

# Penentuan Suhu dan Waktu Optimum Metanolisis Minyak Curah dengan Katalisator NaOH

Meilana Dharma Putra<sup>1</sup>

**Abstract** - Crude oil derivate called diesel oil that included as unrenewable fuel mostly is used in industrial and transportation fields. Nowadays, the diesel oil's demand is increasing. Therefore, alternative sources from renewable raw material such as bio oil for substituting diesel oil from crude oil are very urgent. From this research, we got optimum temperature and optimum time for production bio diesel from crude oil.

This research was conducted by react metanolat solution with bio oil in stirred-vessel at atmospheric pressure and certain temperature until required time. The research shows that optimum condition for production bio diesel from crude oil at temperature 40°C and reaction time 80 minutes, with stirrer-velocity 350 rpm and catalyst concentration 1% oil-mass. For this condition, the conversion that we got is 64, 67 %.

---

*Keywords: diesel oil, metanolat, crude oil.*

---

## PENDAHULUAN

### *Latar Belakang*

Minyak diesel dan solar merupakan salah satu produk minyak bumi yang digunakan sebagai bahan bakar. Dengan meningkatnya penggunaan mesin diesel di bidang perindustrian dan transportasi, penggunaan minyak diesel dan solar juga meningkat –sebagai bahan bakar *unrenewable*-. Maka diperlukan energi alternatif untuk persiapan energi di masa depan disebabkan cadangan minyak bumi semakin sedikit.

Minyak nabati merupakan bahan baku cukup potensial digunakan sebagai sumber energi. Minyak nabati merupakan sumber bahan yang dapat diperbaharui, dapat dihasilkan secara periodik, mudah mendapatkannya, memperlihatkan kestabilan harga, dan produksinya bisa disesuaikan dengan kebutuhan.

Penggunaan minyak nabati sebagai bahan baku telah banyak dilakukan berbagai penelitian oleh banyak peneliti. Misalnya minyak kacang tanah, minyak kemiri, minyak kedelai, minyak goreng bekas, CPO dan lain-lain. Indonesia merupakan negara penghasil CPO terbesar kedua setelah Malaysia. Besarnya kuantitas CPO yang dihasilkan belum semuanya mampu dioptimalkan pengolahannya sehingga terjadi surplus produksi CPO. Sehingga sangat menguntungkan jika dijadikan bahan baku sumber energi menjadi biodiesel termasuk minyak curah sebagai produknya.

Penelitian ini mereaksikan minyak curah dengan metanol sehingga dihasilkan gliserol dan ester-ester baru dengan rantai karbon yang relatif lebih pendek. Ester dengan rantai karbon yang lebih pendek ini memiliki kekentalan (viscositas) yang lebih rendah bila dibandingkan dengan minyak mula-mula. Ester baru ini memungkinkan untuk dipakai sebagai biodiesel yang tentu saja harus melalui pengujian terhadap *flash point*, kandungan karbon residu, *pour point*, juga biaya produksi. Gliserol yang dihasilkan juga memiliki banyak kegunaan antara lain untuk industri bahan peledak, tinta, kosmetika, obat-obatan, plastik, dan sabun (Wertheim and Jaskey,1956).

### *Perumusan Masalah*

Penelitian ini mempelajari kinetika reaksi alkoholisis minyak curah dengan metanol untuk menghasilkan gliserol dan ester menggunakan katalisator NaOH. Ester yang dihasilkan dipisahkan dari gliserolnya sebagai biodiesel. Perumusan masalah yang menjadi dasar penelitian ini adalah dapat menentukan kondisi optimum suhu dan waktu reaksi metanolisis minyak curah, dan mengetahui hasil produk biodiesel untuk dibandingkan dengan minyak diesel.

