

# Kinetika Alkoholisis Minyak Goreng Bekas untuk Pembuatan Biodiesel

Nita Suleman

Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Gorontalo

## Abstrak

Biodiesel diproduksi dari proses esterifikasi minyak goreng bekas dengan metanol dan katalis KOH. Kondisi proses divariasikan pada konsentrasi KOH 0,1 hingga 1,0 % berat minyak, perbandingan pereaksi 1 hingga 3 kali stoikiometri, serta temperatur 303 hingga 343 K. Dari variasi kondisi proses, diperoleh persamaan hubungan k dengan masing-masing variasi yang berlaku untuk kisaran kondisi diatas yakni : variasi konsentrasi katalis :  $k_1 = 0,0069 \exp(0,8103 C_{kat})$ , ralat 7,47 %,  $k_2 = 0,0242 \exp(1,2891 C_{kat})$ , ralat 5,99 %, variasi perbandingan pereaksi :  $k_1 = 0,0092 M + 0,02831$ , ralat 1,6 %,  $k_2 = -0,00749 M + 0,02845$ , ralat 7,52 %, variasi suhu :  $k_1 = 2,1939 \cdot 10^9 \exp(-15750,1542/RT)$ , ralat 5,97 %,  $k_2 = 1,3619 \cdot 10^8 \exp(-14809,6674/RT)$ , ralat 6,62 %, dengan persamaan umum:  $k_1 = 1,3248 \cdot 10^{-2} M \cdot \exp(434,9220 C_{kat}/T)$ , ralat 28,73%. Kondisi yang relatif baik diperoleh pada konsentrasi katalis 0,75 %, perbandingan pereaksi 2,5 kali serta suhu 333 K.

## PENDAHULUAN

Mulai awal tahun lalu, Presiden mengeluarkan Inpres NO.1/2006 yang intinya mengajak seluruh lapisan masyarakat birokrat dan pengusaha untuk menggiatkan penggunaan energi alternatif. Himbuan ini tentu saja untuk menghemat tabungan minyak nasional yang terus terkuras tiap harinya. Sebagai energi yang tidak terbarukan, minyak dalam beberapa waktu mendatang masih merupakan primadona.

Salah satu alternatif bahan bakar diesel yang potensial untuk dikembangkan adalah minyak nabati atau biodiesel. Biodiesel dapat dijadikan bahan bakar alternatif ramah lingkungan. Biodiesel merupakan minyak nabati yang bisa diproduksi dari berbagai macam tumbuhan yang tumbuh dengan baik di Indonesia. Di antaranya kelapa, kelapa sawit, jarak / jarak pagar, kapuk atau randu dan masih banyak tanaman lainnya. Selain itu biodiesel bisa juga diproduksi dari minyak goreng bekas atau yang biasa disebut dengan minyak jelanta.

Minyak goreng bekas atau minyak jelanta, tidak akan lagi menjadi barang buangan. Walaupun

warnanya sudah sangat pekat karena sering digunakan, namun minyak goreng bekas tersebut masih bisa dimanfaatkan. Minyak goreng bekas yang sudah melalui proses penyaringan dapat digunakan untuk energi biodiesel yang bisa digunakan untuk menghidupkan mesin diesel tanpa atau tidak dengan substitusi solar.

Berdasarkan latar belakang pemikiran diatas, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut : Bagaimana pengaruh temperatur, perbandingan pereaksi dan konsentrasi katalis terhadap kecepatan reaksi metanolisis minyak goreng bekas; Bagaimana kondisi optimal proses metanolisis minyak goreng bekas.

Minyak goreng bisa diproduksi dari tanaman kelapa serta bisa juga berasal dari tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*), yang termasuk famili *palmae*. Minyak goreng yang berasal dari kelapa sawit cenderung lebih disukai daripada minyak goreng dari kelapa karena mempunyai beberapa keunggulan antara lain kecenderungan berasap lebih rendah dan tingkat perkaratan pada kualiti lebih sedikit (Lubis, 1996).

Buah kelapa sawit dapat menghasilkan dua jenis minyak, yakni minyak yang berasal dari sabut (*mesokarpium*), yang disebut minyak sawit kasar (*crude palm oil*), dan minyak dari daging buah (*endosperm*), yang dinamakan minyak inti sawit (*palm kernel oil*).

