

PRODUKSI ASAM LEMAK DARI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN PROSES HIDROLISIS

Puguh Setyopratomo

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya
Jl. Raya Kalirungkut, Surabaya 60292
Telp.(031)2981158 Faks. (031)2981178
E-mail: puguh_sptm@yahoo.com

Abstrak

Pada penelitian ini Crude Palm Oil (CPO) dihidrolisis menjadi asam lemak dengan katalis HCl. Hidrolisis dilakukan di dalam reaktor gelas volume 1 liter yang berupa labu leher tiga berpengaduk. Selama percobaan reaktor dipanaskan di dalam oil bath dan diaduk pada kecepatan konstan 450 rpm. Percobaan dilakukan dengan variasi suhu 40 °C, 60 °C, dan 80 °C, dan variasi nisbah mol CPO/air sebesar 1:3, 1:6, 1:9, 1:12. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi konversi CPO menjadi asam lemak melalui hidrolisis belum mencapai kesetimbangan reaksi setelah reaksi berlangsung selama 8 jam. Konversi tertinggi yang dicapai dalam percobaan ini adalah 69,77%, yang dicapai pada suhu 80 °C dengan nisbah mol CPO/air 1:12. Dari data-data percobaan dapat dilihat bahwa pada reaksi hidrolisis CPO menjadi asam lemak, suhu reaksi dan ekse air memegang peranan yang sangat penting untuk mencapai tingkat konversi yang tinggi.

Kata kunci: asam lemak, CPO, hidrolisis, HCL

FATTY ACID PRODUCTION FROM PALM OIL BY HYDROLYSIS

Abstract

In this research work fatty acid was produced by hydrolysis of crude palm oil using hydrochloric acid catalyst. The hydrolysis was performed in 1 liter stirred spherical glass reactor. Agitation speed was maintained at 450 rpm, whereas oil bath was used to maintain the reaction mixture temperature. The reaction mixture temperature was varied at 40 °C, 60 °C, and 80 °C, whereas crude palm oil/water mol ratio was varied at 1:3, 1:6, 1:9, and 1:12. The experiment results showed that the reaction equilibrium had not been achieved yet after the reaction running for 8 hours. The highest conversion was 69.77% which was obtained at reaction temperature 80 °C and crude palm oil/water mol ratio 1:12. The experiment results also showed that the reaction temperature and water excess significantly affecting the reaction conversion.

Key words: crude palm oil, fatty acid, hydrolysis, HCL

PENDAHULUAN

Hidrolisis minyak dan lemak merupakan suatu proses industri yang penting. Produk dari proses tersebut yang berupa asam lemak dan gliserol adalah bahan baku dasar untuk berbagai aplikasi. Asam lemak digunakan sebagai bahan baku untuk produksi oleokimia seperti alkohol lemak, amin lemak dan ester lemak. Asam lemak juga digunakan dalam penyusunan berbagai macam produk, seperti sabun, deterjen, surfaktan, pelumas, plasticizers, cat,

coating, obat-obatan, makanan, produk perawatan pertanian, industri dan pribadi (Satyarthi J.K, et al, 2011). Dalam proses industri yang ada saat ini, minyak sawit mentah dihidrolisis menjadi asam lemak dan gliserol pada 250 °C dan tekanan 50 bar selama 2 jam untuk mencapai konversi 96-99%. Nisbah air terhadap minyak yang digunakan bervariasi pada rentang 0,4–1,5 (w/w), dengan kondisi tersebut, polimerisasi lemak dan pembentukan produk samping akan terjadi sehingga dihasilkan asam lemak yang berwarna sangat gelap

dan larutan gliserol yang tidak berwarna. Pemurnian lebih lanjut dengan distilasi diperlukan untuk menghilangkan warna dan pemisahan hasil samping tersebut. Hidrolisis yang diikuti distilasi untuk memurnikan merupakan proses yang memerlukan energi yang sangat besar. Oleh karena itu, akan sangat menguntungkan untuk mengembangkan proses dengan konsumsi energi yang rendah dan menghasilkan produk yang tidak berwarna (Noor, I.M., 2003; Moquin, P.H.L., & Temelli, F., 2008).

