas menjadi biooilterbesar hingga 89.98 %massa adalah dari pengujian 280 °C dengan lama pemanasan 15 menit. Sedangkan index kemurnian belum mencapai 100 hal ini menunjukkan produk yang dihasilkan perlu dilakukan proses pemurnian

**Kata Kunci:** Biooil, Design Oven, Minyak Goreng Bekas, Pirolisis

### Abstract

*Utilization of waste cooking oil as a raw material in the manufacture of bio-oil already been the subject of research, and this needs to be developed further to design reactors that can be utilized students to conduct experiments in a laboratory scale-intensive. In this research will be discussed on how to create an oven pyrolysis reactor on a laboratory scale. From design calculations based on the theory of equations membrant the cylinder tube cylindrical vessel and pressurized to 18 bar, the minimum thickness obtained vessel(i) is 0.54cm, cover thickness(t) is 2.4765cm. With the heat transfer equation then we will get the Q value is 766,210.5 joules. when the reaction time was maintained constant for 15 minutes then the power requirements of 851.345 watts (then used heater1200Watt) with a safety factor of 8 times it will get thicker insulator 0.16m. By using this tool with the raw material used cooking oil, the operating variables such as temperature and reaction time at 8 atm pressure conditions remain obtained the conversion of waste cooking oil into bio-oil amounting 89.98%.*

**Keywords:** Biooil, Design Oven, Waste Cooking Oil, Pyrolysis

### 1. PENDAHULUAN

Ketersediaan cadangan minyak bumi yang semakin menipis akan berdampak buruk bagi kehidupan manusia di masa mendatang. Maka dibutuhkan langkah-langkah untuk mencari sumber

daya alternatif dengan cara memproduksi bahan bakar dari sumber yang terbaharukan. Salah satu pengembangan energy terbaharukan dengan cara mengolah minyak goreng bekas (jelantah) yang merupakan buangan dari industri makanan, restoran

dan rumah tangga, dimana memiliki potensi yang tinggi untuk dijadikan bahan bakar, mengingat kandungan atom karbon dan hidrogennya tinggi

Pemanfaatan Minyak Goreng bekas sebagai bahan baku dalam pembuatan biooil sudah banyak diteliti, namun reaktor yang digunakan untuk beroperasi banyak berukuran kecil sehingga tidak dapat digunakan untuk kebutuhan praktikum dalam skala lab, dan hal ini perlu dikembangkan lebih lanjut untuk design reaktor yang dapat di manfaatkan mahasiswa untuk melakukan percobaan dalam skala laboratorium secara intensive. Dalam penelitian ini akan di lakukan design reactor dengan oven dalam skala laboratorium berdasarkan hubungan teori membrant dan *heat transfer*. Penelitian ini akan membahas secara mechanic (ukuran reaktor, tebal plat yang digunakan, tebal tutup, design pemanas, kebutuhan arus pemanas) dan kimia (analisa komposisi biooil dimana hanya dibatasi pada produk biosolar, biobensin dan biodiesel)

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Minyak Goreng Bekas (Waste Cooking Oil)

Penggunaan minyak goreng berulang kali sangat membahayakan kesehatan. Hal ini dikarenakan selain semakin banyaknya kotoran yang terkandung dalam minyak goreng akibat penggorengan bahan makanan sebelumnya 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 umumnya bersifat karsinogenik. Oleh karena itu minyak goreng yang telah dipakai atau minyak jelantah (waste cooking oil) menjadi barang buangan atau limbah dari industri penggorengan. (Ketaren, 1986 ). Perbandingan komposisi minyak goreng bekas dan CPO, dapat dilihat pada tabel 2.1.

Dari Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa kandungan asam lemak yang terbesar pada minyak goreng bekas adalah asam Oleat dan asam Palmitat. Asam lemak tak

jenuh (oleat) dan asam lemak jenuh (palmitat) yang lebih banyak ini memungkinkan dilakukannya proses perengkahan dengan lebih mudah. Hal ini disebabkan asam lemak tak jenuh memiliki kestabilan yang kurang sehingga untuk merengkahnya, dibutuhkan energi yang lebih sedikit. Karenanya proses perengkahan dapat berlangsung lebih mudah dan diharapkan dapat menghasilkan hidrokarbon aromatik dalam jumlah banyak.

