

KINETIKA HIDROLISA MINYAK HATI IKAN KOD DENGAN TINJAUAN REAKSI HETEROGEN

Dwi Ardiana Setyawardhani dan Yustinah
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

Abstract : *Over the last few years, omega-3 fatty acids were interested for healthy food consumption. The fatty acids were produced by hydrolysis of cod liver oil in the presence of HCl as catalyst. The aim of this research was to estimate the reaction rate parameters. The experiment was carried out in a stirred-batch reactor equipped with condensor and temperature controller to maintain it isothermally. The equivalent ratio of water/oil was fixed at 10 times and the catalyst was set 0.1% oil based. This hydrolysis reaction was observed in a heterogen reaction, because of the oil-water solubility, and temperature vary at 323 – 363^oK. There were mass transfer and chemical reaction simultaneously.*

Temperature absolutely affected the reaction rate constant. It developed on the - ln k = 2,112 + 1504,6 (1/T) equations. On he other hand, it had only a small effect on the volumetric mass transfer coefficient (Kc_a).

Keywords : Omega-3, fattyacids, hydrolysis

Pendahuluan

Dewasa ini minyak ikan banyak diminati masyarakat karena kandungan asam lemak tak jenuhnya yang dominan. Omega-3, omega-6 dan omega-9 tergolong dalam jenis asam-asam lemak tak jenuh yang banyak terdapat pada minyak ikan, dan sangat bermanfaat bagi kesehatan manusia.

Asam lemak omega-3 ditengarai berpotensi mencegah penyakit jantung koroner dan menekan kadar kolesterol dalam darah. Di samping itu asam dokoheksanoat (DHA) yang termasuk golongan asam ini berperan penting dalam pembentukan membran otak dan mata selama pertumbuhan janin (Carlson, 1995).

Produk minyak ikan yang ditawarkan dapat berupa kapsul minyak ikan, kapsul murni DHA dan EPA (asam eikosapentanoat) serta konsentrat minyak ikan. Produk yang terakhir sengaja dibuat untuk mengurangi kadar kolesterol yang tinggi dan bau amis yang masih dijumpai pada kapsul minyak ikan. Dalam bentuk konsentrat, jumlah minyak yang dikonsumsi lebih sedikit dan dapat diformulasikan dalam bentuk produk pangan seperti susu formula dan makanan bayi.

Untuk memperoleh konsentrat asam lemak omega 3 dari minyak ikan, proses yang umum digunakan adalah hidrolisa. Reaksi hidrolisa terhadap minyak nabati maupun hewani akan

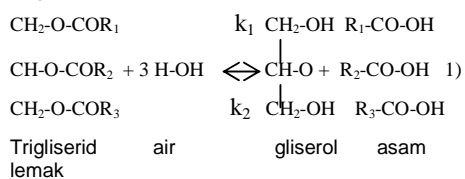
menghasilkan gliserol dan asam lemak. Karena reaksi ini umumnya berjalan lambat, maka penggunaan temperatur dan tekanan yang tinggi biasa dilakukan untuk meningkatkan konversi (Bailey, 1945). Bila dikehendaki hasil asam lemak, gliserol dapat diikat dengan penambahan larutan urea sehingga asam lemak dapat terpisah.

Asam lemak tak jenuh bersifat kurang stabil, sehingga pada temperatur tinggi mudah mengalami polimerisasi, siklisasi dan stereomutasi pada ikatan rangkap (Sontag, 1979). Dengan kondisi demikian, hidrolisa pada temperatur tinggi sebaiknya dihindari.

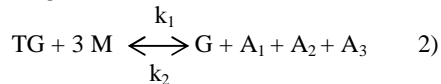
Tujuan penelitian ini memperoleh parameter persamaan kecepatan reaksi hidrolisa minyak hati ikan kod dengan katalis asam. Hasil penelitian diharapkan dapat dipergunakan untuk mendukung perancangan proses dan peralatan skala industri.