### *Tujuan Penelitian*

Mempelajari pengaruh waktu reaksi, suhu, untuk mendapatkan konversi maksimum pada metanolisis minyak curah memakai katalisator NaOH. Hasil reaksi dipisahkan sehingga

---

<sup>1</sup> Staf pengajar Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin

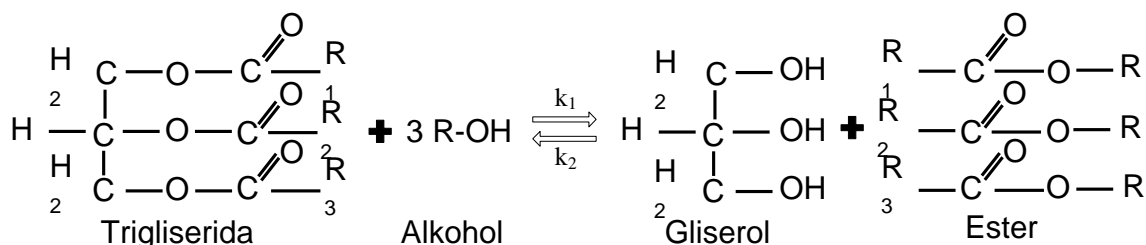
dihasilkan gliserol dan ester. Gliserol yang dihasilkan dianalisis untuk menentukan konversi reaksi. Sedangkan ester diuji densitas dan viskositasnya untuk dibandingkan dengan minyak diesel.

## KAJIAN TEORITIS

Minyak atau asam lemak merupakan senyawa yang tidak larut dalam air dan keduanya merupakan kondensasi dari 1 molekul gliserol dan 3 molekul asam lemak membentuk trigliserida (Swern, 1964). Minyak, lemak, steroid dan terpenin termasuk golongan lipida dengan ikatan kimia yang terbentuk secara alami. Zat ini memang tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut organik nonpolar misal eter (Fessenden, 1979). Gliserida dari asam jenuh dengan rantai panjang mempunyai titik leleh yang lebih tinggi daripada yang terbuat dari asam jenuh dengan rantai pendek atau tak jenuh.

Alkoholisis adalah reaksi penting gliserid. Pada reaksi alkoholisis, alkohol bereaksi dengan ester membentuk ester baru (Grogginns, 1958). Reaksi alkoholisis bersifat reversible pada suhu kamar dan berjalan sangat lambat tanpa bantuan katalisator.

Persamaan reaksi dapat dituliskan sebagai berikut:



Gambar 1. Skema Reaksi Alkoholisis pada Minyak Secara Umum

Faktor-faktor yang mempengaruhi konversi dan kecepatan reaksi alkoholisis adalah:

- *Waktu reaksi*

Semakin panjang waktu reaksi, konversi yang dicapai semakin tinggi, karena makin banyak zat-zat pereaksi yang bertumbukan. Pada alkoholisis minyak biji nyamplung dengan katalisator KOH yang dilakukan pada tekanan atmosferis, konversi yang dicapai 59,06 % dan 78 % masing-masing dalam waktu 0.5 jam dan 1 jam. (Prasetyaningsih, 1989).

- *Perbandingan pereaksi*

Reaksi alkoholisis biasanya terjadi pada fase cair. Salah satu reaktan dibuat agak berlebihan untuk memperbesar frekuensi tumbukan, atau salah satu hasil reaksi diambil secepatnya agar kesetimbangan bergeser ke kanan (Kirk and

Othmer, 1979). Pada perbandingan pereaksi 4,13 grek etanol/minyak biji karet menghasilkan konversi sebesar 60,02% (Wiratni, 1995).

- *Katalisator*

Dalam reaksi alkoholisis, katalisator yang biasa dipakai adalah katalisator basa (NaOH, KOH). Reaksi alkoholisis tanpa katalisator memerlukan suhu diatas 250°C, sedangkan dengan katalisator basa dapat berlangsung pada suhu kamar (Kirk and Othmer, 1980). Pemakaian katalisator basa biasanya sebesar 0,5-1,0 % berat minyak (Grogginns, 1958). Fungsi katalisator adalah menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi dapat berjalan lebih cepat. Alkoholisis minyak biji nyamplung memakai katalisator KOH 0.3036 N mencapai konversi 77.46 % (Prasetyaningsih, 1989).

