

## PERANCANGAN REAKTOR PENGOLAHAN MINYAK GORENG BEKAS PEDAGANG GORENGAN DAN RUMAH MAKAN MENJADI BIODIESEL

Robiah<sup>1</sup>, Ani Melani<sup>1</sup>, Netty Herawati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang

Jl. Jend. A. Yani 13 Ulu Palembang

e-mail : superrobiah@yahoo.com, animelanihamid@yahoo.co.id,

netty\_herawati34@yahoo.co.id

### Abstrak

Sejalan dengan rencana Pemerintah yang tercantum dalam Lampiran II Keppres No.5/2006 untuk mengembangkan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) pada tahun 2025 akan memanfaatkan EBT 25%, maka dibuat rancangan reaktor biodiesel dengan meneliti data kinetika reaksi transesterifikasi jelantah menjadi biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar diesel yang bersifat biodegradable, tidak beracun, ramah lingkungan (tidak mengandung sulfur, rendah karbon monoksida), karbon dioksida yang dihasilkan dari pembakaran dapat didaur ulang oleh tumbuhan berfotosintesis. Karena jelantah mengandung asam lemak bebas cukup tinggi (>5%) maka perlu diesterifikasi dahulu sebelum ditransesterifikasi. Dengan mereaksikan jelantah (trigliserida) dan methanol dibantu katalis KOH dihasilkan etil ester (biodiesel) dan gliserol dalam labu leher tiga yang dilengkapi pemanas dan pengaduk. Digunakan rasio metanol dan minyak 1:6, jumlah pengadukan 300 rpm dan jumlah katalis 2% dan suhu 60 °C., dihasilkan kinetika reaksi transesterifikasi berlangsung orde satu, dengan konstanta kecepatan reaksi  $k = 5,12 \cdot 10^{-12} \cdot \exp(7.157/T)$ . Spesifikasi reaktor tangki berpengaduk yang cocok untuk menghasilkan biodiesel sebanyak 250 mL per batch (2,97 jam) diperlukan volume tangki 5 L; diameter tangki 16,19 cm; tinggi tangki 24,29 cm; tinggi liquid 19,44 cm; lebar baffle 1,62 cm; diameter pengaduk 5,4 cm, kecepatan putaran pengaduk 300 rpm, daya motor pengaduk 0,97 hp.

**Kata kunci :** reaktor tangki berpengaduk, biodiesel, transesterifikasi

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1.Latar Belakang

Potensi minyak goreng bekas banyak terdapat di kota Palembang karena masyarakatnya gemar mengkonsumsi makanan yang digoreng. Kurangnya pengetahuan masyarakat kadang-kadang minyak goreng bekas tersebut dibuang saja ke lingkungan sehingga dapat mencemari. Ada sebagian masyarakat kurang mampu membeli minyak goreng bekas untuk dikonsumsi, hal ini berbahaya bagi kesehatan. Sehingga perlu pencegahan hal diatas dengan memanfaatkan minyak jelantah untuk dikonversi menjadi biodiesel.

Biodiesel adalah bahan bakar diesel terdiri dari rantai alkil pendek (metil atau etil) ester, merupakan turunan dari minyak/lemak tumbuhan atau hewan sebagai bahan bakar diesel alternatif yang *renewable* (dapat diperbarui), bersifat ramah lingkungan karena *biodegradable* (dapat terurai), *nontoxic*, dan rendah emisi. (Zhang, 2003), dapat dibuat melalui proses esterifikasi, transesterifikasi, atau esterifikasi-transesterifikasi dengan alkohol (alkoholisasi).

Keuntungan pemakaian biodiesel (Ju *et.al.*, 2003) diantaranya :

- Merupakan bahan bakar ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang cukup baik (bebas sulfur, *smoke number* rendah).
- Angka cetana (*Cetane number*) tinggi (bilangan yang menunjukkan ukuran baik tidaknya kualitas solar berdasar sifat kecepatan bakar dalam ruang bakar mesin), sehingga efisiensi pembakaran lebih baik.
- Viskositas tinggi sehingga mempunyai sifat pelumasan yang lebih baik daripada solar sehingga memperpanjang umur mesin.
- Dapat diproduksi secara lokal.
- Merupakan *renewable energy* karena terbuat dari bahan alam yang dapat diperbaharui.

Dalam perancangan reaktor diperlukan data kondisi operasi (suhu, perbandingan pereaksi, jumlah katalis, pengadukan) serta data kinetika.