Dasar Teori

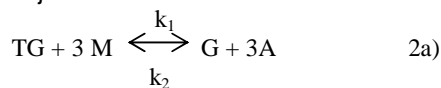
Pada reaksi hidrolisa untuk memperoleh asam lemak dari minyak hati ikan kod ini persamaan reaksi yang terjadi adalah :



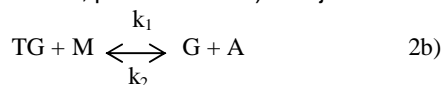
Persamaan reaksi 1) dapat dituliskan sebagai



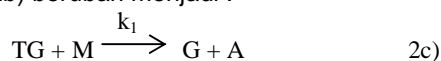
Asam lemak penyusun minyak umumnya memiliki panjang rantai yang hampir sama, dan dengan bertambahnya panjang rantai, nilai tetapan kecepatan reaksi senyawa yang berupa deret homolog mempunyai nilai yang hampir sama (Sofiyah, 1995). Sehingga persamaan 2) dapat diubah menjadi :



Konsentrasi trigliserida tidak dapat dinyatakan dalam satuan molar karena berat molekulnya tidak diketahui. Dengan demikian, jika dinyatakan dalam ekivalen, persamaan 2a) menjadi :



Bila reaksi dijalankan dalam waktu yang relatif singkat, dan air ditambahkan cukup berlebihan sehingga reaksi bergeser ke kanan, maka persamaan 2b) berubah menjadi :



Persamaan kecepatan reaksinya dapat dituliskan :

$$r_1 = \frac{dC_{TGI}}{dt} = -k_1 C_{TGI} C_{MI} \quad 3)$$

Minyak dan air merupakan dua senyawa yang tidak saling larut (*immiscible*), sehingga reaksi yang terjadi merupakan dua proses yang terjadi secara seri, yaitu perpindahan massa dan reaksi kimia, yang dalam penelitian ini ditinjau secara heterogen. Dalam reaksi heterogen ini ada 2 fase yang terlibat, yakni fase minyak dan fase air.

Reaksi hidrolisa dilakukan dalam reaktor tangki berpengaduk yang dijalankan secara isothermal. Mula-mula dalam tangki terdapat fase minyak yang mengandung trigliserid dengan

konsentrasi C_{TGo} gek trigliserid / volume minyak, dan fase air yang mengandung air dengan konsentrasi C_{Mo} gek air / volum air ditambahkan kemudian. Kadar zat-zat di fase minyak diberi simbol I dan di fase air diberi simbol II. Reaksi dimulai pada saat pengaduk mulai dijalankan. Proses yang terjadi dimodelkan dengan asumsi-asumsi :

1. Volum campuran total dianggap tetap.
2. Kesetimbangan hanya ditinjau pada cairan pereaksi.
3. Tidak ada perpindahan gliserid dari fase minyak ke fase air.
4. Reaksi hanya berlangsung di *main body* minyak. Minyak tidak mendifusi ke fase air, tetapi air-lah yang mendifusi ke fase minyak.
5. Tidak ada hubungan kesetimbangan gliserid pada fase minyak dan pada fase air.

Persamaan-persamaan matematis pada proses ini dapat disusun sebagai berikut :

1. Kecepatan perpindahan air dari fase air ke interfase (gek M/ waktu/ volum campuran):

$$N_M = K_{CM1} a (C_{MII} - C_{MII}) \quad 4)$$

2. Kesetimbangan terjadi di interfase :

$$C_{MII} = H \cdot C_{MI} \quad 5)$$

3. Kecepatan perpindahan air dari interfase ke fase minyak :

$$N_M = K_{CM2} a (C_{MI} - C_{MI}) \quad 6)$$

4. Di fase minyak, air bereaksi dengan gliserid menurut kecepatan reaksi (gek TG / waktu / volum campuran) :

$$r_1 = -k_1 C_{TGI} C_{MI} \quad 7)$$

Manipulasi persamaan 5), 6) dan 7) menghasilkan :

$$N_M = \frac{(C_{MI} / H) - C_{MI}}{\frac{1}{HK_{CM1} a} + \frac{1}{K_{CM2} a}} \quad 8)$$

Neraca massa air di fase minyak :

Rate of input – rate of output – rate of reaction = rate of accumulation

$$N_M (V_T) - k_1 C_{TGI} C_{MI} V_T = \frac{d(V_T C_{MI})}{dt} \quad 9)$$

Bila V_T konstan dan persamaan 8) disubstitusikan ke persamaan 9) maka :

$$\left(\frac{C_{MI}/H - C_{MI}}{\frac{1}{HK_{CM1}a} + \frac{1}{K_{CM2}a}} \right) - k_1 C_{TGI} C_{MI} = \frac{dC_{MI}}{dt} \quad 10)$$