- *Pengadukan*

Agar reaksi berjalan baik, diperlukan pencampuran sebaik-baiknya. Salah satu cara adalah dengan pengadukan, untuk memperbesar tumbukan antara molekul yang turut bereaksi. Berdasarkan persamaan Archenius berikut:

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

dengan:

$k$  = konstanta kecepatan reaksi

$A$  = faktor tumbukan

$E$  = tenaga pengaktif, J/gmol

$R$  = tetapan gas umum, J/gmol/K

$T$  = suhu absolut, K

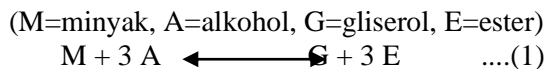
Dapat dilihat bahwa tumbukan yang semakin besar menyebabkan konstanta kecepatan reaksi semakin besar pula. Pada etanolisis minyak jarak digunakan kecepatan pengadukan 400-450 rpm (Wiratni, 1995).

- *Suhu*

Semakin tinggi suhu, kecepatan reaksi semakin meningkat, sesuai dengan persamaan Archenius  $k = A \exp(-E/RT)$ . Dengan katalisator basa seperti KOH, reaksi alkoholisis dapat dilakukan pada suhu kamar.

Pada reaksi alkoholisis (etanol) minyak jarak pagar dengan katalisator NaOH 0,7138% didapatkan konversi sebesar 84,61% pada suhu 120°C (Purnomo Junaidi, 1992).

Senyawa-senyawa yang ada selama proses alkoholisis adalah trigleserida (minyak curah), alkohol (metanol), gliserol, ester baru dan katalisator NaOH. Persamaan alkoholisis dapat ditulis sebagai berikut:



Persamaan reaksi yang terjadi:

$$r_m = -\frac{dC_m}{dt} = k_1 C_m C_a - k_2 C_g C_e \quad \dots(2)$$

dengan:  $C_m, C_a, C_g, C_e$  = konsentrasi minyak kacang tanah, alkohol, ester, dan hasil samping.  
 $k_1, k_2$  = konstanta kecepatan reaksi

Reaksi alkoholisis merupakan reaksi seimbang berjalan lambat (Groggins, 1958), sehingga pada permulaan proses kecepatan reaksi ke kiri dapat diabaikan. Persamaan (2) menjadi:

$$r_m = -\frac{dC_m}{dt} = k_1 C_m C_a \quad \dots(3)$$

Konsentrasi alkohol dianggap konstan karena alkohol yang digunakan berlebihan dan keseimbangan bergeser ke kanan sehingga untuk waktu reaksi yang relatif pendek dibandingkan dengan waktu terjasinya keseimbangan, reaksi ke kiri dapat diabaikan terhadap reaksi ke kanan, persamaan (3) menjadi:

$$r_m = -\frac{dC_m}{dt} = k_1 C_m \quad \dots(4)$$

Setelah proses berlangsung selama  $t$  menit, maka berlaku:

$$C_m = C_{m0} (1 - x) \quad \dots(5)$$

$$-dC_m = -C_{m0} dx \quad \dots(6)$$

Dengan cara substitusi persamaan (5) dan (6) ke persamaan (4) dan integral persamaan (4) dihasilkan:

$$-\ln(1-x) = kt + B \quad \dots(7)$$

dengan:

$x$  = konversi

$t$  = waktu reaksi, menit

$k$  = konstanta kecepatan reaksi, menit<sup>-1</sup>

Alkoholisis minyak curah mengikuti reaksi order satu bila grafik  $-\ln(1-x)$  terhadap waktu reaksi  $t$  berupa garis lurus, dan nilai konstanta kecepatan reaksi ke kanan dapat dihitung berdasarkan besarnya gradien.