Beberapa penelitian hidrolisis minyak nabati telah dilakukan, diantaranya: hidrolisis minyak sawit dengan menggunakan enzim lipase dalam bioreaktor berpengaduk (Noor, I.M., et al., 2003, Al-Zuhair, S. et al., 2003), hidrolisis minyak sawit dalam system *lechitin/isooctane* (Knezevic, Z. et al., 2002), hidrolisis minyak sawit dan minyak olive di dalam reaktor *hollow fiber* (Shamel, M.M. et al., 2007), dan hidrolisis minyak sawit dengan katalis lipase dengan iradiasi ultrasonik (Gonçalves, K.M., 2012). Beberapa peneliti telah mengembangkan model kinetik hidrolisis minyak nabati, diantaranya: Model kinetika *unsteady state* hidrolisis minyak sawit dalam bioreactor batch berpengaduk (Al-Zuhair, S. et al., 2004), dan Studi kinetika hidrolisis parsial minyak sawit dengan katalis *Rhizomucor miehei lipase* (Phuaha, E. et al., 2012).

Produksi CPO di Indonesia selalu mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, di mana saat ini merupakan penghasil CPO terbesar di dunia. Selama ini selain untuk mencukupi kebutuhan dalam negeri, minyak sawit diekspor dalam bentuk CPO. Untuk meningkatkan nilai ekonomis ekspor komoditi ini, CPO perlu diolah menjadi produk lain yang mempunyai nilai ekonomi lebih tinggi. Peningkatan produksi dan peningkatan nilai ekonomi CPO melalui konversi menjadi produk yang bernilai ekonomi lebih tinggi, akan memberikan dampak yang sangat berarti terhadap pendapatan masyarakat Indonesia pada umumnya dan khususnya petani sawit. Salah satu cara peningkatan nilai ekonomi minyak kelapa sawit adalah dengan proses hidrolisis menjadi asam lemak dan gliserol yang bernilai jual lebih tinggi.

Komponen utama CPO adalah trigliserida dengan kandungan sampai 93%. Kandungan gliserida yang lain dalam CPO adalah digliserida 4,5% dan monogliserida 0,9%. Selain itu, CPO juga mengandung pengotor seperti: asam lemak bebas, dan gum dimana didalamnya terdapat fosfolipid dan glikolipid. Komponen asam lemak bebas utama penyusun CPO adalah palmitat (40-45%) dan oleat (39-45%) (Herman, S., & Khairat, 2004). Komposisi CPO bisa bervariasi, tergantung dari spesies, lokasi tumbuh, dan umur tanaman sawit.

Reaksi di atas merupakan reaksi total, akan tetapi sebenarnya, proses hidrolisis trigliserida berlangsung melalui 3 tahap (Ritonga.M, 2004).

Pada akhir proses hidrolisis, asam lemak dan gliserol akan terpisah pada fasa yang berbeda. Kegunaan asam lemak terutama adalah sebagai bahan baku dalam industri makanan dan kosmetik, sedangkan gliserol dapat digunakan sebagai pelarut, sebagai bahan baku dalam industri obat-obatan, industri makanan, dan industri bahan peledak. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses hidrolisis adalah: suhu, katalis, perbandingan pereaksi, waktu reaksi dan pengadukan (Mahargiani, T., 2003).

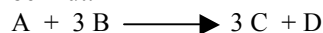
Asam lemak bebas yang diperoleh dari hidrolisis CPO akan memiliki komposisi yang sama dengan komposisi asam lemak penyusun trigliserida dalam CPO, dimana sebagian besar akan berupa asam olet dan asam palmitat. Salah satu parameter yang menunjukkan tingkat konversi CPO menjadi asam lemak adalah angka asam dari produk hidrolisis. Angka asam menyatakan mg KOH yang diperlukan untuk menetralkan 1 gram minyak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan perbandingan mol reaktan pada konversi CPO menjadi asam lemak terhadap parameter-parameter termodinamika maupun kinetika reaksi. Disamping itu juga ingin diketahui rumusan persamaan kinetika reaksi dengan memodelkan reaksi sebagai reaksi elementer, satu arah (*irreversible*), homogen, dengan konsentrasi air yang berlebih.

