

IDENTIFIKASI KEPEKAAN OPERASI REAKTOR ALIR TANGKI BERPENGADUK UNTUK REAKSI PARALEL MELALUI MODEL MATEMATIK

Sarto¹

ABSTRACT

A Continuous stirred tank reactor (CSTR) has been simulated mathematically. The reactor is used to process a paralel reaction, A to be B and C. By the use of mass and energy balance, the process could be formulated in four nonlinear ordinary diferential equations. Because of their reaction characteristics, operating condition and multiplicity has to be investigated. Operating temperature was chosed based on conversion, productivity, and selectivity. Normal feed flow rate, which is represented in Damkohler number, was taken to avoid multiplicity.

The sensivity of CSTR was identified by using all possible disturbances on the process, i.e. feed flow rate, feed temperature, and feed concentration. Computations was done both for nonlinier differential equations and linierized arround steady state differential equations. The simulation shows that their result are diferent significantly.

1. PENGANTAR

Reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) merupakan reaktor yang konsentrasi dan suhu di dalamnya biasanya dianggap seragam. Kebenaran anggapan tersebut dapat diusahakan dengan pencampuran yang baik antara umpan dengan larutan dalam reaktor dalam waktu yang relatif singkat dibandingkan dengan waktu tinggal merata cairan dalam reaktor. Kinerja RATB dipengaruhi oleh waktu tinggal merata zat alir di dalam reaktor, kecepatan putar pengaduk, dan perbandingan diameter pengaduk dengan diameter reaktor (Sulistyو dan Handayani, 1997).

RATB biasanya dipilih untuk reaksi yang sangat peka terhadap perubahan suhu, seperti pada nitrasi hidrokarbon aromatik atau gliserin. Disamping itu, RATB juga dipakai untuk reaksi yang konversinya harus terjadi pada komposisi yang tetap, misalnya kopolimerisasi etilen dengan katalis Ziegler, hidrogenasi α -metilstiren menjadi cumen, dan oksidasi cumen menjadi aseton dan fenol (Froment and Bishoff, 1990).

Masalah yang sering dihadapi pada perancangan dan bahkan operasi RATB adalah penentuan kondisi operasi dan stabilitas operasi terhadap adanya gangguan yang

mungkin terjadi. Kondisi operasi keadaan tunak (*steady state*) pada RATB perlu dipilih secara cermat, karena dalam RATB hampir selalu ditemukan beberapa nilai keadaan tunak (*multiplicity*). Hal ini muncul akibat adanya ketidaklinieran perumusan pembangkitan kalor dan umpan balik panas internal berkaitan dengan pencampuran sempurna (Froment and Bishoff, 1990). Sebagaimana proses lain, operasi RATB tidak selalu (serta merta) berada pada kondisi operasi yang diinginkan. Keadaan nir-tunak (*unsteady state*) selalu terjadi pada awal operasi (*transient*) dan pada saat terjadi gangguan. Oleh karena itu, kepekaan operasi perlu dikenali untuk mencegah kegagalan proses.

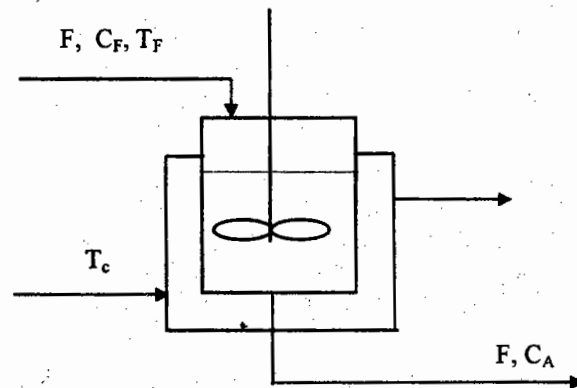
Tulisan ini dimaksudkan untuk mengenal kepekaan RATB untuk reaksi paralel melalui model matematis, yang menyangkut permasalahan di atas. Penggunaan model matematis melekat pada bidang-bidang teknik, yang bukan hanya sebagai dasar perancangan yang baik, tetapi juga untuk keperluan simulasi dan prediksi (Ljung, 1987). Model matematis RATB keadaan pra-tunak (*transient*) biasanya berupa beberapa persamaan difensial nonlinier yang simultan, yang cara penyelesaiannya relatif rumit. Oleh karena itu, linierisasi terhadap model tersusun dilakukan untuk memudahkan penyelesaiannya (Stephanopoulos, 1984). Namun demikian, model terlinier perlu diuji untuk mengetahui perbedaannya dengan model aslinya.