### 2.2. Oven

Dalam merancang oven, diperlukan suatu proses perancangan yang memerlukan teori-teori pendukung yang akan dibahas berikut ini:

#### 2.2.1. Kalor

Kalor didefinisikan sebagai energi panas yang dimiliki oleh suatu zat. Secara umum untuk mendeteksi adanya kalor yang dimiliki oleh suatu benda yaitu dengan mengukur suhu benda tersebut. Jika suhunya tinggi maka kalor yang dikandung oleh benda sangat besar, begitu juga sebaliknya jika suhu rendah maka kalor yang dikandung sedikit.

Besar kecilnya kalor yang dibutuhkan suatu benda (zat) tergantung pada 3 faktor:

1. Massa zat
2. Jenis zat (kalor jenis)
3. Perubahan suhu

Sehingga secara matematis dapat dirumuskan:

$$Q = m \times c \times (t_2 - t_1)$$

Dimana:

Q = Kalor yang dibutuhkan [J]

M = Massa [kg]

C = Kalor jenis [J/kgK]

(t<sub>2</sub>-t<sub>1</sub>) = Perubahan suhu [K]

#### 2.2.2. Hubungan antara kalor dengan energi listrik

Kalor merupakan bentuk energi maka dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Berdasarkan hukum kekekalan energi, energi listrik dapat berubah ke energi kalor dan juga sebaliknya. Dalam pembahasan ini yang diulas tentang energi listrik dan energi kalor saja.

**Tabel 2.1** Perbandingan karakteristik CPO dan minyak goreng bekas

Fatty Acid	CPO (Gubitz& Trabi 1999)	Minyak Goreng Bekas (Sidjabat, 2004)
Miristic	0,9 – 1,5	-
Palmitat	39,2 – 45,8	14,939
Tearic	3,7 – 5,1	-
Arachidic	0 – 0,04	2,585
Behenic	NA	-
Palmitoleic	0 – 0,4	-
Oleat	37,4 – 44,1	32,192
Margarat	-	3,959
Stearat	-	13,121
Linoleat	8,7 – 12,5	5,022
Linolenic	0 – 0,6	-

Besarnya energi listrik yang dirubah atau diserap sama besar dengan kalor yang dihasilkan. Sehingga secara matematis dapat dirumuskan:

$$W = Q$$

Untuk menghitung energi listrik digunakan persamaan:

$$W = P \times t$$

Keterangan:

W = Energi listrik [Joule]

P = Daya listrik [Watt]

t = Waktu yang diperlukan [detik]

Bila rumus kalor yang digunakan adalah

$$Q = m \times c \times (t_2 - t_1)$$

maka diperoleh persamaan :

$$P \times t = m \times c \times (t_2 - t_1)$$

### 2.2.3. Asas Black

Menurut asas Black apabila dua benda dengan suhu yang berbeda disatukan atau dicampur maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Aliran ini akan berhenti sampai terjadi keseimbangan thermal (suhu ke dua benda sama)

Secara matematis dirumuskan:

$$Q_{lepas} = Q_{terima}$$

Yang melepas kalor adalah benda yang suhunya tinggi dan yang menerima kalor adalah benda yang bersuhu rendah

### 2.3. Heat Exchanger

Ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor berpindah dari suatu benda ke benda lain tetapi juga mempelajari perpindahan panas pada kondisi-kondisi tertentu (Holman, 1995)

Umumnya perpindahan kalor berlangsung dengan tiga cara, yaitu:

#### a. Konduksi

Proses berlangsungnya perpindahan panas dari tempat bersuhu tinggi ke suhu rendah dengan menggunakan suatu medium (padat, gas, dan cair) secara langsung. (Frank dan Black, 1980)

Berdasarkan *Hukum Fourier*: 12

$$q'' = kx \frac{dT}{dx} = kx \frac{\Delta T}{L}$$

$$q = q'' \times A = kx A x \frac{\Delta T}{L}$$

(Moran, 2003)

Hambatan thermal konduksi pada dinding rata

$$R_{conduction} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{q} = \frac{L}{kxA}$$

#### b. Konveksi

Proses *transport* perpindahan panas gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai

mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cair atau gas. (Frank dan Black, 1980) Dirumuskan sebagai berikut:

$$q'' = hx \Delta T$$

$$q = q'' \times A = hx A x \Delta T$$

(Moran, 2003.)