Untuk menyelesaikan persamaan 10), bila disusun persamaan tambahan berikut :

$$\frac{1}{K_{CM}a} = \frac{1}{HK_{CM1}a} + \frac{1}{K_{CM2}a} \quad 11)$$

maka persamaan 10) menjadi :

$$\left(\frac{C_{MI}}{H} - C_{MI} \right) K_{CM}a - k_1 C_{TGI} C_{MI} = \frac{dC_{MI}}{dt} \quad 12)$$

Neraca massa trigliserid di fase minyak :
Rate of input – rate of output – rate of reaction = rate of accumulation

$$0 - 0 - k_1 C_{TGI} C_{MI} V_T = \frac{d(V_T C_{TGI})}{dt} \quad 13)$$

$$\frac{d(V_T C_{TGI})}{dt} = -k_1 C_{TGI} C_{MI} V_T \quad 14)$$

Rate of input dan rate of output = 0 karena tidak ada input minyak ke fasa I dan tidak ada output minyak ke fasa II (dianggap minyak tidak mendifusi ke fasa air).

Bila V_T dianggap tetap selama reaksi maka persamaan 14) menjadi :

$$\frac{dC_{TGI}}{dt} = -k_1 C_{TGI} C_{MI} \quad 15)$$

Neraca massa asam lemak di fase minyak :

Rate of input – rate of output – rate of reaction = rate of accumulation

$$0 - 0 - k_1 C_{TGI} C_{MI} V_T = \frac{d(V_T C_{EI})}{dt} \quad 16)$$

$$\frac{d(V_T C_{EI})}{dt} = -k_1 C_{TGI} C_{MI} V_T \quad 17)$$

Rate of input dan rate of output = 0 karena tidak ada input asam lemak ke fasa I dan tidak ada output asam lemak ke fasa II.

Bila V_T dianggap tetap selama reaksi maka persamaan 17) menjadi :

$$\frac{dC_{AI}}{dt} = -k_1 C_{TGI} C_{MI} \quad 18)$$

Neraca massa gliserol di fase minyak :
Rate of input – rate of output – rate of reaction = rate of accumulation

$$0 - 0 - k_1 C_{TGI} C_{MI} V_T = \frac{d(V_T C_{GI})}{dt} \quad 19)$$

$$\frac{d(V_T C_{GI})}{dt} = -k_1 C_{TGI} C_{MI} V_T \quad 20)$$

Rate of input dan rate of output = 0 karena tidak ada input gliserol ke fasa I dan tidak ada output gliserol ke fasa II.

Bila V_T dianggap tetap selama reaksi maka persamaan 20) menjadi :

$$\frac{dC_{GI}}{dt} = -k_1 C_{TGI} C_{MI} \quad 21)$$

Persamaan 12), 15), 18) dan 21) merupakan persamaan diferensial ordiner jenis *initial value problem*, yang diselesaikan secara simultan dengan minimasi SSE. Harga H tertentu (diperoleh dari percobaan) dan keadaan batas yang digunakan :

$t = 0; C_{TGI} = C_{TGI0}; C_{MI} = 0; C_{GI} = 0; C_{AI} = 0$
 $t = t; C_{TGI} = C_{TGI}; C_{MI} = C_{MI}; C_{GI} = C_{GI}; C_{AI} = C_{AI}$
(Sediawan & Prasetya, 1997)

Metode Penelitian

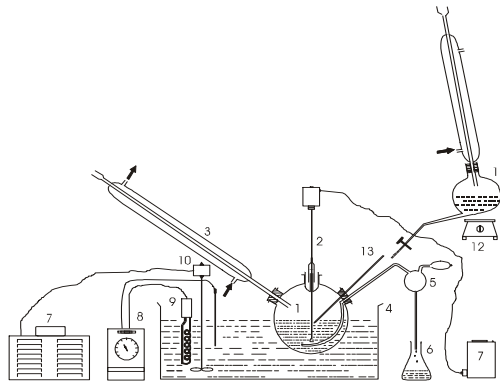
Penelitian ini menggunakan bahan-bahan berupa minyak hati ikan kod yang dapat diperoleh di pasaran dengan relatif mudah dan kemurnian tinggi. Minyak memiliki kadar air 5%, rapat massa 0,9244 g/mL, kadar asam lemak total 3,6018 mgek/g dan asam lemak bebas 0,0189 mgek/g. Sedangkan aquades diperoleh dari Laboratorium Dasar Teknik Kimia UNS dengan rapat massa 0,9962. HCl dengan *grade pro-analyze* sebagai katalis diperoleh dari laboratorium yang sama dengan kadar 36,5%.