2. PENYUSUNAN MODEL MATEMATIS

Sistem yang dipelajari berupa reaktor alir tangki berpengaduk, yang dipakai untuk mereaksikan zat A menjadi B dan C secara paralel. Proses ditunjukkan secara skematik pada gambar 1. Reaktan masuk reaktor dengan kecepatan alir, konsentrasi A, dan suhu berturut-turut diberi simbol F , C_F , dan T_F .

Reaksi : $A \rightarrow B$, dengan kecepatan reaksi, $r_b = k_b \exp(-E_b/RT)c_a$

$A \rightarrow C$, dengan kecepatan reaksi, $r_c = k_c \exp(-E_c/RT)c_a$



Gambar 1. Skema Reaktor Alir Tangki Berpengaduk

Data reaktor yang dipakai :

volme reaktor	= 1.100 kg
luas perpindahan panas	= 4,65 m ²
kecepatan alir umpan	= 900 kg/jam
suhu umpan	= 28°C
konsentrasi umpan	= 0,50 kg/kg
kapasitas panas	= 1.250 kJ/jam/m ² /°C
ΔH_b	= 1.500 kJ/kg
ΔH_c	= 1.400 kJ/kg
k_b	= 1,0 10 ¹³ jam ⁻¹
k_c	= 7,3 10 ¹⁰ jam ⁻¹
E_b	= 83.750 kJ/kgmol
E_c	= 69.800 kJ/Kgmol

Penyederhanaan dilakukan dengan menganggap hal-hal berikut :

1. pencampuran dalam reaktor terjadi secara sempurna
2. volume larutan dalam reaktor tetap (*perfect hold-up control*)
3. rapat massa dan kapasitas panas tetap
4. tidak ada panas yang hilang ke lingkungan
5. suhu pendingin dalam jaket seragam

Sifat reaktor dapat dirumuskan dalam 4 persamaan diferensial, yaitu 3 dari hukum kekekalan (neraca) massa komponen, dan 1 hukum kekekalan (neraca) panas.

Neraca massa komponen A :

$$\frac{dc_a}{dt} = \frac{F}{V} (c_F - c_a) - c_a [k_b \exp(-E_b/RT) + k_c \exp(-E_c/RT)] \quad (1)$$

Neraca massa komponen B :

$$\frac{dc_b}{dt} = c_a k_b \exp(-E_b/RT) - \frac{F}{V} c_b \quad (2)$$

Neraca massa komponen C :

$$\frac{dc_c}{dt} = c_a k_c \exp(-E_c/RT) - \frac{F}{V} c_c \quad (3)$$

Neraca panas :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F}{V} (T_F - T) - \frac{UA}{Vcp} (T - T_c) + \frac{c_a}{cp} [k_b (-\Delta H_b) \exp(-E_b / RT) + \dots k_c (-\Delta H_c) \exp(-E_c / RT)] \quad (4)$$

Untuk mempermudah analisis, persamaan-persamaan tersebut dinyatakan sebagai peubah yang tidak berdimensi (Perry, 2-81). Bilangan tidak berdimensi yang sangat mempengaruhi kinerja reaktor adalah bilangan Damkohler (Da). Dengan ini, persamaan diferensial di atas berturut-turut menjadi persamaan berikut :

$$\frac{dx_1}{d\xi} = -x_1 + (1-x_1)Da_b \exp\left(\frac{x_4}{\gamma_b + 1}\right) + (1-x_1)Da_c \exp\left(\frac{x_4}{\gamma_c + 1}\right) \quad (5)$$