**1.2. Teori Dasar**

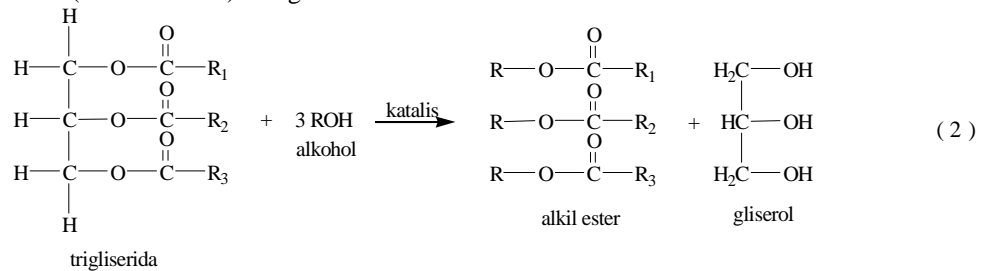
**1.2.3. Faktor yang mempengaruhi reaksi transesterifikasi**

Minyak goreng bekas mempunyai komponen utama berupa trigliserida dan asam lemak bebas. Pada pengolahan minyak goreng bekas pada penelitian ini menggunakan transesterifikasi dengan *pretreatment* esterifikasi, karena banyak mengandung asam lemak bebas (2-7%), sehingga jika langsung dilakukan proses transesterifikasi dapat terjadi reaksi penyabunan. Pada proses esterifikasi asam lemak bebas direaksikan dengan alkohol membentuk ester (biodiesel) dan air, dengan reaksi sebagai berikut :



Katalis yang cocok pada proses esterifikasi adalah asam kuat seperti asam sulfat, asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam kuat. Pada penelitian ini digunakan asam sulfat sebagai katalis. Tahap ini diharapkan tidak mengandung asam lemak bebas lagi, selanjutnya trigliserida dikonversi menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi.

Proses transesterifikasi, trigliserida direaksikan dengan alkohol dengan katalis basa, biasanya (NaOH, KOH, atau alkoksida seperti natrium metoksida, sodium etoksida). Alkohol bereaksi dengan trigliserida membentuk alkil ester (atau biodiesel) dan gliserol.



**Gambar 2. Reaksi transesterifikasi pembentukan senyawa alkil ester**

Alkohol lebih banyak digunakan adalah metanol karena lebih murah, merupakan senyawa polar berantai karbon terpendek sehingga bereaksi lebih cepat dengan trigliserida, dan melarutkan semua jenis katalis baik basa maupun asam (Zhang et al., 2003). Pada penelitian ini digunakan katalis basa KOH, karena lebih murah juga didasarkan pada penelitian Freedman et al. (1986) menunjukkan bahwa transesterifikasi katalis alkali kurang korosif terhadap peralatan daripada menggunakan katalis asam.

Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi adalah suhu, perbandingan pereaksi, pengadukan, jumlah dan jenis katalisator.

**Suhu.** Semakin tinggi suhu reaksi, semakin besar pula energi kinetik yang dimiliki zat-zat pereaksi sehingga semakin banyak molekul-molekul yang memiliki energi kinetik yang melebihi energi aktivasi. Akibatnya semakin banyak tumbukan antar molekul yang mengakibatkan reaksi. Kecepatan reaksi meningkat dengan meningkatnya suhu, sehingga konversi yang dihasilkan akan semakin besar.

**Perbandingan zat pereaksi.** Jika salah satu zat pereaksi dibuat berlebihan maka reaksi yang dapat balik akan bergeser ke kanan. Untuk esterifikasi minyak nabati, menurut Swern (1982), umumnya alkohol diberikan 1,2 - 1,75 kali kebutuhan stoikiometrisnya. Sedangkan pada transesterifikasi alkohol yang ditambahkan biasanya lebih dari 3 kalinya.

**Pengadukan.** Pencampuran yang baik dapat menurunkan tahanan perpindahan massa dan panas secara konveksi. Tingkat pencampuran ditunjukkan oleh tingkat turbulensi cairan pereaksi (Johnstone and Thring, 1957). Penurunan tahanan perpindahan massa terutama penting untuk reaksi-reaksi heterogen. Dengan berkurangnya tahanan perpindahan massa, makin banyak molekul-molekul yang dapat mencapai fase reaksi, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya reaksi.