Minyak sawit terdiri atas senyawa gliserol dan asam lemak dalam bentuk trigliserid. Asam lemak yang terikat dalam minyak sawit terdiri atas asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Penyusun terbesar asam lemak yang terikat sebagai minyak sawit adalah asam palmitat 48%, asam oleat 38 %, dan asam linoleat 9% (Kirk dan Othmer, 1965)

Biodiesel merupakan senyawa metil ester yang dihasilkan dari esterifikasi asam lemak (yang berasal dari minyak nabati atau hewani) dengan alkohol rantai pendek. Reaksi alkoholisis/esterifikasi merupakan reaksi bolak-balik yang relatif lambat. Untuk itu, guna mempercepat jalannya reaksi dan meningkatkan hasil, proses dilakukan dengan pengadukan yang baik, penambahan katalis untuk menurunkan energi aktivasi dan pemberian reaktan yang berlebihan agar reaksi bergeser ke arah kanan. Pemilihan katalis dilakukan berdasarkan kemudahan penggunaan dan pemisahannya dari produk. Untuk itu dapat digunakan katalis asam, basa atau penukar ion (Groggins, 1958).

Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi heterogen adalah waktu reaksi, suhu, perbandingan pereaksi, pengadukan, jumlah dan jenis katalisator, konsentrasi serta penambahan surfaktan.

*Waktu reaksi.* Waktu reaksi sangat berpengaruh terhadap konversi yang diperoleh. Makin lama waktu reaksi dijalankan, makin besar konversi yang diperoleh karena kesempatan bertumbukan antara molekul-molekul zat pereaksi makin besar. Tetapi jika keadaan setimbang hampir tercapai, penambahan waktu kurang menguntungkan karena kenaikan waktu tidak sebanding dengan kenaikan konversi

*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. Menurut Arrhenius, hubungan

antara konstanta kecepatan reaksi dengan suhu mengikuti persamaan eksponensial :

$$k = A \exp (-E/RT)$$

dengan k = konstanta kecepatan reaksi, A = faktor frekuensi, E = energi aktivasi, R = konstanta gas ideal dan T = suhu. Pada reaksi heterogen, ada kemungkinan perubahan suhu juga berpengaruh terhadap besarnya koefisien transfer massa antar fasa.

*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 stoikiometrinya.

*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. Hal ini juga berpengaruh terhadap peningkatan luas kontak antar fasa karena adanya perubahan ukuran *droplet* zat pereaksi. Pencampuran yang baik bisa dicapai dengan pengadukan, pengocokan, pengelembungan atau pendidihan.

*Jumlah dan jenis katalisator.* Reaksi esterifikasi tergolong berjalan lambat, sehingga penambahan katalis bertujuan untuk mempercepat reaksi dengan jalan menurunkan energi aktivasinya. Zat pereaksi menjadi lebih reaktif bila dibandingkan dengan reaksi tanpa katalisator. Pada reaksi esterifikasi, pemilihan katalis berhubungan dengan suhu reaksinya. Katalis basa tidak memerlukan suhu yang tinggi, sementara katalis asam umum digunakan untuk suhu sekitar 100 °C (Kirk & Othmer, 1980). Katalis padat dipilih bila dikehendaki pemisahan yang relatif murah.

*Konsentrasi.* Pereaksi dengan konsentrasi tinggi dapat meningkatkan jumlah tumbukan antar molekul yang akan mendorong terbentuknya produk. Penelitian-penelitian esterifikasi yang terdahulu umumnya menggunakan alkohol dengan konsentrasi lebih dari 90%.

*Surfaktan.* Pada reaksi heterogen cair-cair, penurunan tegangan muka antar fasa sangat berpengaruh terhadap transfer massa. Tegangan muka dapat dikurangi dengan penambahan suatu

bahan (surfaktan), karena energi ikatan antara molekul-molekul masing-masing fasa menjadi lebih rendah. Dengan demikian transfer massa yang terjadi akan lebih mudah.

## METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Minyak goreng bekas yang diperoleh dari Restaurant Fastfood KFC Gorontalo, Metanol dan KOH

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu leher tiga, power stat, pengaduk mekanik, termostat, pendingin balik, pemanas listrik, heater-mantle, labu pemanas reaktan, pengambilan cuplikan, thermometer, erlenmeyer penampung cuplikan.