$$\frac{dx_2}{d\xi} = -x_2 + (1-x_1)Da_b \exp\left(\frac{x_4}{\gamma_b + 1}\right) \quad (6)$$

$$\frac{dx_3}{d\xi} = -x_3 + (1-x_1)Da_c \exp\left(\frac{\alpha x_4}{\gamma_c + 1}\right) \quad (7)$$

$$\frac{dx_4}{d\xi} = -(1+\beta)x_4 + (1-x_1)B_b Da_b \exp\left(\frac{x_4}{\gamma_b + 1}\right) + \dots (1-x_1)B_c Da_c \exp\left(\frac{\alpha x_4}{\gamma_c + 1}\right) / \alpha + \beta u \quad (8)$$

dengan :

$$x_1 = \frac{(c_F - c_a)}{c_F}$$

$$x_2 = \frac{c_b}{c_F}$$

$$x_3 = \frac{c_c}{c_F}$$

$$\tau = \frac{V}{F}$$

$$\gamma_b = E_b / RT_F$$

$$\gamma_c = E_c / RT_F = \alpha \gamma_b, \alpha = \frac{E_b}{E_c}$$

$$\beta = \frac{UA}{Fcp} = \frac{UA\tau}{Vcp}$$

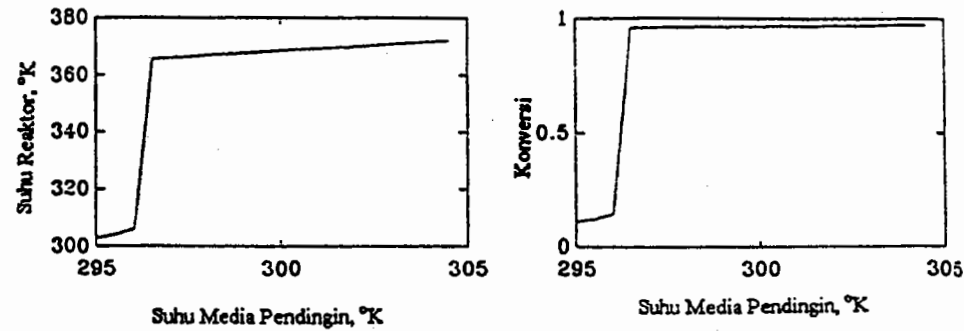
$$\exp\left(-\frac{E_b}{RT}\right) = \exp\left(\frac{x_4}{\gamma_b + 1}\right) \exp(-\gamma_b) \quad (9)$$

$$\exp\left(-\frac{E_c}{RT}\right) = \exp\left(\frac{x_4}{\gamma_c + 1}\right) \exp(-\gamma_c) \quad (10)$$

3. PENENTUAN KONDISI OPERASI

Kondisi operasi pada keadaan tunak ditentukan dengan menyelesaikan persamaan 5 sampai 8, yang masing-masing sama dengan nol. Dari persamaan tersebut nampak bahwa persamaan 5 dan 8 tidak tergantung pada x_2 dan x_3 . Perhitungan dimulai dengan mengambil nilai x_4 , menyelesaikan persamaan 9 dan 10, menghitung nilai x_1 dan x_4 berturut-turut dengan persamaan 5 dan persamaan 8, sedangkan nilai x_2 dan x_3 dihitung dengan persamaan 6 dan persamaan 7, setelah diperoleh nilai x_2 dan nilai x_3 yang sesuai.

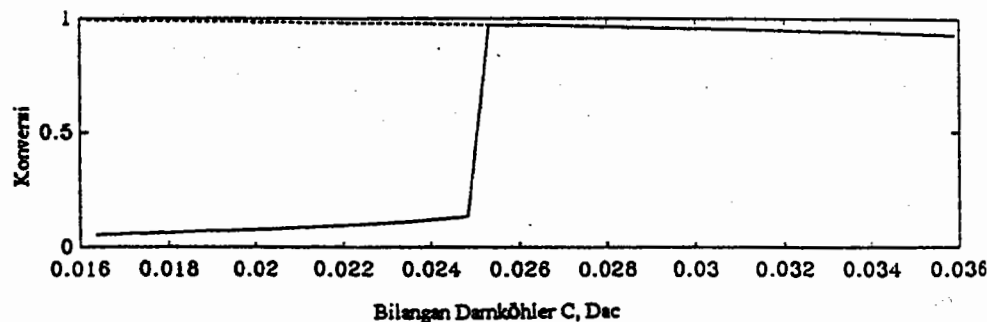
Hasil perhitungan ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Suhu Pendingin pada Kerja Reaktor