Skema rangkaian alat penelitian terlihat pada gambar 1.

Minyak hati ikan kod dengan kadar trigliserida 3,5829 mgek/g ditimbang sebanyak 200 g. Minyak dipanaskan dalam reaktor yang dilengkapi dengan pendingin balik, pengaduk, pengambil cuplikan dan termometer hingga mencapai suhu reaksi.

Aquades dengan perbandingan tertentu (minyak : aquades = 1 : 10 mgek) dicampur dengan katalis HCl (sejumlah 0,1 % berat minyak), dipanaskan juga pada alat terpisah hingga mencapai suhu yang sama

dengan suhu operasi reaktor. Kemudian campuran aquades dan HCl dialirkan ke dalam reaktor. Pengaduk serta pendingin dijalankan, dan waktu reaksi dihitung pada saat ketiga bahan tercampur seluruhnya.



Keterangan :

- | | |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1. Labu leher tiga | 7. Powerstat |
| 2. Pengaduk mekanik | 8. Termostat |
| 3. Pendingin balik celup | 9. Pemanas |
| 4. Water – bath | 10. Pengaduk |
| 5. Pengambil cuplikan | 11. Labu pemanas aquades |
| 6. Erlenmeyer penampung Cuplikan | 12. Pemanas aquades |

Gambar 1. Rangkaian Alat Percobaan

Cuplikan diambil tiap 10 menit untuk dianalisa kadar trigliserida yang tidak bereaksi. Reaksi dilangsungkan dalam waktu 1 jam. Suhu reaksi divariasikan dari 323 – 363⁰ K untuk memperoleh nilai konstanta kecepatan reaksi sebagai fungsi suhu.

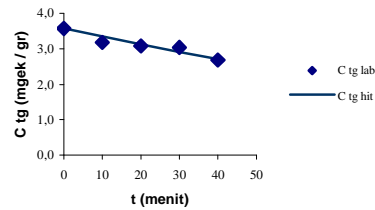
Cuplikan yang diperoleh, dimasukkan ke dalam oven untuk diuapkan airnya. Setelah didinginkan dalam desikator, sisa trigliserida dalam minyak yang tidak bereaksi dianalisa dengan metode volumetri. Kadar trigliserida dalam minyak menunjukkan jumlah gugus aktif sisa yang tidak bereaksi menjadi asam lemak.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Data perubahan konsentrasi trigliserida tiap selang waktu tertentu ditunjukkan pada tabel 1 – 4, setelah meniadakan beberapa data yang cenderung menyimpang (*outliers*).

Tabel 1. Perubahan konsentrasi trigliserida pada hidrolisa suhu 323⁰ K

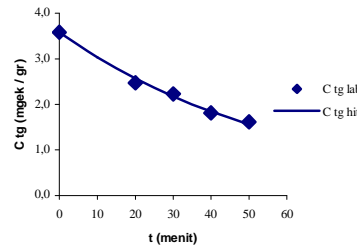
T (mnt)	As Imk total (mgek/g)	As Imk bebas (mgek/g)	Kadar trigliserida (mgek/g)
0	3,6018	0,0189	3,5829
10	3,1878	0,0109	3,1769
20	3,0970	0,0140	3,0830
30	3,0515	0,0153	3,0362
40	2,7097	0,0192	2,6905



Gambar 2. Hubungan kadar sisa trigliserida dengan waktu

Tabel 2. Perubahan konsentrasi trigliserida pada hidrolisa suhu 333⁰K

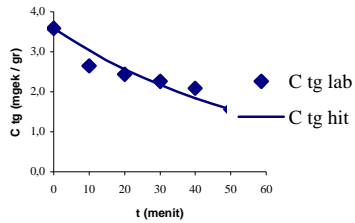
T (menit)	As Imk total (mgek/g)	As Imk bebas (mgek/g)	Kadar trigliserida (mgek/g)
0	3,6018	0,0189	3,5829
20	2,4753	0,0146	2,4753
30	2,2510	0,0245	2,2265
40	1,8428	0,0301	1,8127
50	1,6563	0,0376	1,6188