Bahan baku berupa minyak goreng bekas dianalisa untuk mengetahui rapat massa, kadar air, kadar asam lemak total dan asam lemak bebasnya. Metanol dianalisa untuk mengetahui rapat massa dan kadarnya. Sebelum dianalisa minyak goreng bekas tersebut disaring dengan kain tiga lapis, metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) atau etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) ditambah dengan soda ( $\text{NaOH}$ ).

Minyak dengan jumlah tertentu dimasukkan ke dalam labu dan dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu. Metanol dan katalis (KOH) dicampur dan dipanaskan secara terpisah hingga mencapai temperatur operasi yang sama, kemudian dimasukkan ke dalam labu reaksi dengan cepat. Sampel diambil pada selang waktu tertentu (10 menit) dimulai pada saat tercapainya temperatur operasi hingga 60 menit, dan analisa dengan metode volumetrik.

Dari kondisi optimum yang diperoleh dari hasil penelitian, kemudian dilakukan analisa terhadap ester yang meliputi analisa specific gravity, kinematic viscosity, pour point, Coradson Carbon Residue serta warna dan nilai kalor dengan mencampurnya dengan solar pada perbandingan tertentu.

### Variabel

Untuk meninjau kinetika reaksi esterifikasi, metanol diberikan 1 kali; 1,5 kali; 2 kali; 2,5 kali dan 3 kali kebutuhan stoikiometrinya. Berat katalis diambil 0,1%; 0,25%; 0,5%; 0,75% dan 1,0% berat minyak, dan variasi temperatur  $30^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$  dan  $70^\circ\text{C}$ . Untuk menguji sifat-sifat fisisnya, perbandingan ester dan solar dicampur dengan kadar ester 0 hingga 100% volume.

### Analisis Hasil

Sampel yang mengandung gliserol, ester dan sisa reaktan. Sampel tersebut secepatnya didinginkan dalam *ice-bath* untuk menghentikan reaksi. Campuran dipisahkan dengan cara ekstraksi hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas adalah campuran ester dan sisa minyak, dan lapisan bawah adalah campuran gliserol dan katalis. Lapisan atas diambil dengan pipet dan dianalisa untuk mengetahui kadar ester. Analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan alat *Gas-Chromatography*.

### Pengolahan data

Cara pengolahan data dari sampel yang diambil meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Konversi data hasil analisa menjadi hasil perhitungan

Data yang diperoleh dari percobaan adalah konsentrasi ester ( $C_E$ ) tiap perubahan dengan waktu 10 menit. Sesuai persamaan (3.12), konsentrasi ester ( $C_E$ ) sebanding secara ekuivalen dengan konsentrasi minyak mula-mula ( $C_{TG0}$ ) dari data maka konversi reaksi ( $X_{TG}$ ) dapat dihitung. Konsentrasi minyak sisa ( $C_{TG}$ ) adalah ( $C_{TG0}$ ) dikurangi jumlah minyak yang telah terkonversi menjadi ester. Data inilah yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya.

b. Menghitung parameter persamaan kecepatan reaksi ( $k_1$ ,  $k_2$ , dan  $K_{CMA}$ )

Untuk memperoleh parameter-parameter tersebut digunakan persamaan-persamaan (3.17), (3.18) dan (3.19) yang diselesaikan secara simultan. Persamaan (3.17) harus diselesaikan dengan melibatkan data konstanta Nernst (H) yang ilai diperoleh dari percobaan. Konsentrasi methanol di fasa II mula-mula ( $C_{MII}$ ) adalah konsentrasi metanol awal sebelum mendifusi ke fasa reaksi (I), sehingga nilainya tetap.

Dengan persamaan dan 4 data initial condition ( $C_{TG}$ ,  $C_M$ ,  $C_E$ , dan  $C_G$ ) pada waktu-waktu berikutnya dapat diprediksikan, dengan menentukan terlebih dahulu nilai  $k_1$ ,  $k_2$ , dan  $K_{CMA}$  dengan cara menebak. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode Runge-Kutta.