Untuk merancang suatu reaktor skala industri, perlu diketahui secara pasti parameter-parameter terkait besaran-besaran termodinamika maupun kinetika reaksi. Pengetahuan parameter-parameter tersebut sangat penting dalam optimasi perancangan peralatan proses. Untuk memulai mencari solusi terhadap permasalahan tersebut, perlu dilakukan studi untuk mengetahui karakteristik reaksi, baik yang menyangkut aspek termodinamika maupun kinetika reaksi.

Reaksi hidrolisis CPO menjadi asam lemak ini merupakan reaksi dua arah (*reversible*) heterogen, karena fasa minyak dan fasa air tidak saling larut. Reaksi hidrolisis terjadi di fasa minyak, dan untuk mencapai fasa minyak molekul air harus berdifusi dahulu ke fasa minyak. Pada reaksi hidrolisis CPO ini peristiwa difusi molekul air ke fasa minyak berlangsung relatif lebih cepat dibandingkan reaksi yang terjadi, sehingga laju reaksi secara keseluruhan dikendalikan oleh laju reaksi kimia (Mahargiani, T., 2003). Atas dasar kondisi tersebut, pendekatan ke model reaksi homogen dapat dilakukan.

Jika perilaku reaksi hidrolisis CPO ini dimodelkan sebagai reaksi elementer, satu arah homogen, dengan konsentrasi air yang berlebih (sehingga konsentrasi air dianggap konstan sepanjang waktu), maka dapat diturunkan model kinetika sebagai berikut:



dimana A: trigliserida, B: air, C: asam lemak, dan D: gliserol. Persamaan laju reaksi dituliskan sebagai :

$$-r_A = k C_A (C_B)^3 \quad (1)$$

Karena konsentrasi air sangat tinggi dan dianggap konstan, maka dapat dituliskan:

$$-r_A = [k (C_B)^3] C_A \quad (2)$$

$$-r_A = K C_A \quad (3)$$

Substitusi ke persamaan reaktor untuk sistem *batch* :

$$dt = C_{A0} [dX_A / (K C_A)] \quad (4)$$

$$-\ln(1 - X_A) = K t \quad (5)$$

Jadi dari data X_A pada berbagai waktu t dapat diperoleh harga konstanta laju reaksi k .

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam percobaan adalah berupa minyak sawit mentah (CPO) diperoleh dari industri di Surabaya. Katalis yang digunakan adalah HCl pekat dengan konsentrasi 10,6 N dengan jumlah katalis yang ditambahkan sebanyak 1% terhadap massa campuran reaksi.

Prosedure percobaan

Sebelum reaksi hidrolisa CPO dilangsungkan, terlebih dahulu dilakukan penentuan angka asam lemak total dan angka asam lemak bebasnya dari CPO yang akan digunakan. Setelah angka asam lemaknya ditentukan, sejumlah CPO dimasukkan ke dalam reaktor gelas volume 1 liter, yang berupa labu leher tiga berpengaduk, dan kemudian dipanaskan di dalam oil bath dan diaduk pada kecepatan konstan 450 rpm. Reaktor dilengkapi dengan refluks kondensor tegak dengan pendingin air untuk mempertahankan massa campuran reaksi dalam jumlah yang tetap. Hal ini juga menjaga tekanan operasi selama reaksi selalu atmosferik. Setelah suhu yang dikehendaki tercapai katalis HCl sebanyak 1% dan air, pada suhu yang sama dengan suhu CPO di reaktor, dimasukkan kedalam reaktor dan suhu reaksi dipertahankan konstan. Analisis terhadap produk hasil reaksi dilakukan setelah reaksi berakhir sesuai dengan waktu yang dikehendaki.

Karena produknya membentuk 2 fasa, pada akhir percobaan campuran reaksi dimasukkan ke dalam corong pisah terlebih dahulu untuk pemisahan kedua fasa yang terbentuk. CPO yang belum terkonversi dan asam lemak bebas berada pada fasa atas, sedangkan air dan gliserol berada pada fasa bawah. Fasa CPO yang belum terkonversi dan asam lemak bebas dipisahkan untuk dianalisis angka asam lemaknya. Analisis angka asam lemak dilakukan dengan menggunakan metode titrasi.