Gambar 3. Hubungan kadar sisa trigliserida dengan waktu pada suhu 333⁰K

Tabel 3. Perubahan konsentrasi trigliserida pada hidrolisa suhu 343⁰K

T (menit)	As Imk total (mgek/g)	As Imk bebas (mgek/g)	Kadar trigliserida (mgek/g)
0	3,6018	0,0189	3,5829
10	2,6562	0,0383	2,6524
20	2,4354	0,0323	2,4322
30	2,2629	0,0230	2,2607
40	2,0913	0,0241	2,0889
50	1,5647	0,0555	1,5529

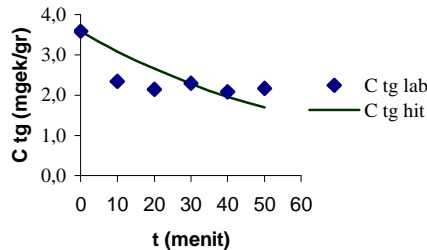


Gambar 4. Hubungan kadar sisa trigliserida dengan waktu pada suhu 343⁰K

Pada percobaan suhu 353⁰K dan 363⁰K, data-data yang diperoleh tidak menunjukkan kecenderungan konversi tertentu, seperti pada suhu lain yang lebih rendah, yang menunjukkan kecenderungan konversi naik dengan berjalannya waktu.

Tabel 4. Perubahan konsentrasi trigliserida pada hidrolisa suhu 353⁰K

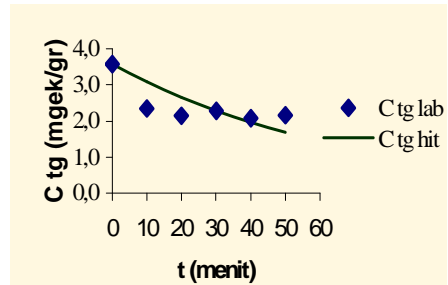
T (menit)	As lmk total (mgek/g)	As lmk bebas (mgek/g)	Kadar trigliserida (mgek/g)
0	3,6018	0,0189	3,5829
10	2,3635	0,0154	2,3481
20	2,1647	0,0187	2,1460
30	2,3115	0,0246	2,2869
40	2,1204	0,0403	2,0801
50	2,1780	0,0154	2,1626



Gambar 5. Hubungan kadar sisa trigliserida dengan waktu pada suhu 353⁰K

Tabel 5. Perubahan konsentrasi trigliserida pada hidrolisa suhu 363⁰K

T (menit)	As lmk total (mgek/g)	As lmk bebas (mgek/g)	Kadar trigliserida (mgek/g)
0	3,6018	0,0189	3,5829
10	2,2061	0,01124	2,1949
20	2,3374	0,01243	2,3249
30	2,3874	0,01482	2,3726
40	2,3236	0,01687	2,3068
60	2,2669	0,02627	2,2406



Gambar 6. Hubungan kadar sisa trigliserida dengan waktu pada suhu 363⁰K

Namun untuk perhitungan mencari nilai konstanta kecepatan reaksi (k_1), data-data tersebut masih memberikan ralat yang wajar (13,8 % untuk suhu 353⁰K dan 15,6% untuk suhu 363⁰K). Tidak adanya kecenderungan tertentu untuk konversi fungsi waktu pada suhu-suhu tersebut dimungkinkan karena terdegradasinya minyak pada suhu yang terlampaui tinggi. Menurut Sontag (1982), pada suhu di atas 60⁰C, ikatan rangkap pada atom C dari asam lemak dalam minyak ikan kemungkinan sudah terpolimerisasi atau mengalami dekomposisi.