Hubungan antara konsentrasi katalisator dengan konstanta kecepatan reaksi dapat dinyatakan dengan persamaan Arrhenius. Dengan menganggap penambahan katalisator paling berpengaruh pada tenaga pengaktif (E). Konsentrasi katalisator (N) berbanding terbalik

dengan besarnya tenaga pengaktif, sehingga persamaan Arrhenius ditulis:

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{1}{NRT}\right) \quad \dots(8)$$

## METODE

Dalam penelitian ini digunakan sebagai berikut: minyak curah dengan berat molekul 904 g/gmol, rapat massa 0,875 g/ml, dan ekuivalen asam lemak total 3,5882 mgrek/gr minyak; metanol berupa cairan tidak berwarna dengan kadar 96 % dan memiliki rapat massa 0,7925 gr/ml; NaOH; Aquadest dan HCl.

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Tahap persiapan

Persiapan minyak curah: minyak curah terlebih dahulu dianalisis untuk mengetahui rapat massa, kadar air, ekuivalen asam lemak bebas, ekuivalen asam lemak total. Minyak yang akan digunakan untuk proses alkoholisis harus benar-benar bersih sehingga harus disaring dan agar tidak mengganggu jalannya proses.

Pembuatan larutan metanolat: Larutan Metanolat diperoleh dengan mencampurkan metanol dengan kadar 96 % dengan katalisator NaOH dengan menggunakan *magnetic stirrer*, agar terjadi pengikatan dan pencampuran yang sempurna antara metanol dan katalis. Sehingga katalis tidak langsung bereaksi dengan minyak nabati yang dapat menimbulkan sabun.

### 2. Tahap Merangkai Alat

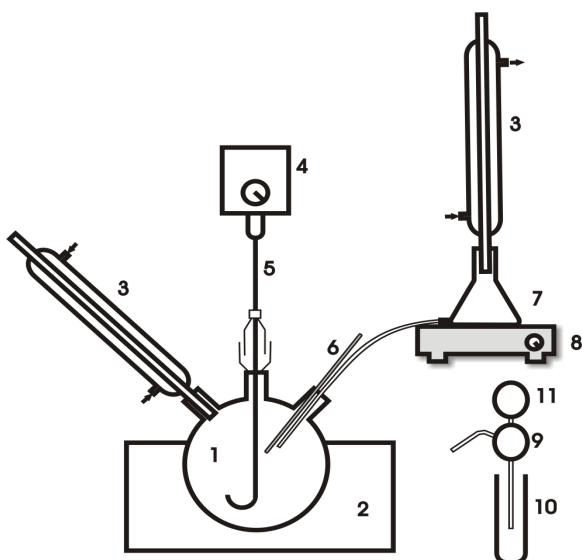
Reaktor yang digunakan yaitu reaktor *batch* labu leher tiga volume 1000 ml yang telah dilengkapi dengan motor pengaduk, pemanas mantel, pengaduk merkuri, batang pengaduk, pendingin balik, termometer, alat pengambil cuplikan, dan saluran pemasukan larutan metanol-KOH.

### 3. Tahap Percobaan dan analisis hasil

Untuk mempelajari pengaruh waktu dan suhu reaksi, metanolisis dilaksanakan pada tekanan atmosferis didalam labu leher tiga seperti Gambar 2. Larutan metanolat dimasukkan kedalam labu leher tiga terlebih dahulu, kemudian memanaskan sesuai dengan suhu yang diinginkan. Pada saat bersamaan, minyak juga dipanaskan sesuai dengan suhu yang diinginkan. Setelah tercapai suhu yang diinginkan, minyak dimasukkan ke dalam labu leher tiga dengan kecepatan pengadukan yang telah ditentukan.

#### 1. Menentukan Waktu yang Memberikan Konversi Maksimum

(pada konsentrasi katalis 1 % berat minyak)



Gambar 2. Rangkaian Alat Penelitian Metanolisis Minyak Curah

Keterangan :

1. Labu leher tiga
2. Pemanas mantel
3. Pendingin balik
4. Motor pengaduk
5. Pengaduk
6. Termometer
7. Erlenmeyer
8. Kompor listrik
9. Pengambil cuplikan
10. Penampung cuplikan
11. Karet penghisap