**Jumlah dan jenis katalisator.** Pada reaksi yang berjalan lambat, penambahan katalis bertujuan untuk mempercepat reaksi dengan jalan menurunkan energi aktivasinya. Katalis basa tidak memerlukan suhu yang tinggi, sementara katalis asam umum digunakan untuk suhu sekitar 100 °C (Kirk & Othmer, 1980).

**1.2.4. Kinetika reaksi transesterifikasi**

Persamaan reaksi transesterifikasi :



Dengan :

A : trigliserida

B : alkohol

C : ester

D : gliserol

Kecepatan reaksi persamaan (3) dapat ditulis menjadi :

$$-r_A = k_1 C_A^a C_B^b - k_2 C_C^c C_D^d \quad (4)$$

Dengan :

$k_1, k_2$  : konstanta kecepatan reaksi

a,b,c,d : orde reaksi

T : suhu reaksi

$C_A$  : konsentrasi trigliserida pada waktu t

$C_B$  : konsentrasi alkohol pada waktu t

$C_C$  : konsentrasi gliserol pada waktu t

$C_D$  : konsentrasi ester pada waktu t

Reaksi alkoholisis merupakan reaksi bolak balik yang berjalan lambat (Groggins, 1958), sehingga untuk reaksi relatif pendek, reaksi ke kiri diabaikan terhadap reaksi ke kanan. Bila B (alkohol) berlebih, maka konsentrasi alkohol dianggap konstan, sehingga persamaan 4 menjadi :

$$-\frac{dC_A}{dt} = k C_A^\alpha \quad (5)$$

$$-r_A = k_1 C_A^\alpha \quad (6)$$

**Kemungkinan I**, jika reaksi orde 1 maka kecepatan reaksi pengurangan A adalah :

$$-\frac{dC_A}{dt} = k C_A \quad (7)$$

$$-\frac{dC_A}{C_A} = k \cdot dt \quad (8)$$

Persamaan diintegrasikan menjadi :

$$\ln \frac{1}{(1-x_A)} = k \cdot t \quad (9)$$

Dengan membuat grafik  $-\ln \frac{1}{(1-x_A)}$  Vs  $t$ , jika grafik menunjukkan garis lurus berarti asumsi orde satu adalah benar, akan diperoleh nilai k.

**Kemungkinan II**, jika reaksi orde 2 maka kecepatan reaksi pengurangan A adalah :

$$-\frac{dC_A}{dt} = k C_A^2 \quad (10)$$

$$-\frac{dC_A}{C_A^2} = k \cdot dt \quad (11)$$

Persamaan diintegrasikan menjadi :

$$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} + k.t \quad (12)$$

Dengan membuat grafik  $\frac{1}{C_A}$  Vs t, jika grafik menunjukkan garis lurus berarti asumsi orde dua adalah benar akan diperoleh harga k.

### 1.2.5. Spesifikasi Reaktor

Neraca massa reaktor *batch* :

$$F_{A0} - F_A + \int_0^V r_A dV = \frac{dN_A}{dt}$$

$$F_{A0} = F_A$$

Volume konstan :

$$\int_0^x \frac{-N_{A0} dx}{(-r_A)V} = \int_0^t dt \quad (13)$$

Dimana :

- V : Volume reaktor, satuan volume
- $N_{A0}$  : Banyak mol zat A awal yang masuk reaktor
- x : konversi
- t : waktu
- $r_A$  : kecepatan reaksi
- $r_A = f(\text{konsentrasi, suhu, katalis, pengadukan})$

Volume reaktor dapat dihitung, dengan menentukan konversi dan jumlah produk yang diinginkan.

#### 1) Ukuran Reaktor :

i. Volume reaktor (V)

Volume reaktor dihitung dari persamaan (13).

ii. Diameter tangki (Dt)

Diambil rasio antara (tinggi/ diameter) tangki,

$$Ht / Dt = 1,5 / 1 \quad (14)$$

iii. Ratio antara diameter impeller dan tangki,

$$Di / Dt = 0,3 \quad (15)$$

iv. Ratio antara tinggi liquid dan diameter tangki,

$$Hi / Dt = 1,05 \quad (16)$$

v. Ratio antara baffle dan diameter tangki,

$$Wb / Dt = 0,1 \quad (17)$$

vi. Ratio antara tinggi impeller dari bottom tangki dan diameter tangki,

$$Hi / Dt = 1 \quad (18)$$

vii. Jumlah baffle dipakai 4 buah

#### 2) Sistem Pengadukan

##### (a) Diameter pengaduk, (Dp)

Diameter pengaduk dihitung dengan persamaan:

$$Dt / Dp = 3/1 \quad (19)$$

##### (b) Kecepatan putaran pengaduk = N

Kecepatan putaran pengaduk dihitung dengan persamaan :

$$N = (WELH / 2Dp)^{0.5} X (600 / \pi Dp) \quad (20)$$

Dengan  $WELH = \text{Water Equivalent Liquid Height}$   
 $= (\rho \text{ cairan} / \rho \text{ air}) \times Dt$