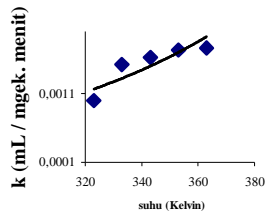
Dari model yang diajukan untuk menghitung nilai konstanta kecepatan reaksi hidrolisa minyak hati ikan kod (k_1), diperoleh data k_1 versus suhu seperti tercantum pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai k_1 tiap variasi suhu

T (K)	k_1 percob (10^{-3} mL /mgek.menit)	k_1 perhit (10^{-3} mL /mgek.menit)	Ralat (%)
323	0,99904	1,0018	0,28
333	1,5203	1,1887	21,79
343	1,6198	1,4104	12,93
353	1,7329	1,6734	3,38
363	1,7568	1,9382	9,69

Sesuai dengan persamaan Arrhenius : $k_1 = A \exp (-E / RT)$ kecenderungan hubungan antara k_1 dengan suhu adalah eksponensial, sehingga persamaan pendekatan yang digunakan adalah hubungan eksponensial. Persamaan pendekatan yang diperoleh dengan ralat rerata sebesar 9,7% adalah :

$$y = 2 \cdot 10^{-5} \exp (0,0126 T) \quad 22)$$



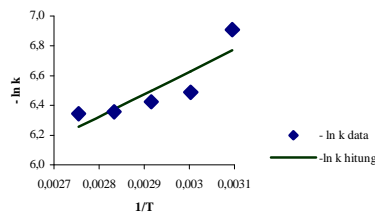
Gambar 7. Hubungan eksponensial k_1 dengan suhu

Untuk menghitung nilai koefisien pengadukan (A) dan energi aktivasi (E), maka persamaan 21) dapat diubah dalam bentuk linier seperti persamaan berikut :

$$-\ln k_1 = -\ln A + (E/R)(1/T) \quad 23)$$

Dengan membuat grafik $-\ln k_1$ versus $1/T$, maka nilai A dan E dapat dihitung dari koefisien arah dan intersep.

Dari persamaan tersebut diperoleh nilai faktor pengadukan (A) sebesar 0,1211 mL / mgek.menit dengan energi aktivasi (A) sebesar 2989,64 kal / gmol.K. Dari penelitian-penelitian terdahulu tentang hidrolisa minyak nabati, kisaran nilai k_1 yang berlaku untuk hidrolisa minyak nabati adalah $10^{-4} - 10^{-2}$ mL / mgek. menit, sehingga nilai k_1 yang diperoleh pada percobaan ini relatif sesuai dengan kecenderungan penelitian sebelumnya.



Gambar 8. Hubungan linier $-\ln k_1$ dengan $1/T$

Nilai faktor pengadukan (A) yang diperoleh relatif kecil (0,1211 mL / mgek.menit), kemungkinan disebabkan oleh kecepatan putaran pengaduk yang relatif lambat (350 rpm), sehingga turbulensi campuran reaktan tidak terlalu besar. Turbulensi campuran reaktan sangat penting untuk reaksi-reaksi heterogen.

Energi aktivasi yang dihasilkan relatif rendah dibandingkan hasil yang diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya tentang hidrolisa minyak nabati. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh konsentrasi katalis yang digunakan dalam penelitian ini cukup tinggi (0,1 % berat minyak). Katalis berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi, sehingga makin besar konsentrasi katalis, energi aktivasi yang diperlukan untuk berlangsungnya reaksi juga makin rendah.

Reaksi hidrolisa minyak hati ikan kod merupakan reaksi antara dua zat yang *immisible* (tidak saling larut), sehingga ada transfer massa antara dua zat tersebut yang harus diperhitungkan.

Tabel 7. Nilai Kca pada variasi suhu

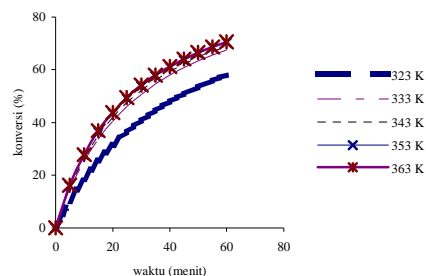
Suhu ($^{\circ}$ K)	Kca (cm/menit)
323	0,02156
333	1,2884
343	1,5414
353	1,7927
363	2,0447

Dari percobaan pada berbagai variasi suhu terlihat bahwa nilai Kca hanya mengalami sedikit peningkatan dengan pengaruh kenaikan suhu. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan suhu cenderung tidak berpengaruh terhadap nilai Kca.

Penentuan suhu optimum didasarkan pada laju reaksi, yang diartikan sebagai besarnya perubahan konversi reaktan setiap satuan waktu.