- Mengambil 250 ml minyak curah dengan menggunakan gelas ukur.
- Mengambil methanol sebanyak 62,5 ml (untuk perbandingan pereaksi 4), lalu dimasukkan ke dalam reaktor, dimana volume methanol yang akan diambil dihitung menggunakan persamaan :

$$\frac{mgrek_{ethanol}}{mgrek_{minyak}} = \frac{1 \times \rho_{ethanol} \times V_{ethanol} \times 1000}{EALT \times \rho_{minyak} \times V_{minyak}} \times \frac{BMethanol}{}$$

dengan:

$V_{ethanol}$  = volume methanol absolut yang akan diambil, ml

$V_{minyak}$  = volume minyak = 250 ml

EALT = ekivalen asam lemak total minyak

$\rho_{ethanol}$ ,  $\rho_{minyak}$  = massa jenis, g/ml

$BM_{ethanol}$  = berat molekul methanol = 31,07 mg/mmol

$mgrek_{ethanol}$ ,  $mgrek_{minyak}$  = gram ekivalen methanol absolut dan minyak

- Mengambil NaOH pellet 2,1875 gram kemudian dilarutkan dalam metanol sebanyak 62,5 ml yang berada dalam reaktor dengan menggunakan *magnetic stirrer*, dimana berat NaOH yang akan diambil dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$W_{NaOH} = K \times \rho_{minyak} \times V_{minyak}$$

dengan,

$W_{KOH}$  = berat NaOH yang akan diambil, gram

K = konsentrasi katalis, %

$\rho_{minyak}$  = 0,875 g/ml

$V_{minyak}$  = volume minyak = 250 ml

- Memasukkan 250 ml minyak curah ke dalam reaktor yang telah berisi larutan metanolat.
- Reaksi dijalankan dalam reaktor tersebut pada suhu 60 °C
- Pengambilan *sample* dilakukan setiap 20 menit mulai dari 60 - 140 menit (dimulai dari saat pencampuran) masing-masing 1 gram dengan duplikasi.
- *Sample* yang diperoleh kemudian dianalisis.
- Setelah 140 menit, proses dihentikan dan sisa hasil reaksi diekstraksi dengan *aquadest*

2. Menentukan Suhu yang Memberikan Konversi Maksimum

(pada konsentrasi katalis 1 % berat minyak)

- Mengambil 250 ml minyak curah dengan menggunakan gelas ukur.
- Mengambil methanol sebanyak 62,5 ml (untuk perbandingan pereaksi 4), lalu dimasukkan ke dalam reaktor, dimana volume methanol yang akan diambil dihitung menggunakan persamaan :

$$\frac{mgrek_{ethanol}}{mgrek_{minyak}} = \frac{1 \times \rho_{ethanol} \times V_{ethanol} \times 1000}{EALT \times \rho_{minyak} \times V_{minyak}} \times \frac{BMethanol}{}$$

dengan:

$V_{ethanol}$  = volume methanol absolut yang akan diambil, ml

$V_{minyak}$  = volume minyak = 250 ml

EALT = ekivalen asam lemak total minyak

$\rho_{ethanol}$ ,  $\rho_{minyak}$  = massa jenis, g/ml

$BM_{ethanol}$  = berat molekul methanol = 31,07 mg/mmol

$mgrek_{ethanol}$ ,  $mgrek_{minyak}$  = gram ekivalen methanol absolut dan minyak

- Mengambil NaOH pellet 2,1875 gram kemudian dilarutkan dalam metanol sebanyak 62,5 ml yang berada dalam reaktor dengan menggunakan *magnetic stirrer*, dimana berat KOH yang akan diambil dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$W_{NaOH} = K \times \rho_{min,yak} \times V_{min,yak}$$

dengan,

$W_{KOH}$  = berat NaOH yang akan diambil, gram

K = konsentrasi katalis, %

$\rho_{minyak}$  = 0,875 g/ml

$V_{minyak}$  = volume minyak = 250 ml

- Memasukkan 250 ml minyak curah ke dalam reaktor yang telah berisi larutan metanolat.
- Reaksi dijalankan dalam reaktor tersebut pada variasi suhu setiap kenaikan 10 °C dari suhu 30-70 °C
- Pengambilan *sample* dilakukan setelah 60 menit (waktu reaksi) dimulai dari saat pencampuran masing- masing 1 gram dengan duplikasi.
- *Sample* yang diperoleh kemudian dianalisis.
- Setelah 60 menit, proses dihentikan dan sisa hasil reaksi diekstraksi dengan *aquadest*