Dari gambar 2 nampak bahwa reaksi sangat peka pada suhu pendingin sekitar 296°K, pada suhu dibawahnya menghasilkan konversi yang sangat rendah, tetapi pada suhu diatasnya diperoleh konversi yang cukup tinggi. Untuk memperoleh konversi yang cukup tinggi dan reaksi berlangsung secara aman, suhu pendingin dipilih sebesar 300°K. Pada keadaan ini (*steady state*) diperoleh nilai konsentrasi A, konsentrasi B, konsentrasi C, dan suhu reaktor berturut-turut sebesar 0,0174 kg/kg, 0,2850 kg/kg, 0,1976 kg/kg, dan 368,5°K.

Pada RATB, keadaan tunak tidak hanya terjadi pada satu keadaan. *Multiplicity* merupakan suatu peristiwa yang keadaan tunaknya lebih dari satu. Suatu keadaan tunak tidak selalu bersifat stabil. Kestabilan keadaan ini dicapai, jika tangen arah garis pengambilan kalor lebih besar daripada garis produksi kalor (Westerterp.). Beberapa keadaan tunak dapat diperoleh dengan memvariasi bilangan Damköhler, misalnya melalui perubahan beberapa kecepatan alir umpan. Pengaruh bilangan Damköhler terhadap konversi ditunjukkan pada gambar 3.



Dari gambar 3 nampak bahwa untuk memperoleh konversi yang tinggi dan keadaan stabil, maka bilangan Damköhler untuk C harus tidak kurang dari 0,026. Sehingga untuk kecepatan alir 900 kg/jam atau pada bilangan Damköhler C (Dac) sebesar 0,0359, keadaan tunak yang diperoleh menghasilkan konversi yang tinggi dan bersifat stabil

4. KEADAAN OPERASI SEKITAR KEADAAN TUNAK

Nilai-nilai peubah yang menyebabkan keadaan tunak yang stabil dan konversi tinggi telah mempertimbangkan kepekaan operasi. Namun demikian, kepekaan operasi masih perlu diuji terhadap terjadinya gangguan, yaitu dengan mengubah nilai-nilai umpan pada sekitar keadaan tunaknya. Gangguan yang potensial terjadi meliputi perubahan kecepatan alir, perubahan suhu umpan, dan perubahan konsentrasi umpan. Pengaruh gangguan-gangguan tersebut pada sifat dinamis proses dapat dievaluasi melalui persamaan-persamaan dinamisnya, yaitu persamaan 5 sampai 8

Karena perubahan yang terjadi pada umpan umumnya kecil, maka pengaruhnya pada proses sering dievaluasi dengan bentuk linier persamaan dinamisnya. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dan mempercepat perhitungan. Jika persamaan 5 sampai 8 dilinierisasi dan dievaluasi pada keadaan operasinya, maka akan diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{dX}{dt} = AX + BZ \quad (11)$$