Tabel 8. Prediksi konversi pada variasi suhu

t (mnt)	Suhu reaksi				
	323 K	333 K	343 K	353 K	363 K
0	0	0	0	0	0
5	10,15	14,35	15,09	15,897	16,07
10	18,47	25,2	26,34	27,56	27,83
15	25,4	33,67	35,02	36,46	36,77
20	31,27	40,45	41,91	43,46	43,79
25	36,3	46,01	47,51	49,1	49,44
30	40,65	50,63	52,15	53,74	54,08
35	44,45	54,54	56,05	57,62	57,95
40	47,81	57,88	59,37	60,91	61,23
45	50,78	60,77	62,23	63,73	64,05
50	53,44	63,3	64,72	66,18	66,49
55	55,83	65,53	66,91	68,33	68,62
60	57,99	67,5	68,84	70,22	70,50



Gambar 9. Prediksi konversi pada variasi suhu

Kondisi optimum ditentukan dengan perubahan laju reaksi yang sebesar mungkin dalam waktu yang sesingkat mungkin. Jadi, bila dilihat dari prediksi konversi tiap variasi suhu, terlihat bahwa tiap kenaikan suhu memberikan laju reaksi yang makin besar.

Namun demikian, kenaikan suhu sebesar 10^0 K (yang dimulai dari suhu 333 K dst.) tidak memperlihatkan kenaikan laju reaksi yang cukup berarti. Peningkatan konversi yang diperoleh tidak signifikan bila dibandingkan dengan biaya operasi yang diperlukan untuk menaikkan suhu sebesar 10^0 K. Dengan demikian, dari kisaran suhu yang dipelajari (323 – 363 K), suhu operasi 333 K dianggap merupakan suhu optimal reaksi, karena masih memberikan kenaikan laju reaksi yang signifikan dibandingkan suhu 323 K.

Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa pada reaksi hidrolisa minyak hati ikan kod dengan konsentrasi katalis (HCl) 0,1 % berat minyak, dan perbandingan minyak : air sebesar 1 : 10 mgek/mgek, diperoleh nilai faktor pengadukan sebesar 0,1211 mL / mgek.menit dengan energi aktivasi (A) sebesar 2989,64 kal / gmol.K.

Persamaan hubungan antara konstanta kecepatan reaksi dengan suhu adalah : $-\ln k = 2,1112 + 1504,6 (1/T)$. Nilai koefisien transfer massa volumetris (Kca) tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu.

Kondisi suhu optimum reaksi dicapai pada 333 K pada kisaran variasi yang dipelajari (323 – 363 K).

Daftar Pustaka

- Borgstrom, 1961, "Fish as Food", Academic Press, New York.
- Carlson, S.E., 1995, "The Role of PUFA in an Infant Nutrition", INFORM, 6, pp 940-946.
- Griffin, R.C., 1927, "Technical Methods of Analysis", 2 ed., McGraw – Hill Book Company, Inc., New York.
- Groggins, P.H., 1958, "Unit Processes in Organic Synthesis", 5 ed., McGraw – Hill Book Company, New York.
- Haagsma, Van Gent, N.C.M., Luten, J.B., Dejong, R.N. and Van Dorn, E., 1982, "Preparation of an Omega-3 Fatty Acid Concentrate from Cod Liver Oil", JAOCS, 59, 117-118.
- Ketaren, S., 1986, "Minyak dan Lemak Pangan", UI Press, Jakarta.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1980, "Encyclopedia of Chemical Technology", vol. 9, 3 ed., John Wiley and Sons, New York.
- Sediawan, W. B. dan Prasetya, A., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia", hl. 11-15, 32-34, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Sofiyah, 1995, "Kinetika Reaksi Etanolisis Minyak Biji Kapuk dengan Katalisator NaOH dan Penambahan Bahan Organik", Tesis diajukan pada Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Solomons, G.T.W., 1990, "Fundamental of Organic Chemistry", 3 ed., pp 894-902, John Wiley and Sons, New York.
- Swern, D., 1982a, "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", vol.1, 4 ed., John Wiley and Sons, New York
- Swern, D., 1982b, "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", vol.2, 4 ed., John Wiley and Sons, New York.
- Westerterp, K.R., van Swaaij, W.P.M. and Beenackers, A.A.C.M., 1984, "Chemical Reactor Design and Operation", 1 ed., John Wiley & Sons Ltd., Manchester.