Kesesuaian data  $C_{TG}$  dan  $C_{TG}$  diperoleh dari perhitungan tiap waktu (sesuai dengan model yang digunakan) dicek dengan minimasi keduanya menggunakan metode *Sum of Square Error* (SSE). Nilai  $k_1$ ,  $k_2$ , dan  $K_{CMA}$  yang diperoleh pada SSE yang terkecil merupakan nilai ketiga parameter tersebut pada kondisi proses tertentu saat pengambilan data.

c. Penentuan pengaruh variasi kondisi proses terhadap nilai parameter kecepatan reaksi

Dengan nilai  $k_1$ ,  $k_2$ , dan  $K_{CMA}$  yang diperoleh pada tiap variasi, akan disusun suatu korelasi yang menghubungkan antara ketiga parameter tersebut dengan konsentrasi katalis, perbandingan pereaksi dan suhu.

Persamaan Arrhenius merupakan persamaan umum yang mampu memberikan hubungan konkrit antara harga  $k$  dengan kondisi operasi, meskipun tidak secara langsung. Nilai  $A$  (faktor tumbukan),  $E$  (energi aktivasi), dan  $T$  (suhu) merupakan parameter-parameter yang menentukan konstanta kecepatan reaksi. Faktor tumbukan dapat dipengaruhi oleh jumlah molekul reaktan, kecepatan pengadukan dan faktor-faktor lain. Sementara itu energi aktivasi jelas dipengaruhi oleh konsentrasi katalis. Suhu merupakan kondisi yang ditentukan oleh proses. Dengan demikian persamaan umum yang diperoleh dapat berbentuk :

$$k = mM \cdot \text{Exp}(-nC_{\text{kat}}/RT)$$

dengan  $m$  dan  $n$  suatu konstanta. Nilai  $k$  diperkirakan berbanding lurus terhadap perbandingan pereaksi ( $M$ ) dan eksponensial terhadap konsentrasi katalis ( $C_{\text{kat}}$ ). Korelasi ini diperoleh darimetode grafis.

d. Penentuan kondisi optimal proses

Kondisi optimal proses ditentukan dengan metode grafis. Dengan nilai  $k_1$  dan  $k_2$  yang diperoleh dari korelasi diatas, perubahan konversi setiap saat dapat dihitung dengan persamaan kecepatan reaksi. Nilai – nilai konversi tiap waktu ini dapat disusun dalam bentuk grafik. Besarnya perubahan konversi tiap satuan waktu pada berbagai kondisi dapat dibandingkan pada grafik ini. Pada penelitian ini, kondisi optimal proses ditentukan dengan mengacu pada nilai perubahan tersebut.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada tahap awal, penelitian ini meninjau kinetika reaksi, yakni menentukan parameter-parameter yang menentukan kecepatan reaksi. Kondisi operasi ditinjau pada kecepatan pengadukan tetap 500 ppm dan kisaran konsentrasi katalis 0,1 hingga 1,0 % berat minyak, perbandingan pereaksi 1 hingga 3 kali stoikiometri,

dan suhu 303 hingga 333 K. Berikutnya sifat-sifat fisis campuran biodiesel dan petrodiesel ditinjau pada 0 hingga 100 % volume biodiesel. Untuk menguji kinerja mesin digunakan mesin diesel dengan spesifikasi 4 silinder, 4 tak, yang dilengkapi dengan perangkat alat ukur yang diperlukan. Pada uji ini digunakan bahan bakar campuran biodiesel dan solar dengan komposisi 10 % volume biodiesel serta solar murni sebagai pembanding.

## Pengaruh Konsentrasi Katalis pada Kecepatan Reaksi.

Pada pengamatan ini perbandingan pereaksi dan suhu dibuat tetap, yakni 2 kali kebutuhan stoikiometri dan suhu 323 K. Pada konsentrasi katalis 0,75 dan 1%.  $C_{TG}$  data menit ke 60 memberikan penyimpangan yang cukup besar (lebih dari 20%) dibandingkan  $C_{TG}$  hasil simulasi, sehingga untuk perhitungan nilai  $k$  dan  $K_{CMA}$ , data-data tersebut tidak dilibatkan. Secara keseluruhan, kenaikan konsentrasi katalis akan menurunkan energi aktivasi untuk reaksi kimia. Sehingga meningkatkan jumlah molekul yang teraktifkan dan bereaksi membentuk ester. Hal ini berpengaruh terhadap meningkatnya nilai konstanta kecepatan reaksi ke arah kanan ( $k_1$ ), Namun cenderung tetap untuk nilai konstanta pada arah sebaliknya ( $k_2$ ). Ditinjau dari selektivitas katalis, hal ini menunjukkan hasil yang positif, karena kecepatan reaksi ke arah kanan dapat terus meningkat, sementara ke arah sebaliknya dapat diminimalisir.