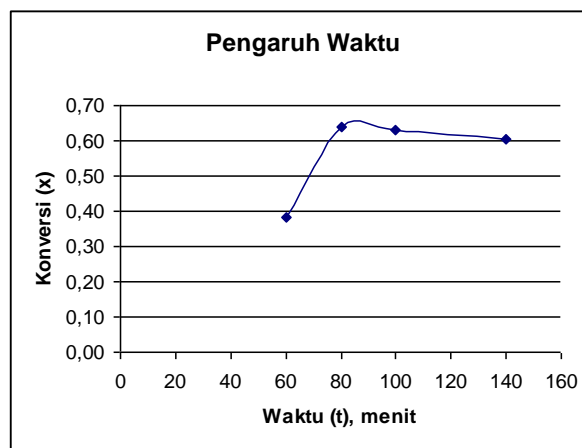
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Menentukan Waktu yang Memberikan Konversi Maksimum

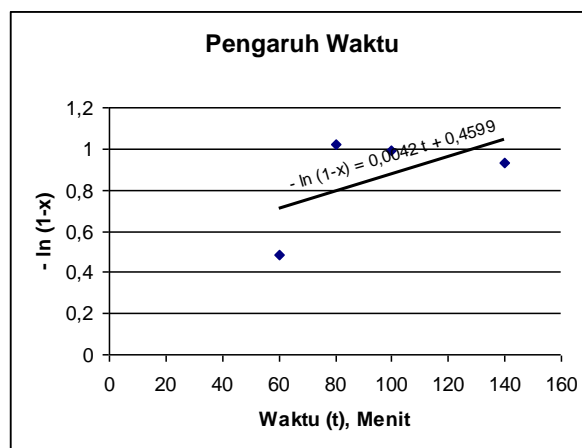
Pada percobaan ini untuk mengetahui waktu optimum yang memberikan Konversi yang maksimum, dilakukan pada kondisi sebagai berikut: konsentrasi katalis NaOH 1 % berat minyak, volume minyak 250 ml, volume Metanol 62,5 ml, suhu operasi 60°C, kecepatan pengadukan 350 rpm. Dari operasi tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel I. Data Hubungan Waktu reaksi terhadap Konversi

No	Kondisi	Pengaruh Waktu, menit	Density, gr/cm <sup>3</sup>	Viskositas, gr/(cm.det)	Konversi (x)	=-Ln(1-x)
1	5:1	60	0,8670	5,1987	0,38	0,48156846
2	1% katalis	80	0,8621	5,4205	0,64	1,02411269
3	60 oC	100	0,8615	4,7485	0,63	0,99481549
4	350 rpm	140	0,8619	4,9721	0,61	0,93124187



Gambar 3. Hubungan antara konversi (x) dan waktu (t)



Gambar 4. Hubungan antara  $-\ln(1-x)$  dan waktu (t)

Tabel I dan Gambar 3 menunjukkan adanya kecenderungan semakin lama waktu reaksi konversi akan semakin naik karena makin banyak zat-zat reaksi yang bertumbukan. Namun kondisi optimum pada waktu 80 menit, yang berarti menunjukkan pada waktu tersebut keadaan setimbang telah tercapai. Dari Gambar 4 yang memperlihatkan hubungan  $-\ln(1-x)$  terhadap waktu dapat digunakan untuk menentukan  $t_0$  yang

selanjutnya dipakai untuk peubah yang lain. Sehingga didapatkan nilai  $k = 0,0042$  /menit,  $b = 0,4699$ , dan  $t_0 = -111,8809$  menit, dengan persamaan umum:

$$-\ln(1-x) = 0,0042 t + 0,4699 \dots(9)$$

Untuk peubah yang lain, dari persamaan (9) mencari nilai k dengan menggunakan rumus:

$$k = \frac{-\ln(1-x)}{t-t_0} \quad \dots(10)$$

2. Menentukan Suhu yang Memberikan Konversi Maksimum

Pada percobaan ini untuk mengetahui suhu optimum yang memberikan Konversi yang maksimum, dilakukan pada kondisi sebagai berikut: konsentrasi katalis NaOH 1 % berat minyak, volume minyak 250 ml, volume Metanol 62,5 ml, waktu operasi 100 menit, kecepatan pengadukan 350 rpm. Dari operasi tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

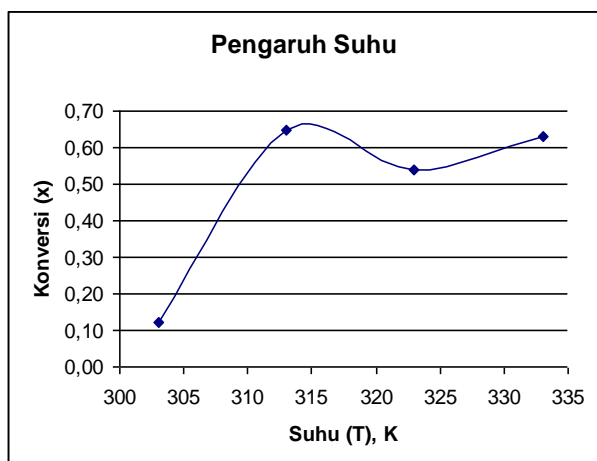
Tabel II. Data Hubungan suhu reaksi terhadap Konversi

No	Kondisi	Pengaruh Suhu, °C	Density, gr/cm <sup>3</sup>	Viskositas, gr/(cm.det)	Konversi (x)	=-Ln(1-x)
1	5:1	30	0,8615	4,7723	0,12	0,12865385
2	1% katalis	40	0,8728	7,7269	0,65	1,04062579
3	100 menit	50	0,8620	4,5524	0,54	0,77759911
4	350 rpm	60	0,8615	4,7485	0,63	0,99481549

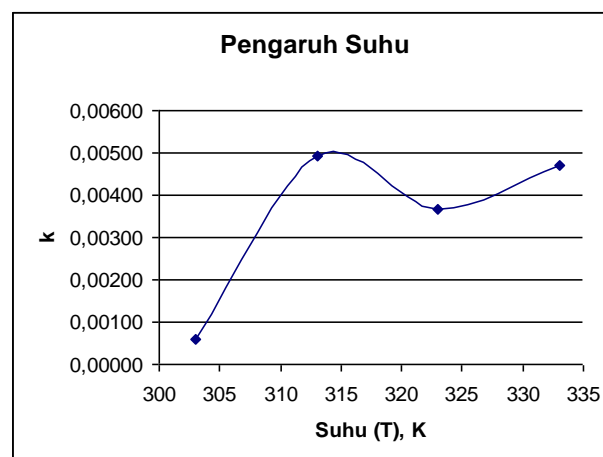
Tabel III. Data Pengaruh Suhu reaksi terhadap Konversi dan k

T, K	Konversi, x	K	-lnk
303	0,12	0,00061	7,406654375
313	0,64	0,00491	5,316202318
323	0,54	0,00367	5,607568748
333	0,63	0,00470	5,361222563

Tabel III menunjukkan pengaruh suhu terhadap nilai k yang memperlihatkan bahwa dengan bertambahnya suhu maka nilai k akan cenderung naik sebagai akibat semakin bertambahnya kecepatan reaksi karena meningkatnya gerakan molekul untuk dapat saling bertumbukan.