Konversi reaksi (X_A) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X_A = \frac{b}{a} = \frac{A_{st} - A_{so}}{A_t - A_{so}} \quad (6)$$

Percobaan diulang dengan variasi suhu: 40 °C, 60 °C, dan 80 °C, variasi nisbah mol CPO/air sebesar: 1:3, 1:6, 1:9, dan 1:12, dan variasi waktu reaksi: 2, 4, 6, dan 8 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

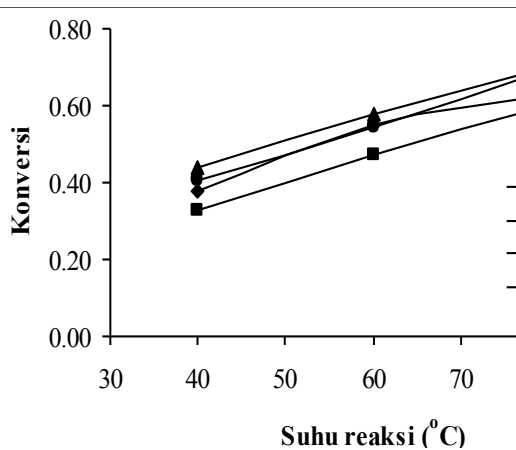
Konversi reaksi dari seluruh percobaan disajikan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 tersebut dapat dilihat bahwa konversi tertinggi, yaitu sebesar 69,77%, dicapai pada suhu 80 °C dengan nisbah mol CPO/air 1:12 dan waktu reaksi 8 jam. Peningkatan waktu reaksi selalu diikuti oleh peningkatan konversi, hal ini menunjukkan bahwa reaksi belum mencapai kesetimbangan termodinamik.

Kurva konversi reaksi terhadap suhu pada berbagai nisbah mol CPO/air dengan waktu reaksi selama 8 jam disajikan pada Gambar 2.

Tabel 1. Konversi reaksi

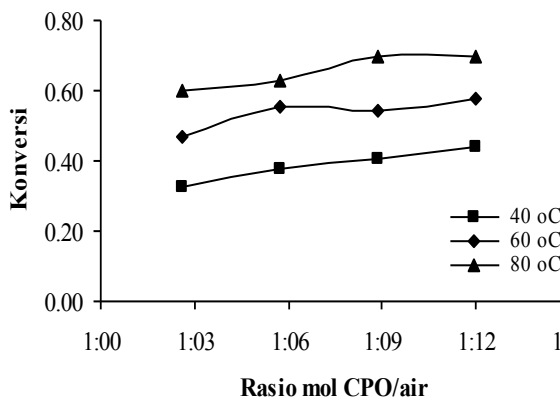
Waktu (jam)	Suhu (°C)	Konversi pada rasio mol CPO/air (X_A , %)			
		1 : 3	1 : 6	1 : 9	1 : 12
2	40	10,69	20,43	24,17	29,87
	60	23,98	29,23	33,46	38,94
	80	34,19	39,94	45,31	49,02
4	40	11,95	22,88	27,66	31,91
	60	31,88	36,74	41,70	47,19
	80	40,38	44,76	48,74	57,89
6	40	26,55	29,07	34,56	36,36
	60	46,37	47,91	46,46	53,13
	80	47,02	54,58	56,79	63,24
8	40	32,78	37,66	40,45	44,15
	60	47,11	55,15	54,46	57,98
	80	59,79	62,97	69,59	69,77

Dari Gambar 2 tersebut dapat dilihat bahwa kenaikan suhu menyebabkan kenaikan konversi reaksi. Karena reaksi belum mencapai kesetimbangan termodinamik, maka pengaruh suhu terhadap konversi ini dapat dijelaskan dari aspek kinetika reaksi. Dimana dari aspek kinetika hal ini sesuai dengan hukum *Arrhenius* yang menyatakan bahwa kenaikan suhu reaksi akan selalu menyebabkan kenaikan laju reaksi. Kenaikan suhu sebesar 20 °C menyebabkan kenaikan konversi yang cukup signifikan, yaitu sebesar lebih dari 12%. Dengan mengamati kecenderungan kurva konversi reaksi terhadap suhu tersebut, kenaikan konversi secara signifikan masih bisa dicapai dengan menjalankan reaksi pada suhu di atas 80 °C.