Persamaan yang diperoleh untuk hubungan  $k$  dengan konsentrasi katalis adalah :

$$k_1 = 0,0069 \exp(0,8103 C_{\text{kat}})$$

$$k_2 = 0,0242 \exp(1,2891 C_{\text{kat}})$$

Dalam bentuk persamaan logaritmik persamaan yang diperoleh adalah :

$$-\ln k_1 = -0,8103 C_{\text{kat}} + 4,9761$$

$$-\ln k_2 = -1,2891 C_{\text{kat}} + 0,7202$$

Kedua persamaan ini masing-masing memberikan ralat rerata 7,47 % dan 5,99 %, dan daftar hubungan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan K dengan konsentrasi Katalis

C katalis	-ln k1 data	-ln k1 hitung	Ralat (%)
0,10	3,9979	3,5913	10,1706
0,25	3,0662	3,3979	10,8188
0,50	2,8690	3,0757	7,2029
0,75	2,6985	2,7534	2,0335
1,00	2,6180	2,4311	7,1390
	<b>Ralat Rerata</b>		<b>7,4729</b>
C katalis	-ln k1 data	-ln k1 hitung	Ralat (%)
0,10	5,4110	4,8960	9,5182
0,25	4,3121	4,7758	10,7529
0,50	4,3485	4,5755	5,2190
0,75	4,3662	4,3751	0,2044
1,00	4,3595	4,1748	4,2367
	<b>Ralat Rerata</b>		<b>5,9862</b>

Pada reaksi bolak-balik, setelah reaksi mencapai keadaan setimbang konsentrasi katalis tidak lagi mempengaruhi nilai k, sehingga konstanta kesetimbangan reaksi (K) pun tidak lagi berubah terhadapnya. Dari sini terlihat bahwa nilai k masih dipengaruhi oleh konsentrasi katalis. Hal ini dimungkinkan terjadi bila nilai k pada persamaan tersebut diperoleh dari data yang diambil pada saat reaksi belum mencapai keadaan setimbang. Dari hasil percobaan, kesetimbangan reaksi tercapai lebih lama dari waktu pengambilan data (1 jam).

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa seluruh reaksi telah mencapai keadaan setimbang pada 130 menit. Sementara itu koefisien transfer massa volumetris ( $K_{CMA}$ ) cenderung tetap dan tidak dipengaruhi oleh variasi konsentrasi katalis.

Menurut Smith & Van Ness (1986), kondisi optimal pada reaksi kesetimbangan umumnya tidak ditentukan oleh konversi kesetimbangannya, tetapi lebih diutamakan pada kecepatan reaksinya. Dalam hal ini, kecepatan reaksi dapat diidentikan dengan perubahan konversi tiap satuan waktu. Merujuk pada hasil perhitungan konversi pada tabel 2, terlihat bahwa perubahan tersebut masih cukup besar pada konsentrasi katalis 0,75 % . Namun pada konsentrasi 1,0 % , perubahan tersebut tidak signifikan lagi, yang ditunjukkan oleh kurva yang nyaris berimpit pada 0,75 % dan 1,0 % . Dengan demikian, konsentrasi katalis yang optimal dicapai pada 0,75 % .

#### **Pengaruh Perbandingan Preaksi pada Kecepatan Reaksi**

Pada pengamatan ini konsentrasi katalis dan suhu dibuat tetap, yakni 0,25 % berat minyak

dan suhu 323K. Data percobaan dan hasil simulasi ditampilkan pada tabel 3.