Hambatan *thermal* konveksi pada dinding rata :

$$R_{convection} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hx A}$$

Dimana :

q'' = Aliran kalor [W/m<sup>2</sup>]

q = Laju perpindahan kalor [Watt]

R = Hambatan *thermal* [K/W]

h = Koefisien konveksi [W/m<sup>2</sup>K]

A = Luasan [m<sup>2</sup>]

k = Konduktifitas *thermal* bahan [W/m]

#### c. Radiasi

Proses dimana perpindahan panas yang mengalir dari benda bersuhu tinggi ke suhu rendah secara terpisah, bahkan bila terdapat ruang hampa diantar benda-benda tersebut. Umumnya radiasi digunakan dalam gelombang elektromagnetik, tetapi dalam ilmu perpindahan pans kita perlu memperhatikan hal yang diakibatkan oleh suhu yang dapat mengangkut energi dalam medium yang tembus cahaya atau melalui ruang. (Frank dan Black, 1980)

## 3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dikembangkan dengan cara design reactor oven pirolisa skala laboratorium. Dimana akan dilakukan dalam tiga tahap yaitu tahap pertama perhitungan design berdasarkan teori, tahap kedua test alat dan tahap ketiga dilakukan pirolisaminyak goreng bekas (jelantah) selanjutnya dilakukan analisa terhadap produk dengan menggunakan GCMS.

## 4. PEMBAHASAN

### 4.1. Perhitungan Produk Reaktor

#### 4.1.1. Perhitungan reaktor

Hasil perhitungan faktor utama dari ketebalan tabung silinder berbejana bertekanan dalam, berdasarkan modifikasi persamaan teori membran. Persamaannya dapat ditulis seperti :

$$i = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0.6P} + C = \frac{P \cdot r_o}{f \cdot E - 0.4P} + C$$

Dimana :

I = minimum ketebalan tabung silinder yang diijinkan [inch]

P = tekanan dalam tabung silinder (Max) [psi]

e = efisiensi las-an

f = regangan maksimum [psi]

ri = radius lingkaran dalam [inch]

ro = radius lingkaran luar [inch]

C = factor keamanan design [inch]

(Brownell and Young, 1979)

Jadi perhitungan tebal reactor:

$$i = \frac{725.189 \text{psix } 1.377 \text{in}}{(14800 \text{psix } 0.8) - (0.6 \times 725.189 \text{psi})} + 0.125 \text{in}$$

$$i = \frac{998.6 \text{psi} \cdot \text{in}}{11404.9 \text{psi}} + 0.125 \text{in}$$

$$i = 0.213 \text{in} = 0.54 \text{cm}$$

untuk perhitungan tebal tutup reactor dengan menggunakan persamaan:

$$t = \frac{2P \cdot ri}{2f \cdot E - 0.2P} + C$$

sehingga perhitungan tebal tutup reactor adalah

$$t = \frac{2 \times 725.189 \text{ psix } 1.377 \text{in}}{(2 \times 14800 \text{ psix } 0.8) - (0.2 \times 725.189 \text{psi})} + 0.125$$

$$i = \frac{19997.2 \text{psi} \cdot \text{in}}{23534.96 \text{psi}} + 0.125 \text{in}$$

$$i = 0.975 \text{in} = 2.4765 \text{cm}$$

#### 4.1.2. Heat transfer

Menghitung daya heater yang digunakan, dapat menghitung dengan persamaan di awah ini :

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

(Kreith dan Black, 1980)

Dimana :

Q = Kalor yang dibutuhkan untuk melakukan kerja [J]

m = massa minyak jelantah dan nitrogen [kg]

Cp = kalor spesifik [ J/ kg K]

ΔT = perubahan suhu [K]

Sehingga kalor yang diperoleh

$$Q = 0,45 \text{ [kg]} \times 2530 \text{ [J/ kg K]} \times (973 - 300) \text{ [K]} \\ = 766210.5 \text{ [J]}$$

Maka besar daya persatuan waktu apabila pemanasan dilakukan selama 15 menit adalah:

$$= 851.345 \text{ W}$$

(Frederick, 2001)

Jadi heater yang dipilih adalah 1200 W untuk pemanasan.