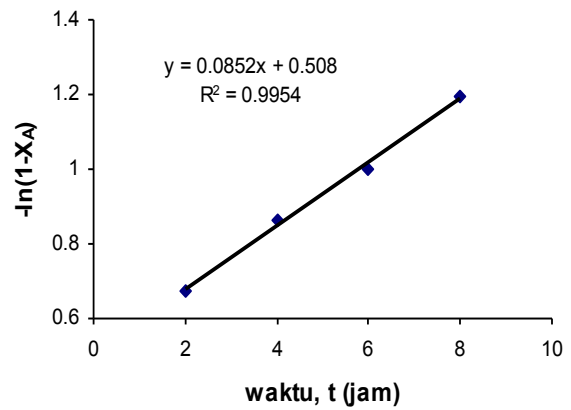


Gambar 2. Konversi reaksi terhadap suhu untuk waktu reaksi 8 jam

Pada Gambar 3 disajikan kurva konversi reaksi terhadap rasio mol CPO/air pada berbagai suhu dengan waktu reaksi selama 8 jam. Dari Gambar 3 tersebut terlihat bahwa kenaikan nisbah mol CPO/air sampai 1:12 menghasilkan kenaikan konversi reaksi. Ini menunjukkan bahwa ekse air memberikan kontribusi yang sangat signifikan pada reaksi ini. Disamping penambahan jumlah air akan menggeser kesetimbangan ke arah pembentukan produk asam lemak, secara kinetika laju reaksi juga bisa mempunyai ketergantungan terhadap konsentrasi air dalam sistem reaksi. Melihat kecenderungan kurva pada Gambar 3 tersebut, masih dimungkinkan untuk meningkatkan konversi reaksi dengan jalan meningkatkan ekse air pada rasio mol CPO/air di atas 1:12, terutama untuk reaksi pada suhu reaksi 40 °C.



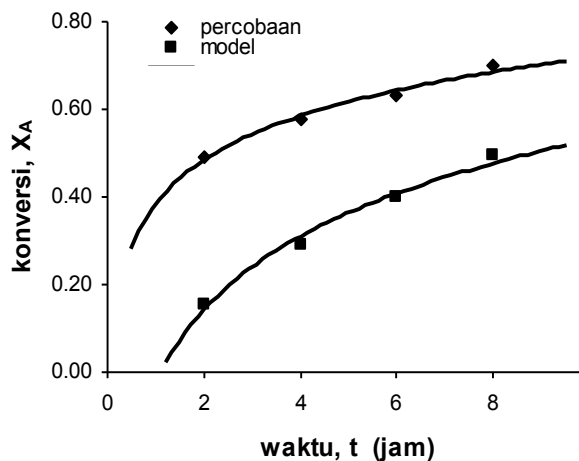
Gambar 3. Konversi reaksi terhadap nisbah mol CPO/air untuk waktu reaksi 8 jam



Gambar 4. $-\ln(1-X_A)$ terhadap waktu t untuk nisbah mol CPO/air 1:12 dan suhu reaksi 80 °C