Identik dengan data konsentrasi katalis, pada perbandingan pereaksi 2,5 dan 3 kali,  $C_{TG}$  data menit ke 60 memberikan penyimpangan yang cukup besar pula dibandingkan  $C_{TG}$  hasil simulasi (lebih besar dari 20 %), sehingga untuk perhitungan nilai k dan  $K_{CMA}$ , data-data tersebut tidak dilibatkan.

Sementara itu pada perbandingan stoikiometri (1 kali), data-data yang diperoleh memberikan nilai  $k_2$  yang berlawanan dengan kecenderungan yang ditunjukkan oleh variasi perbandingan yang lain.

Nilai  $k_2$  pada perbandingan ini memberikan ralat 95,5% terhadap  $k_2$  hitung dan ralat rerata 56,5 % . Hal ini dimungkinkan karena molekul-molekul minyak tidak mampu kontak dengan molekul-molekul metanol sebaik pada variasi perbandingan lain. Oleh karena itu, penyusunan persamaan hubungan  $k_1$ ,  $k_2$  dan  $K_{CMA}$  dengan variasi perbandingan pereaksi dilakukan tanpa melibatkan perbandingan 1 kali stoikiometri. Hasil yang diperoleh memperkecil ralat rerata menjadi 7,54 % untuk persamaan  $k_2$ , dan ralat 1,60% untuk  $k_1$ .

Daftar hubungan k dengan perbandingan pereaksi pada kisaran 1,5 hingga 3 kali stoikiometri disajikan pada tabel 2.5 dengan persamaan korelasi berikut :

$$k_1 = 0,00922 M + 0,02831$$

$$k_2 = -0,00749 M + 0,02845$$

Konstanta kecepatan reaksi ke kanan (k) meningkat secara linier dengan makin besarnya

jumlah metanol, dan  $k_2$  memberikan kecenderungan menurun secara linier pula.

Jelas terlihat bahwa semakin banyak metanol yang diberikan, reaksi cenderung bergeser ke arah kanan, karena dengan makin banyaknya

metanol yang ditambahkan, kemungkinan terjadinya tumbukan yang menghasilkan reaksi lebih besar. Kecepatan reaksi ke arah yang sebaliknya semakin berkurang karena jumlah reaktan di ruas semakin besar.

Tabel 2. Tabel hubungan k dengan perbandingan pereaksi

M	k1 data	K1 hitung	Ralat (%)
1,50	0,041690	0,042100	0,97150
2,00	0,046597	0,046700	0,22056
2,50	0,053070	0,051300	3,44834
3,00	0,054910	0,055900	1,76744
	<b>Ralat Rerata</b>		<b>1,60196</b>
M	k2 data	k2 hitung	Ralat (%)
1,50	0,01754	0,01710	2,55556
2,00	0,01341	0,01330	0,78947
2,50	0,00840	0,00950	11,57895
3,00	0,00657	0,00570	15,24561
	<b>Ralat Rerata</b>		<b>7,54240</b>

Menurut Johnstone & Thring (1957), kecepatan transfer massa dapat disusun dalam hubungan kelompok tak berdimensi bilangan Sherwood (Sh) sebagai fungsi bilangan Reynold (Re) dan Schmidt (Sc). Sh merupakan fungsi  $K_{CMA}$ , sedangkan Re dan Sc merupakan fungsi viskositas kinematis ( $\nu$ ). Sementara itu  $\nu$  juga

berubah dengan perubahan fraksi volume metanol dalam larutan. Dengan demikian dapat disusun hubungan  $K_{CMA}$  terhadap  $\nu$ .

Dengan penyelesaian regresi linier diperoleh persamaan hubungan  $K_{CMA}$  sebagai fungsi viskositas kinematis sebagai berikut :

$$K_{CMA} = -0,0791 \nu + 3,7785$$

Tabel 3 Hubungan fraksi mol metanol dengan  $\nu$

M	Fraksi Vol. Minyak	Fraksi Vol. Etanol	Viskositas Kinematis (cm <sup>2</sup> /mnt)
	1	0	29,1582
1	0,8836	0,1164	25,8168
1,50	0,8350	0,1650	24,4218
2,00	0,7914	0,2086	23,1702
2,50	0,7522	0,2478	22,0452
3,00	0,7167	0,2833	21,0264
	0	1	0,4536