#### 4.1.3. Menghitung tebal isolator

Menentukan suhu pada dinding luar reaktor /panas heater (T<sub>2</sub>) menggunakan persamaan perpindahan panas secara konduksi.(Kreith danBlack, 1980).

$$\frac{Q}{A} = \frac{\Delta T}{\frac{L_1}{K_1}}$$

Jadi perhitungan suhu isolator adalah:

$$(T_2 - 973) = \frac{1200 \text{ W} \times 0,008 \text{m}}{0,12 \text{m}^2 \times 14,4 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}$$

$$(T_2 - 973) = 55,5 \text{ K}$$

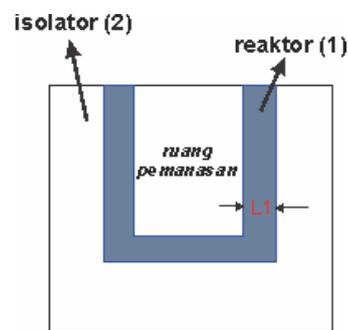
$$T_2 = 1028,6 \text{ K}$$

Menghitung ketebalan isolator menggunakan persamaan perpindahan panas secara konduksi.

$$\frac{Q}{A} = \frac{\Delta T}{\frac{L_2}{K_2}}$$

$$L_2 = \frac{(1028,6 - 300) \text{K} \times 0,12 \text{m}^2 \times 2,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{1200 \text{ W}} \\ L_2 = 0,02 \text{ m}$$

Nilai ketebalan isolator dikalikan factor keamanan x 8. Sehingga besar ketebalan isolator (L<sub>2</sub>) yang digunakan sebesar 0.16 m atau 160 mm



**Gambar.4.1.** Ilustrasi penampang ketebalan dinding reaktor dan isolator

Dari perhitungan akan didapatkan hasil seperti tertera pada table 4.1.

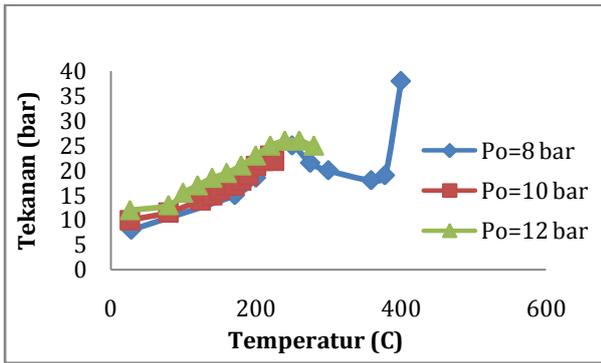
**Tabel 4.1.**Data perpindahan panas pada reaktor dan isolator

No	Data	Simbul	Nilai	Satuan
1	Konduktivitas themal reaktor (SS304)	K <sub>1</sub>	14,4	W/m.K
2	Konduktivitas thermal isolator (ceramic fiber board)	K <sub>2</sub>	2,2	W/m.K
3	Suhu Ruang Pemanas	T <sub>1</sub>	973	K
4	Suhu lingkungan	T <sub>∞</sub>	300	K
5	Tebal Reaktor	L <sub>1</sub>	0,008	m
6	Luas Penampang	A	0,12	m <sup>2</sup>
7	Suhu Isolator	T <sub>2</sub>	1028,6	K
8	Tebal Isolator	L <sub>2</sub>	0,16	m

**4.2 Percobaan dan Analisa Hasil Performance Reactor**

**4.2.1. Setting alat**

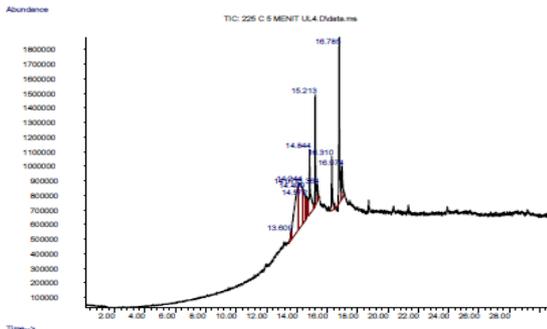
Dari data hasil setting alat dapat dilihat pada data ke 1 dengan tekanan awal ( $P_o=8$  bar) grafik tidak mengalami kenaikan yang linier sehingga dapat disimpulkan untuk tekanan awal 8 bar tidak dapat memenuhi kondisi dalam fasa cair lagi. Untuk hasil setting awal dengan tekanan awal 12 bar grafik menunjukkan garis linier sehingga tekanan awal ini yang dapat dijadikan batasan untuk dapat memenuhi kondisi minyak jelantah masih dalam keadaan fasa cair di dalam reactor. Apabila diinginkan suhu diatas  $300^{\circ}\text{C}$  tekanan 12 bar tidak dapat memuhi kondisi fasa cair lagi, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.2