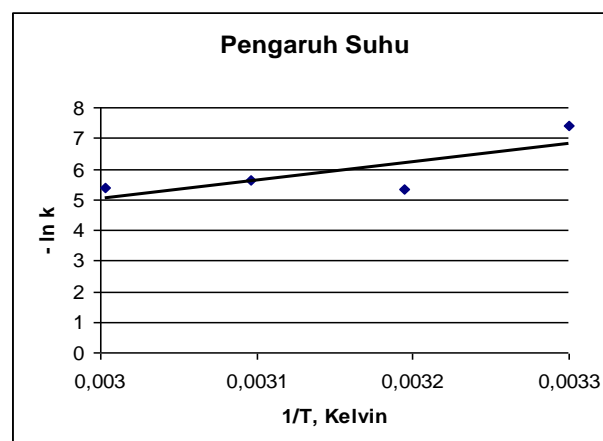


Gambar 5. Hubungan antara Konversi (x) dengan Suhu (T)



Gambar 6. Hubungan antara k dengan Suhu (T)

Dari Tabel II dan Gambar 5 memperlihatkan kecenderungan semakin tinggi suhu reaksi, konversi akan naik karena peningkatan gerakan molekul untuk saling bertumbukan. Namun yang perlu diperhatikan yaitu suhu didih metanol hanya 64,6 °C, sehingga semakin tinggi suhu dimungkinkan metanol dalam keadaan uap yang tidak dapat bertumbukan (bereaksi) dengan minyak. Konversi maksimum terjadi pada kondisi 40 °C. Konversi maksimum kemungkinan masih bisa bertambah pada suhu 80-100 °C pada tekanan cukup tinggi.



Gambar 7. Hubungan antara -ln k dengan 1/T

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara  $k$  dengan suhu ( $T$ ) dalam Kelvin sesuai dengan persamaan Arrhenius:

$$k = 4464131 \exp\left(-\frac{6012,7}{T}\right) \dots(11)$$

Gambar 7 menunjukkan hubungan linier antara  $-\ln k$  dengan  $T^{-1}$  dengan persamaan:

$$-\ln k = \frac{6012,7}{T} - 13,009 \dots(12)$$

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Biodiesel dapat dihasilkan dari alkoholis minyak curah dengan metanol menggunakan katalisator NaOH.
2. Konstanta kecepatan reaksi dipengaruhi oleh suhu sesuai mengikuti persamaan Arrhenius

$$k = 4464131 \exp\left(-\frac{6012,7}{T}\right).$$

3. Kondisi proses yang optimum dicapai pada suhu 40 °C dan waktu reaksi 80 menit dengan kecepatan pengadukan 350 rpm, konsentrasi katalis 1% berat minyak. Pada keadaan ini konversi yang dicapai yaitu 64, 67 %.

### DAFTAR PUSTAKA

- Fogler, H.C., 1999, "Elements of Chemical Reaction Engineering", 3 ed., pp. 77-80, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.
- Griffin, R.C., 1927, "Technical Methods of Analysis", 2 ed., pp. 107-110 and 309-311, McGraw-Hill Company, Inc., New York.
- Groggins, P.H., 1958, "Unit Process in Organic Synthesis", 5 ed., pp. 69 701, McGraw-Hill Book Company, Inc, New York.
- Junaedi, P., 1995, "Alkoholisis Minyak Jarak Pagar dengan Etanol Memakai Katalisator Natrium Hidroksid Pada tekanan di Atas Satu Atmosfer", Laporan Penelitian, Laboratorium Proses Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1980a, "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 9, 3 ed., pp. 306-308, John Wiley and Sons, New York.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1980b, "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 11, 3 ed., pp. 921, John Wiley and Sons, New York.
- Perry, R.H. and Green, D.E., 1997, "Perry's Chemical Engineer's Handbook", 7 ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Pratiwi, W.D., 1989, "Alkoholisis Minyak Biji Mahoni dengan Etanol Memakai Katalisator Asam Sulfat", Laporan Penelitian, Laboratorium Proses Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Swern, 1964, "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", pp. 948-951, Interscience Publisher, Inc., New York.
- Van Steenis, 1981, Flora Untuk Sekolah di Indonesia", Cetakan ke-3, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Whertheim, E. and Jaskey, H., 1956, "Introductory Organic Chemistry", 3 ed., pp. 91-93, 154-166, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.