Dengan demikian, perbandingan pereaksi tidak secara langsung berpengaruh terhadap nilai  $K_{CMA}$ , tetapi perubahan viskositas kinematis ( $\nu$ ) sebagai akibat dari perubahan fraksi volume metanol inilah yang mempengaruhi perubahan nilai  $K_{CMA}$ . Bila ditinjau dari nilai  $a$  dalam parameter  $K_{CMA}$  makin besar perbandingan pereaksi, jumlah *droplet* metanol juga semakin banyak, sehingga luas transfer massa tiap satuan volume larutan ( $a$ ) juga makin besar, meskipun nilai  $K_{CMA}$  cenderung tetap.

Penentuan perbandingan pereaksi optimum juga mengacu pada besarnya perubahan konversi

tiap satuan waktu. Hal ini terlihat pada gambar 2.6. Penambahan jumlah methanol dari 2,5 menjadi 3 kali tidak memberikan perbedaan yang besar dibandingkan dengan perbandingan pereaksi yang lain, sehingga 2,5 kali stoikiometri ditentukan sebagai perbandingan pereaksi yang optimum.

#### Pengaruh Temperatur pada Kecepatan Reaksi

Pada pengamatan ini konsentrasi katalis dan perbandingan pereaksi dibuat tetap, yakni 0,25% berat minyak dan jumlah metanol 2 kali stoikiometri.

Pada temperatur 303 hingga 333 K, nilai  $k_1$  dan  $k_2$  meningkat secara eksponensial, namun nilai

$k_2$  jauh lebih rendah disbanding  $k_1$ . Kenaikan temperatur 10 °C meningkat kecepatan reaksi sebesar 1,80 hingga 2,49 kali untuk  $k_1$ . Hal ini mendekati teori yang dikemukakan Westertep dan kawan-kawan (1984), yang menyatakan bahwa pada sekitar suhu kamar, kecepatan reaksi dapat meningkat 2 hingga 50 kali tiap kenaikan suhu 10°C dan 1,1 hingga 1,6 kali pada suhu 600 °C. Meningkatnya konstanta kecepatan reaksi ini disebabkan oleh naiknya energi yang dimiliki oleh tiap molekul karena adanya peningkatan temperatur.

Namun demikian, pada temperatur 343 K nilai  $k_1$  menurun dibandingkan pada temperatur 333 K. Hal ini dimungkinkan terjadi bila molekul-molekul metanol sebagian telah berubah menjadi uap sehingga terjadi transfer massa gas cair. Sebagai akibatnya hambatan transfer yang lebih besar maka konstanta kecepatan reaksi akan menurun. Dalam perhitungan korelasi antara suhu dengan nilai  $k_1$ ,  $k_2$  maupun  $K_{CMA}$ , data yang diperoleh pada suhu 343 K tidak dilibatkan.

Persamaan yang diperoleh adalah :

$$k_1 = 2,1939 \cdot 10^9 \exp.(-15750,1542/RT)$$

$$k_2 = 1,3619 \cdot 10^8 \exp.(-14809,6674/RT)$$

Dalam bentuk hubungan logaritmik persamaan yang diperoleh adalah :

$$-\ln k_1 = -21,5089 + 79926,16/T$$

$$-\ln k_2 = -18,7295 + 7453,28/T$$

Koefisien transfer massa ( $K_{CMA}$ ) pada kisaran suhu 313 - 333 K cenderung tetap terhadap peningkatan suhu, sebagaimana fenomena yang terjadi pada variasi konsentrasi katalis maupun perbandingan pereaksi. Namun nilai  $K_{CMA}$  pada suhu 303 K ternyata jauh lebih rendah.

Dengan kecepatan pengadukan yang sama pada tiap variasi suhu, reaksi pada suhu kamar (303 K) ternyata kurang memberikan pencampuran yang baik, ditinjau dari rendahnya nilai koefisien transfer massa pada suhu tersebut, serta rendahnya konversi reaksi terutama pada menit-menit awal. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Darnoko dan kawan-kawan (2000), yang menyebutkan bahwa pada suhu rendah, terjadi kesulitan pencampuran antara minyak dan alkohol, sehingga kemungkinan transfer massa yang terjadi juga kurang baik. Oleh karena itu, dari nilai  $K_{CMA}$  yang diperoleh pada kisaran suhu 303 - 333 K belum dapat disusun hubungan kuantitatif

yang relatif baik untuk menghubungkan kedua parameter tersebut.