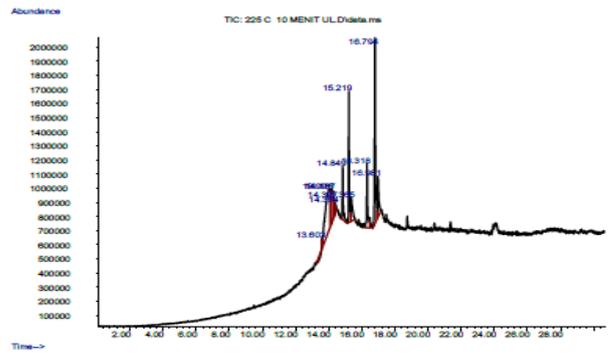
**Gambar 4.2** Data Setting Tekanan awal reaktor

**4.2.2. Hasil pengujian GCMS**

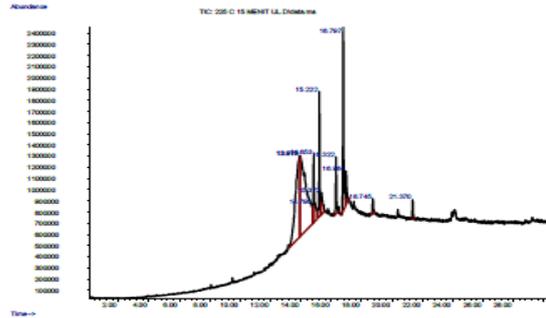
Pengujian GCMS bahan bakar alternatif telah dilakukan di Pusat Laboraturium dan Forensik (Puslabfor) MABES POLRI, Jakarta Selatan, pada penelitian kali ini digunakan varibel reaksi penelitian yaitu temperature 225 dan  $280^{\circ}\text{C}$  dengan waktu reaksi 5, 10 dan 15 menit, pembahasan hasilnya ditampilkan pada gambar di bawahini,yang kemudian dibandingkan dengan peak pada solar, bensin dan etilester. Kadar biooil yang dihasilkan adalah penjumlahan antara biosolar,biobensin dan eter yang dihasilkan dengan pembnaan puncak dengan pembanding waktu retensi sehingga didapatkan persentase(kadar) dan divalidasi dengan indeks kemiripan .



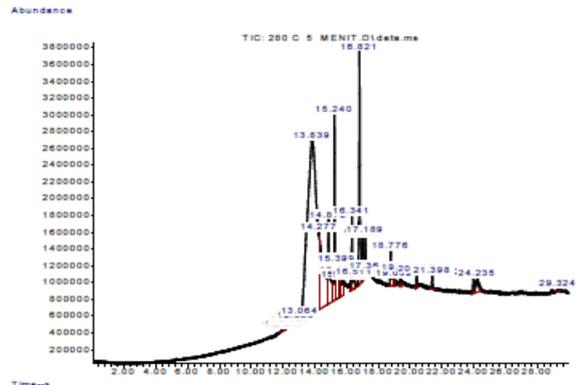
**Gambar 4.3.** Grafik (GCMS) pada suhu  $225^{\circ}\text{C}$  waktu 5 menit



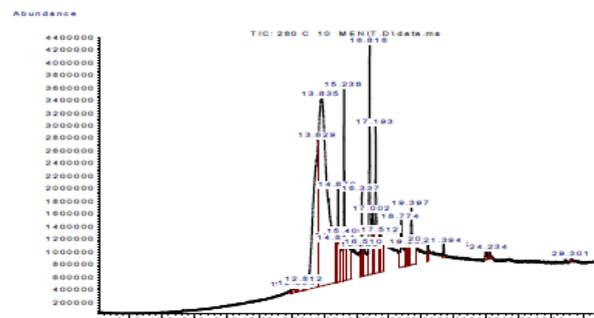
**Gambar 4.4.** Grafik (GCMS) pada suhu  $225^{\circ}\text{C}$  waktu10 menit