**(c) Daya motor pengaduk (Dhp)**

Daya yang diperlukan oleh motor pengaduk dihitung dengan persamaan:

$$Dhp = P_0 \cdot N^3 \cdot \rho \cdot Dp^5 / g_c \quad (21)$$

Dengan: Dhp = daya motor pengaduk = hp  
 $P_0 = \text{Fungsi bilangan Reynolds} = 5,5$   
 $g_c = \text{Percepatan gaya gravitasi} = 32,2 \text{ ft/sec}^2$   
 $Dp = \text{Diameter pengaduk}$   
 $N = \text{Kecepatan putaran pengaduk}$

## 2. METODE PENELITIAN

**Untuk menentukan rancangan reaktor diperlukan data kinetika reaksi dengan tahapan proses berikut :**

### Proses Esterifikasi

Minyak jelantah ditambahkan asam sulfat pekat sebanyak 0,25% berat minyak, kemudian dipanaskan dengan hotplate sampai suhu 60 °C dalam erlenmeyer. Kemudian methanol 1,25 kali banyak minyak dimasukkan dalam erlenmeyer yang dilengkapi pendingin balik, dipanaskan sampai 60 °C dengan hotplate lalu dimasukkan dalam reaktor dilengkapi dengan pengaduk stirrer magenitc, condensor. Pendingin menggunakan air es yang ditampung dalam water batch. Suhu dalam reaktor dipertahankan pada 60 °C. Setelah 100 menit reaksi dihentikan, kemudian hasil reaksi dimasukkan dalam corong pemisah dan didiamkan sampai suhu kamar selama satu malam. Minyak hasil reaksi dicuci dengan aquadest sambil diaduk dengan magnetic stirrer selama 15 menit sebanyak dua kali. Selanjutnya minyak dan aquadest dipisah dengan corong pemisah, lalu minyak dipanaskan pada 100 °C menghilangkan air sisa sampai berat konstan.

### Proses Transesterifikasi

Pada tahapan ini disiapkan larutan metoksida dengan melarutkan KOH 1,8 gram dalam 700 ml methanol diaduk dengan magnetic stirrer. Minyak 100 mL dipanaskan dengan hotplate dengan suhu 60 °C, lalu ditambahkan larutan Kalium metoksida (2% dari volume jelantah), sambil dilakukan pengadukan 300 rpm, selama 70 menit. Hal tersebut di atas dilakukan jumlah katalis Kalium metoksida 2%.

### Pemurnian hasil

Campuran hasil reaksi dimasukkan dalam alat distilasi untuk memisahkan metanol. Setelah ester dan gliserol terbentuk menjadi dua lapisan sempurna, distilasi dihentikan. Lapisan bawah berupa gliserol dan lapisan atas berupa ester dan sisa minyak, kemudian gliserol dipisahkan dengan corong pemisah, gliserolnya dianalisis sedangkan ester dan sisa minyak dicuci dengan aquadest dan 2 mL asam asetat untuk memisahkan sisa katalis sambil diaduk dengan mercury dengan kecepatan 500 rpm selama 15 menit, pencucian dilakukan dua kali. Setelah itu ester (biodiesel) hasil pencucian dimasukkan dalam corong pemisah dibiarkan sampai membentuk dua lapisan, ester di atas dan air di bawah lalu dipisahkan. Biodiesel dimasukkan dimasukkan dalam beaker glass dipanaskan pada 100 °C selama 1 jam untuk menguapkan air sisa.

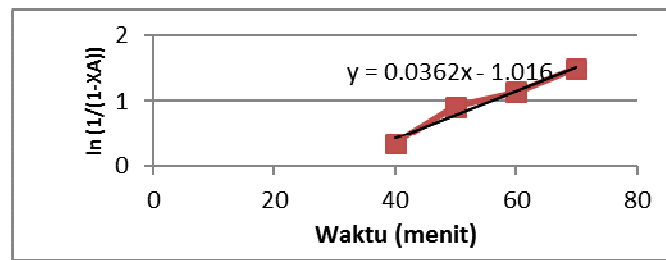
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kondisi Operasi

Kondisi operasi yang baik dari hasil penelitian sebelumnya (Robiah dkk, 2013) diperoleh rasio metanol terhadap minyak jelantah pada 6:1, dengan konversi minyak jelantah 0,77 setelah 70 menit, jumlah pengadukan 300 rpm, jumlah katalis 2% (berat), dan suhu 60 °C.