Untuk kajian kinetika reaksi digunakan data percobaan dengan nisbah mol CPO/air 1:12 dengan suhu reaksi 80 °C, dengan mengambil model reaksi elementer, satu arah homogen, dengan konsentrasi air yang berlebih (konsentrasi air dianggap konstan sepanjang waktu). Konstanta laju reaksi diperoleh dengan membuat kurva $-\ln(1-X_A)$ terhadap t, seperti yang disajikan pada Gambar 4. Kurva pada Gambar 4 tersebut mengikuti persamaan $-\ln(1-X_A) = Kt$. Dari kurva pada Gambar 4 tersebut diperoleh harga K, yang merupakan gradien dari kurva, yaitu 0,0852. Harga K merupakan perkalian konstanta laju reaksi dengan konsentrasi air, $K = [k(C_B)^3]$. Untuk rasio mol CPO/air 1:12 diperoleh konsentrasi air $C_B = 0,01140709$ mol/ml. Dari data-data tersebut diperoleh harga konstanta laju reaksi $k = 56303,3$ [$l^3/(mol^3s^3)$], dengan diperolehnya konstanta laju reaksi maka didapat persamaan kinetika reaksi, yaitu $-\ln(1-X_A) = 0,0852t$. Persamaan ini dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu: $X_A = 1 - e^{-Kt}$. Persamaan ini merupakan model kinetika yang dapat digunakan untuk menentukan konversi reaksi setiap waktu. Plot konversi reaksi yang dihitung dari model tersebut pada berbagai waktu disajikan pada Gambar 5.

Dari kurva pada Gambar 5 terlihat bahwa konversi yang dihitung dari model kinetika dibandingkan dengan data percobaan masih terdapat penyimpangan yang cukup besar. Penyimpangan semakin kecil ketika waktu reaksi semakin panjang. Penyimpangan yang cukup besar ini bisa disebabkan oleh pengambilan asumsi reaksi yang bersifat elementer yang tidak didukung oleh bukti yang memperkuat asumsi. Oleh karena itu studi tentang orde reaksi untuk reaksi hidrolisis CPO ini menjadi hal yang sangat menarik.



Gambar 5. Konversi reaksi X_A terhadap waktu t untuk suhu reaksi $80\text{ }^\circ\text{C}$

Hasil penelitian ini mendukung hasil penelitian yang dilakukan oleh Herman, S., & Khairat, 2004, yang melakukan studi kinetika reaksi hidrolisis minyak sawit dengan katalis asam khlorida. Hidrolisis dilakukan pada suhu yang lebih tinggi, yaitu $110\text{--}140\text{ }^\circ\text{C}$. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa reaksi ber-orde 1,6 terhadap minyak dan 0,4 terhadap air. Konstanta kecepatan reaksi yang diperoleh dipengaruhi oleh suhu yaitu berharga $5 \times 10^{-5}\text{ m}^3/(\text{mol}\cdot\text{s})$ pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ dan berharga $37 \times 10^{-5}\text{ m}^3/(\text{mol}\cdot\text{s})$ pada suhu $140\text{ }^\circ\text{C}$. Konversi tertinggi yang dicapai sebesar 51,24% pada suhu $140\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam. Sedangkan konversi tertinggi yang dicapai pada penelitian ini adalah, 69,77% pada suhu reaksi $80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 8 jam.

SIMPULAN

Dari data-data percobaan dapat disimpulkan bahwa reaksi konversi CPO menjadi asam lemak melalui hidrolisis belum mencapai kesetimbangan reaksi setelah reaksi berlangsung selama 8 jam. Hal ini ditunjukkan masih terus bertambahnya konversi reaksi sampai waktu reaksi 8 jam. Suhu reaksi memegang peranan penting untuk mencapai tingkat konversi yang tinggi, karena disamping secara kinetik akan mempercepat reaksi, reaksi yang bersifat endotermis memerlukan suhu yang tinggi untuk menggeser kesetimbangan reaksi ke arah pembentukan produk asam lemak. Peningkatan suhu reaksi di atas $80\text{ }^\circ\text{C}$ masih bisa dilakukan untuk mendapatkan konversi reaksi yang lebih tinggi.

Ekses air juga berpengaruh sangat signifikan dalam meningkatkan konversi reaksi, disamping penambahan jumlah air akan menggeser kesetimbangan ke arah pembentukan produk asam lemak, secara kinetika laju reaksi juga bisa mempunyai ketergantungan terhadap konsentrasi air dalam sistem reaksi. Peningkatan ekses air dengan rasio mol

CPO/air lebih dari 1:12 masih bisa dilakukan dalam rangka meningkatkan konversi reaksi.

Untuk mendapatkan hasil pemodelan kinetika reaksi yang lebih sesuai, perlu dilakukan terlebih dahulu studi tentang orde reaksi hidrolisis CPO menjadi asam lemak ini.