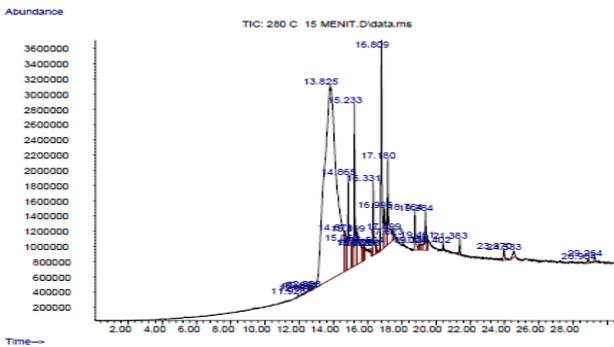
**Gambar 4.5.** Grafik (GCMS) pada suhu  $225^{\circ}\text{C}$  waktu15 menit



**Gambar 4.6.** Grafik (GCMS) pada suhu  $280^{\circ}\text{C}$  waktu5 menit



**Gambar 4.7.** Grafik (GCMS) pada suhu  $280^{\circ}\text{C}$  waktu10 menit



**Gambar 4.8.** Grafik (GCMS) pada suhu 280°C waktu 15 menit

Dari gambar 4.3 hingga 4.8 dapat dibuat table sebagai berikut:

**Tabel 4.2.** Persentase kadar Biooil dalam sampel (Biosolar, Biobensin, Etil ester)

T °C	t Menit	Kadar % Massa	Indeks Kemiripan
225	5	64.92	50-70
	10	64.87	50-92
	15	78.72	50-93
280	5	82.4	50-95
	10	87,68	50-97
	15	89.78	50-97

Dari table 4.2 diperoleh senyawa penyusun dari biooil hasil pirolisis, dengan hasil terbesar hingga 89.98 %massa adalah dari pengujian 280 °C dengan lama pemanasan 15 menit. Sedangkan index kemurnian belum mencapai 100 hal ini menunjukkan produk yang dihasilkan perlu dilakukan proses pemurnian

## 5. KESIMPULAN

- Dari design perhitungan berdasarkan persamaan teori membrant dengan tabung bejana berbentuk silinder silinder dan bertekanan hingga 18 bar, diperoleh tebal minimum bejana (i) adalah 0,54 cm, Tebal penutup (t) adalah 2,4765 cm. Dengan persamaan heat transfer maka akan didapatkan nilai Q adalah 766210,5 joule. bila waktu reaksi dibuat konstan selama 15 menit maka keperluan daya sebesar 851,345 watt ( maka di gunakan heater 1200 Watt) dengan factor safety 8 kali maka akan didapatkan tebal isolator 0,16 m.
- Proses pirolisis dari minyak jelantah dapat menghasilkan biooil dengan hasil terbesar hingga 89.98 %massa adalah dari pengujian 280 °C dengan lama pemanasan 15 menit. Sedangkan index kemurnian belum mencapai 100 hal ini menunjukkan produk yang dihasilkan perlu dilakukan proses pemurnian

## 6. ACKNOWLEDGMENT/UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terimakasih kepada DIKTI melalui Hibah Bersaing untuk pendanaan penelitian ini.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Brownell, L.E. and Young. Process Engineering Design 3 th Ed. New Delhi: Willey Eastern Ltd. 1979. Hal 254
- Frank; Kreith and William Zachary Black. Basic Heat Transfer. Harper and Row. 1980
- Frederick J. Bueche, Fisica, McGraw Hill, 2001
- Holman, J.P. Experimental Methods for Engineers. Mcgraw-Hill College; 6 edition. 1994. Hal 1
- Ketaren, S. Pengantar Teknologi Minyak dan lemak Pangan. Percetakan pertama. Jakarta : UI-Press. 1986.
- Ma, F. and Hanna, M.A., Biodiesel Production : A Review, Journal Bioresource Technology 70, 1999, pp. 1-15.
- Moran; Michael J. Introducing to Thermal Systems Engineering: Thermodynamics, Fluid Mechanics and Heat Transfer. New York: Wiley. 2003. Hal 364
- Sidjabat, O. Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar Setara Solar dengan Proses Transesterifikasi. Prosiding Seminar Nasional Daur Bahan Bakar. Jakarta, 27 Agustus 2003. Hal.2