### 3.2. Menentukan orde reaksi:

- a. Kemungkinan I (asumsi orde reaksi 1) menggunakan persamaan (9), dengan membuat grafik  $\ln \frac{1}{(1-x_A)} V_s t$  akan diperoleh nilai k.



**Grafik 5. Hubungan  $\ln \frac{1}{(1-x_A)}$  Vs. t pada suhu 40 °C**

Kecenderungan grafik menunjukkan garis lurus, maka asumsi reaksi orde satu adalah benar. Selanjutnya dihitung harga k untuk suhu 40 -. 60 °C, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1. Data konversi dan nilai k pada berbagai suhu.**

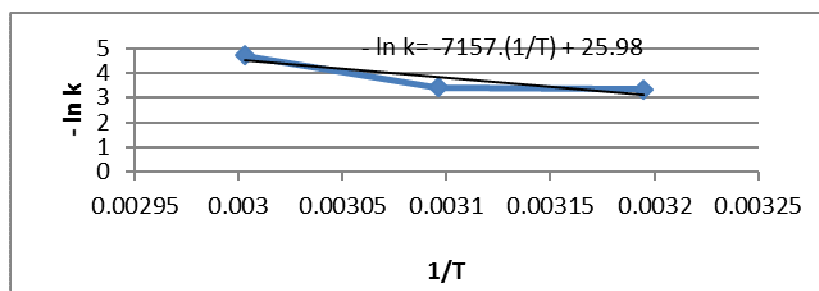
Suhu (°C)	Konversi (%)				k (1/mol.men)
	40 men	50 men	60 men	70 men	
40	29,34	58,68	66,25	75,71	0,036
50	37,85	70,04	72,88	77,60	0,033
60	66,25	70,98	72,88	76,66	0,009

Harga E (Energi aktivasi) dan persamaan k, dihitung dengan menggunakan rumus Arrhenius :

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{RT} \tag{21}$$

Dibuat grafik ln k Vs 1/T, maka akan diperoleh harga E.

Suhu (K)	1/T	- ln k
303	0,0033	3,32
313	0,0032	3,41
323	0,0031	4,71



**Grafik 1. Hubungan antara 1/T Vs -ln k**

Dari grafik 1, diperoleh harga  $E = 59.503,3$  Joule dan persamaan konstanta kecepatan reaksi  $k = 5,12 \cdot 10^{-12} \cdot \exp(7.157/T)$ . Maka persamaan kecepatan reaksi transesterifikasi diperoleh sebagai berikut :

$$-r_A = kC_A \quad (23)$$

Dengan :  $k = 5,12 \cdot 10^{-12} \cdot \exp(7.157/T)$ .

### 3.3. Spesifikasi Reaktor pada Sintesa Biodisel dari Minyak Jelantah

#### 3.3.1. Waktu reaksi ( $t_r$ )

Dari persamaan (13) neraca massa reaktor *batch* :

$$\int_0^x \frac{-N_{A0} dx}{(-r_A)V} = \int_0^t dt$$

Reaksi orde satu :  $-r_A = kC_{A0}(1-x)$

$$t = \frac{N_{A0}}{V} \int_0^x \frac{dx}{kC_{A0}(1-x)}$$

$$t = \int_0^x \frac{dx}{k(1-x)}$$

$$t = \frac{1}{k} (-\ln(1-x)) \Big|_0^x$$

$T = 60 \text{ }^\circ\text{C} = 333 \text{ K}$

$k = 5,12 \cdot 10^{-12} \cdot \exp(7.157/T)$

$k = 5,12 \cdot 10^{-12} \cdot \exp(7.157/333)$

$k = 0,011049455$

Jika diinginkan  $x = 0,77$

$$t = \frac{1}{k} (-\ln(1-x)) \Big|_0^x$$

$$t = \frac{1}{0,011049455} (-\ln(1-0,77))$$

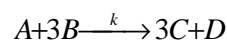
$$t = 133 \text{ menit}$$

Waktu pembersihan asumsi 45 menit, maka total waktu satu *cycle batch* ( $t_b$ ):

$$t_b = 133 \text{ menit} + 45 \text{ menit} = 178 \text{ menit} = 2,97 \text{ jam}$$

#### 3.3.2. Volume reaktor

Jika diinginkan metal ester (biodiesel) sebanyak 250 mL tiap *batch*.