DAFTAR NOTASI

- a angka asam lemak terikat dalam minyak, [mg KOH/g sampel]
- A_{so} angka asam lemak bebas sebelum dihidrolisis, [mg KOH/g sampel]
- A_{st} angka asam lemak bebas setelah dihidrolisis, [mg KOH/g sampel]
- A_t angka asam lemak total sebelum dihidrolisis, [mg KOH/g sampel]
- b angka asam lemak terikat yang terhidrolisis, [mg KOH/g sampel]
- C_A konsentrasi A, [mol/liter]
- C_{A0} konsentrasi A pada saat awal, [mol/liter]
- C_B konsentrasi B, [mol/liter]
- k konstanta laju reaksi, [$\text{t}^3/(\text{mol}^3\cdot\text{s}^3)$]
- K konstanta, [$k(C_B)^3$]
- r_A laju reaksi, [mol/(liter. s)]
- t waktu, [s]
- X_A konversi reaksi

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Zuhair, S., Hasan, M., & Ramachandran, K.B. (2003). *Kinetics of the enzymatic hydrolysis of palm oil by lipase*, Process Biochemistry, 38: 1155-1163.
- Al-Zuhair, S., Hasan, M., & Ramachandran, K.B. (2004). *Unsteady-state kinetics of lipolytic hydrolysis of palm oil in a stirred bioreactor*, Biochemical Engineering Journal, 19:81-86.
- Gonçalves, K.M., Sutuli, F.K., Leite, S.G.F., Souza, R.O.M.A., & Ramos Leal, I.C., (2012). *Palm oil hydrolysis catalyzed by lipases under ultrasound irradiation – The use of experimental design as a tool for variables evaluation*, Ultrasonics Sonochemistry, 19: 232-236.
- Herman, S., & Khairat, (2004). *Kinetika Reaksi Hidrolisis Minyak Sawit dengan Katalisator Asam Khlorida*, Jurnal Natur Indonesia, 6(2): 118-121.
- Knezevic, Z., Bobic, S., Milutinovic, A., Obradovic, B., Ljiljana Mojovic, L., & Bugarski, B. (2002). *Alginate-immobilized lipase by electrostatic extrusion for the purpose of palm oil hydrolysis in lecithin/isooctane system*, Process Biochemistry, 38: 313- 318.
- Mahargiani, T., (2003). *Kinetika Reaksi Hidrolisis Minyak Kelapa Sawit dengan Katalisator HCl*. Prosiding SRKP 2003 Teknik Kimia Undip, B-11-1 s.d. B-11-4.

- Mahargiani, T., (2003). Hidrolisis Minyak Kelapa Sawit Ditinjau Secara Heterogen. Prosiding SRKP 2003 Teknik Kimia Undip, B-10-1 s.d. B-10-4.
- Moquin, P.H.L., & Temelli, F. (2008). *Kinetic modeling of hydrolysis of canola oil in supercritical media*, J. of Supercritical Fluids, 45:94–101.
- Noor, I.M., Hasan, M., & Ramachandran, K.B. (2003). *Effect of operating variables on the hydrolysis rate of palm oil by lipase*, Process Biochemistry, 39:13-20.
- Phuaha, E., Lai, O., Choong, T.S., Tand, C., & Loe, S., (2012). *Kinetic study on partial hydrolysis of palm oil catalyzed by Rhizomucor miehei lipase*, Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 78: 91– 97.
- Ritonga, M., (2004). Pengaruh Bilangan Asam Terhadap Hidrolisa Minyak Kelapa Sawit. Digital Library Universitas Sumatera Utara (USU).
- Satyarthi J.K., Srinivas D., & Ratnasamy P. (2011). *Hydrolysis of vegetable oils and fats to fatty acids over solid acid catalysts*, Applied Catalysis A: General, 391:427–435.
- Shamel, M.M., Ramachandran, K.B., Hasan, M., Al-Zuhair, S., (2007). *Hydrolysis of palm and olive oils by immobilized lipase using hollow fiber reactor*, Biochemical Engineering Journal, 34: 228–235.