Pada suhu 333 K, kesetimbangan reaksi dicapai pada menit ke 50. Namun karena reaksi bolak-balik di industri umumnya tidak dilakukan hingga mencapai kesetimbangan, maka penelitian suhu optimum lebih ditekankan pada konversi yang relatif besar dalam waktu yang lebih singkat. Dengan demikian suhu optimum dicapai pada 333 K karena mampu memberikan konversi yang paling besar dalam waktu yang paling singkat (kurang dari 50 menit).

Dari nilai-nilai  $k_1$  dan  $k_2$  yang diperoleh dari masing-masing variasi, dapat disusun persamaan umum sebagai fungsi ketiga variabel tersebut, yang dapat berlaku umum untuk kisaran kondisi operasi yang dipelajari. Persamaan tersebut analog dengan persamaan Arrhenius, dengan energi aktivasi ( $E$ ) sebagai fungsi konsentrasi katalis ( $C_{kat}$ ), dan factor pengadukan ( $A$ ) sebagai fungsi perbandingan pereaksi ( $M$ ). Dengan penyelesaian cara regresi, pada persamaan linier multivariabel diperoleh persamaan berikut, yang memberikan ralat sebesar 28,73 % .

$$k_1 : 1,3248 \cdot 10^{-2} M \cdot e^{434,9220 C_{kat}/T}$$

Sementara itu variabel-variabel tersebut tidak mempengaruhi nilai  $k_2$  secara signifikan, bila dibandingkan dengan pengaruhnya terhadap nilai  $k_1$ .

## PENUTUP

Pengaruh masing-masing variabel terhadap konstanta kecepatan reaksi ditunjukkan oleh persamaan-persamaan berikut :

variasi konsentrasi katalis :  $k_1 = 0,0069 \exp(0,8103 C_{kat})$ , ralat 7,47 %  $k_2 = 0,0242 \exp(1,2891 C_{kat})$ , ralat 5,99 %

variasi perbandingan pereaksi :  $k_1 = 0,0092 M + 0,02831$ , ralat 1,6 %  $k_2 = -0,00749 M + 0,02845$ , ralat 7,52 % variasi suhu :  $k_1 = 2,1939 \cdot 10^9 \exp(-15750,1542/RT)$ , ralat 5,97 %  $k_2 = 1,3619 \cdot 10^8 \exp.(-14809,6674/RT)$ , ralat 6,62 % dengan persamaan umum :  $k_1 = 1,3248 \cdot 10^{-2} M \cdot \exp(434,9220 C_{kat}/T)$ , ralat 28,73%.

Kondisi optimum proses adalah konsentrasi katalis 0,75 berat minyak, perbandingan pereaksi 2,5 kali stoikiometri dan suhu 333 K. Komposisi campuran biodiesel-petrodiesel yang optimal adalah 20 % biodiesel. Campuran bahan bakar tersebut mampu memberikan kinerja yang relatif baik untuk digunakan sebagai bahan baker mesin diesel.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Darnoko, D., Cheryan, M. 2000. Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor. *J. Am. Oil Chem. Soc.*
- Kartakusumah, U.I., 2003. *Memproduksi Minyak Diesel dari Biji Kapuk*. Suara Pembaharuan, 31 Januari 2003.
- Kusmiyati, 1999. *Kinetika Pembuatan Metil Ester Pengganti Minyak Diesel dengan Proses Metanolisis Tekanan Lebih Dari Satu Atmosfer*. Tesis diajukan kepada Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering*. 3 ed., pp 349-377. New York: John Wiley and Sons.
- Suess, A., 2002. *Biodiesel dari Minyak Jelantah*. Harian Kompas, 20 Juli 2002.
- Swern, D. 1982. *Introduction to Fat and Oil Technology*. New York: John Wiley and Sons.
- ..... 1982. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. New York: John Wiley and Sons.
- Wardhana, W.A. 2002. *Dampak Pencemaran Karbon Monooksida (CO) terhadap Kesehatan Manusia*. Energi, no.15.