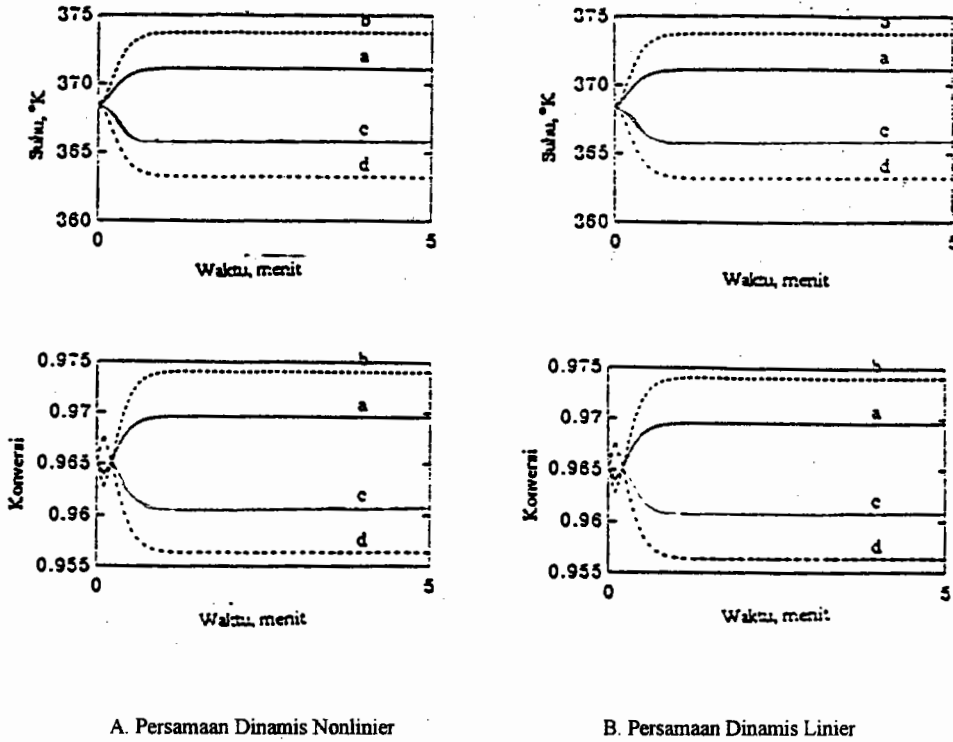
dengan :

$$\begin{aligned} x_1 &= c_a - c_{as} & z_1 &= F - F_s \\ x_2 &= c_b - c_{bs} & z_2 &= T_F - T_{Fs} \\ x_3 &= c_c - c_{cs} & z_3 &= c_F - c_{Fs} \\ x_4 &= T - T_s & s &= \text{nilai keadaan tunak} \end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} -23,52 & 0 & 0 & -0,0273 \\ 13,41 & -0,818 & 0 & 0,0173 \\ 9,296 & 0 & -0,818 & 0,0144 \\ 10123 & 0 & 0 & 11,02 \end{bmatrix} \text{ dan}$$

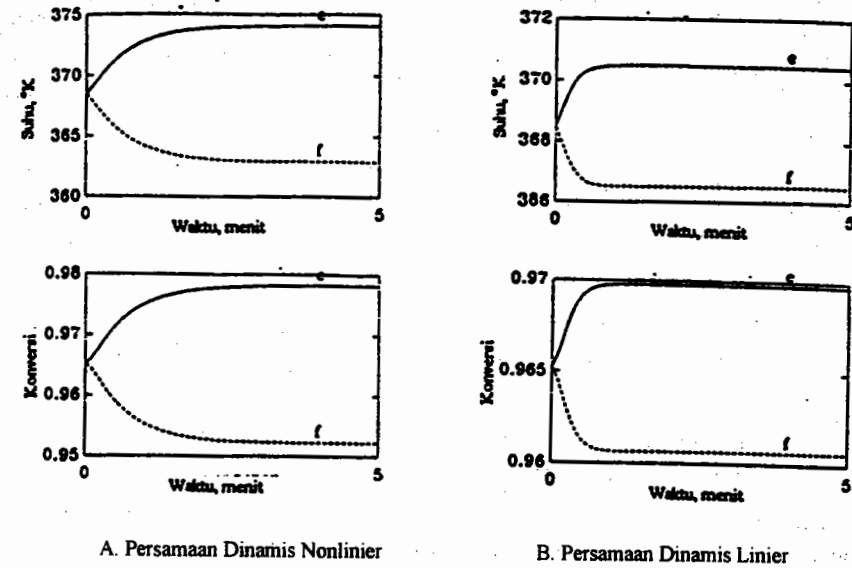
$$B = \begin{bmatrix} 0,0004 & 0 & 0,818 \\ -0,0003 & 0 & 0 \\ -0,0002 & 0 & 0 \\ -0,0676 & 0,818 & 0 \end{bmatrix}$$

Pengaruh perubahan-perubahan kecepatan alir, suhu umpan, dan konsentrasi umpan pada konversi dan suhu dengan kedua persamaan dinamis, baik nonlinier maupun linier, berturut-turut ditunjukkan pada gambar 4, 5, dan 6.