Jika A : trigliserida, B : methanol, C : metyl ester, D : gliserol

$$N_C = 3N_{A0} x = 250 \text{ mL/jam} = 250 \text{ mL/jam} (0,999 \text{ gr/mL}) \\ = 0,883 \text{ gmol/jam}$$

$$N_{A0} = N_C / (3x) = [0,883 \text{ gmol/jam}] / [3 \times 0,77] \\ = 0,382 \text{ gmol/jam} (847 \text{ gr/gmol})$$

$$m_{A0} = 323,59 \text{ gram / jam}$$

$$V_{A0} = 0,798 \text{ L}$$

$$\text{Vol katalis} = 2\% = 0,016 \text{ L}$$

$$\text{Volume methanol} = 6(0,798) = 3,2 \text{ L}$$

$$\text{Volume katalis} = 0,016 \text{ L}$$

$$\text{Volume total umpan} = 0,798 \text{ L} + 3,2 \text{ L} + 0,016 \text{ L} = 4 \text{ L}$$

Faktor keamanan 25%

Volume reaktor =  $1,25 \times 4 \text{ L} = 5 \text{ Liter}$

### 3.3.3. Spesifikasi reaktor

Spesifikasi reaktor mempunyai ukuran sebagai berikut :

- a. Diameter tangki,  $D_t = 16,19 \text{ cm}$
- b. Tinggi silinder,  $H_t = 24,29 \text{ cm}$
- c. Tinggi liquid,  $H_l = 19,44 \text{ cm}$
- d. Lebar baffle,  $W_b = 1,62 \text{ cm}$
- e. Diameter pengaduk,  $(D_p) = 5,4 \text{ cm}$
- f. Daya motor pengaduk  $(D_{hp}) = 0,97 \text{ hp}$

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dengan rasio metanol dan minyak 1:6, jumlah pengadukan 300 rpm dan jumlah katalis 2% dan suhu  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ., dihasilkan kinetika reaksi transesterifikasi berlangsung orde satu, dengan konstanta kecepatan reaksi  $k = 5,12 \cdot 10^{-12} \cdot \exp(7.157/T)$ . Spesifikasi reaktor tangki berpengaduk yang cocok untuk menghasilkan biodiesel sebanyak 250 mL per *batch* (2,97 jam) diperlukan volume tangki,  $V_t = 5 \text{ L}$ ; diameter tangki,  $D_t = 16,19 \text{ cm}$ , tinggi tangki,  $H_t = 24,29 \text{ cm}$ ; Tinggi liquid,  $H_l = 19,44 \text{ cm}$ ; Lebar baffle,  $W_b = 1,62 \text{ cm}$ . diameter pengaduk,  $D_p = 5,4 \text{ cm}$ , kecepatan putaran pengaduk  $N = 300 \text{ rpm}$ , daya motor pengaduk,  $D_{hp} = 0,97 \text{ hp}$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tidak lupa kami ucapkan banyak terima kasih kepada DP2M Dirjen Dikti yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Freedman, B., Butterfield, R.O., Prude, E.H., 1986. "Transesterification Kinetics of Soybean oil", *J. Am. Oil Soc. Chem.*, 63, 1375-1380.
- Groggins, P. H., 1958, "*Unit Processes in Organics Synthesis*", 5 ed., pp. 670-728, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Ju Yi-Hsu, S.H., Vali., H., Jeng, A. Widjaya, 2003, "Biodiesel from Rice Bran Oil", *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*, Yogyakarta.
- Kirk, R.E and Othmer, D.F., 1978, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed, A Willey Interscience Publication, John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Robiah, Melani A., Herawati N., 2013, "Perancangan Reaktor Pengolahan Minyak Goreng Bekas Pedagang Gorengan dan Rumah Makan Menjadi Biodiesel", *Laporan Penelitian Hibah Bersaing*, Proyek Multitahun, Dikti, Jakarta.
- Swern, D., 1982a, "*Introduction to Fat and Oil Technology*", John Wiley and Sons, New York
- Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, D.D., Kates, M., (2003), "Review paper : Biodiesel production from waste cooking oil : 1. Process design and technological assessment", *Bioresource Technoogy*., 89, hal. 1- 16