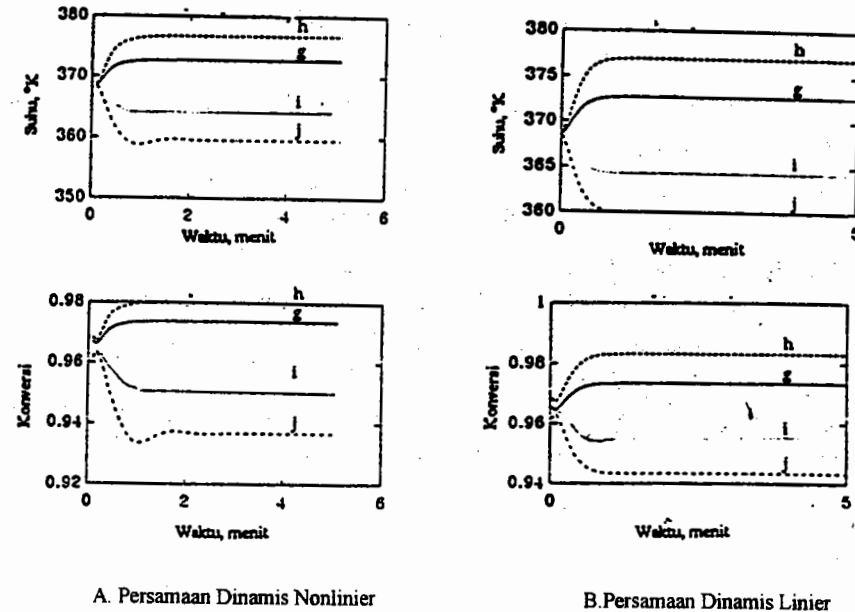


Gambar 4. Pengaruh Perubahan Kecepatan Umpan pada Konversi dan Suhu (a. naik 5%, b. naik 10%, c. turun 5%, dan d. turun 10%)

Dari gambar 4 nampak bahwa garis a, b, c, dan d, yaitu perubahan konversi dan suhu akibat perubahan kecepatan umpan, tidak menunjukkan perbedaan antara persamaan diferensial nonlinier dan persamaan diferensial liniernya. Hal yang menarik dari perubahan tersebut adalah naiknya konversi keadaan tunak dengan bertambahnya kecepatan alir, walaupun pada awalnya terjadi penurunan konversi. Kejadian ini dapat disebabkan oleh naiknya kecepatan reaksi akibat kenaikan suhu, seperti ditunjukkan pada perubahan suhu. Keadaan sebaliknya terjadi untuk penurunan kecepatan umpan.



Gambar 5. Pengaruh Perubahan Suhu Umpan pada Konversi dan Suhu (e. naik 5°C, dan f. turun 5°C)



Gambar 6. Pengaruh Perubahan Konsentrasi Umpan pada Konversi dan Suhu

Gambar 5 menunjukkan adanya perbedaan perubahan suhu untuk persamaan diferensial nonlinier dengan perubahan suhu untuk persamaan diferensial linier. Kenaikkan suhu akibat naiknya suhu umpan sebesar 5°C berturut-turut 5°C dan 2°C untuk nonlinier dan linier, demikian sebaliknya untuk penurunan suhu umpan. Hal serupa terjadi pada konversi.

Perbedaan perubahan konversi dan suhu juga terjadi pada perubahan konsentrasi umpan seperti ditunjukkan pada gambar 6. Namun demikian, pada keadaan tunak yang baru perbedaan tidak begitu nyata.

5. KESIMPULAN

- 1) Penetapan kondisi operasi reaktor alir tangki berpengaduk perlu dilakukan secara cermat.
- 2) Persamaan dinamis linier memberikan hasil yang sama dengan persamaan dinamis nonlinier untuk perubahan kecepatan alir umpan.
- 3) Persamaan dinamis linier memberikan hasil yang sedikit berbeda dengan persamaan dinamis nonlinier untuk perubahan konsentrasi umpan.
- 4) Persamaan dinamis linier memberikan hasil yang sangat berbeda dengan persamaan dinamis nonlinier untuk perubahan suhu umpan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Froment, G.F., and Bischoff, K.B., 1990, Chemical Reactor Analysis and Design, 2nd edition, hal.358, John Wiley & Sons, New York.
- Ljung, L., 1987, System Identification : Theory for the User, hal. 5, Prentice Hall International, Inc., New Jersey
- Perry, R.H., and Chilton, C.H., 1973, Chemical Engineers' Handbook, 5th edition, hal. 2-81, McGraw-Hill International Book Company, Auckland.
- Stepanopoulos, G., 1984, Chemical Process Control : An Introduction to Theory and Practice, hal. 113-115, Prentice Hall International, Inc., New Jersey
- Sulistyo, H. dan Handayani, W.R., 1997, Unjuk Kerja Reaktor Alir Tangki Berpengaduk, Forum Teknik, Jilid 21, No.2, hal. 195-210.
- Westerterp, K.R., Swaaij, W.P.M Van, and Beenackers, A.A.C.M., 1984, Chemical Reactor Design and Operation, hal. 312, John Wiley & Sons, New York.

KINETIKA REAKSI ETANOLISIS MINYAK JARAK DENGAN KATALISATOR NATRIUM HIDROKSID DAN PENAMBAHAN GARAM DAPUR PADA TEKANAN DI ATAS SATU ATMOSFER

Sofiyah¹

ABSTRACT

There have been a number of studies on alcoholysis of vegetable oils, but the oil conversion is not so high, due to equilibrium limitation. One method of increasing the oil conversion is to remove glycerine, by adding sodium chloride.

Ethanolysis of castor oil in the presence of sodium chloride was carried out in an autoclave equipped with thermometer, manometer, heating and rotating devices. Samples were withdrawn at the end of the process, then analyzed for their glycerine content using the Asetin method.

The reaction was found to be first order with respect to glyceride. Within the range of variables studied, temperature and amount of catalyst affected the reaction rate constant exponentially. Using 0.05 gram of NaCl per gram of castor oil and equivalent ratio of ethanol to castor oil of 5.16, the relative favourable process conditions were found to be 105 minutes of reaction time, temperature of 383 K, and 0.005 gram of catalyst (NaOH) per gram of castor oil. Glyceride conversion of 64.60 % was obtained under these condition.

1. PENGANTAR

Tanaman jarak dapat tumbuh dengan baik pada lahan kering dan gersang, sedangkan tanaman lain tidak dapat tumbuh dengan baik pada keadaan seperti itu. Biji jarak mengandung minyak 40 - 50 %. Selain digunakan dalam industri kosmetik, farmasi, cat, dan lain-lain, minyak jarak bisa dialkoholisis menjadi gliserol dan ester.

Konversi yang dicapai pada penelitian mengenai alkoholisis minyak nabati yang pernah dilakukan tidak tinggi, karena alkoholisis merupakan reaksi seimbang. Usaha untuk menggeser keseimbangan ke kanan, antara lain dengan memakai alkohol berlebihan atau mengambil salah satu hasil reaksi, misalnya gliserol (Groggins, 1958).

Dengan alkoholisis secara bertingkat yang disertai dengan pemisahan lapisan gliserol, konversi dapat meningkat cukup besar (Wiratni, 1995). Cara lain yang dapat dilakukan ialah dengan menambahkan garam dapur yang dapat larut dalam gliserol, tetapi tidak larut dalam minyak dan ester, sehingga setiap ada gliserol yang terbentuk