

**KINETIKA ADSORPSI ISOTERMAL  $\beta$ -KAROTEN  
DARI OLEIN SAWIT KASAR DENGAN MENGGUNAKAN BENTONIT**

**KINETICS OF ISOTHERMAL ADSORPTION OF  $\beta$ -CAROTENE FROM CRUDE PALM OLEIN  
USING BENTONITE**

Muslich, Prayoga Suryadarma dan R. Indri R. Hayuningtyas

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor  
Kampus IPB Darmaga, Bogor  
E-mail : muslichmas@yahoo.com

**ABSTRACT**

*The adsorption of  $\beta$ -carotene from crude palm olein by using bentonite was investigated. Another adsorbent, which is activated carbons was used as a reference. The adsorption process of  $\beta$ -carotene was done using a mixed reactor. The objectives of this research are to obtain the equilibrium condition and the value of kinetics parameters, which are adsorption rate constant ( $k$ ) and activation energy ( $E_a$ ) of isothermal adsorption of  $\beta$ -carotene from crude palm olein using bentonite and activated carbons. The achievement of equilibrium condition was influenced by adsorption process temperature. Higher adsorption temperature led to faster equilibrium time, but give the different influence for the value of  $\beta$ -carotene concentration in olein ( $\mu\text{g/ml}$ ) for each adsorbents. Bentonite showed a faster equilibrium time (minute) and lower  $\beta$ -carotene concentration in olein ( $\mu\text{g/ml}$ ) than activated carbons. For both adsorbents used, Freundlich isotherm model showed a good fit to the adsorption of  $\beta$ -carotene. The adsorption rate constant ( $k$ ) was ascend by the higher of adsorption temperature. The activation energy of adsorption ( $E_a$ ) was determined as bentonite  $74.28 \text{ kcal mol}^{-1}$  and activated carbons  $30.04 \text{ kcal mol}^{-1}$ . Value of activation energy ( $E_a$ ) indicates that adsorption process of  $\beta$ -carotene from crude palm olein by using activated carbon is more effective than that of bentonite.*

*Keywords : adsorption,  $\beta$ -carotene, crude palm olein, bentonite.*

**PENDAHULUAN**

Minyak sawit kasar merupakan salah satu sumber penghasil karotenoid terkaya untuk menghasilkan retinol (provitamin A). Minyak sawit kasar mengandung 15 sampai 300 kali lebih retinol dibandingkan dengan wortel, sayuran berdaun hijau dan tomat (Latip *et al.*, 2000). Karotenoid yang terkandung pada olein sawit kasar sebesar 680-760 ppm dan berwarna khas merah-kuning (Ong dan Tee, 1992 dalam Zeb dan Mehmood, 2004).

$\beta$ -karoten sangat potensial sebagai sumber provitamin. Berbagai metode pengambilan kembali komponen karotenoid dari minyak kelapa sawit telah dilakukan dengan cara saponifikasi, adsorpsi, ekstraksi pelarut dan transesterifikasi dengan pemisahan fase dan destilasi eter (Baharin *et al.*, 1998). Dalam penelitian ini, adsorpsi diterapkan dalam upaya pengambilan kembali komponen  $\beta$ -karoten yang terkandung dalam minyak sawit.

Bentonit atau biasa disebut lempung penucat telah digunakan secara luas sebagai adsorben. Bentonit digunakan dalam pemisahan 'komponen pengotor' dalam minyak dimana kemampuan adsorpsinya memiliki peranan sangat besar dalam industri minyak pangan. Arang aktif digunakan sebagai adsorben pembanding pada penelitian ini.

Karakteristik kemampuan penyerapan komponen  $\beta$ -karoten pada adsorben dapat dilihat dari laju adsorpsinya. Laju adsorpsi dapat diketahui dari konstanta laju adsorpsi ( $k$ ) yang dihasilkan dari suatu model kinetika adsorpsi. Model isotherm Freundlich dan Langmuir digunakan untuk

menentukan parameter kinetika pada suatu proses adsorpsi. Energi aktivasi ( $E_a$ ) merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui efektivitas dari adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi.

**METODE PENELITIAN**

**Bahan dan Metode**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah olein sawit kasar hasil fraksinasi dari minyak sawit kasar. Standar  $\beta$ -karoten (Sigma-Aldrich; 1.600.000 IU/gram), standar  $\alpha$ -tokoferol (Sigma-Aldrich), adsorben (bentonit, arang aktif dengan ukuran partikel lolos saringan 150 mesh), heksan, isopropanol, etanol dan BHT. Bahan yang digunakan untuk analisis antara lain alkohol netral 95%, kalium hidroksida beralkohol (KOH), dan indikator phenolftalein.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain reaktor berpengaduk, *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC), peralatan gelas, spektrofotometer dan refraktometer.

Penelitian ini terdiri dari lima tahap, yaitu (a) karakterisasi olein sawit kasar dan adsorben yang akan digunakan pada proses adsorpsi, (b) penentuan kondisi kesetimbangan adsorpsi, (c) penentuan nilai konstanta laju adsorpsi ( $k$ ), (d) Penentuan nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) dan (e) Penentuan kualitas adsorpsi.

Perbandingan antara adsorben dengan olein sawit kasar yang digunakan adalah 1:3. Campuran adsorben (300 g) dengan olein (900 mL) disiapkan di dalam suatu reaktor berpengaduk berkapasitas 2

liter. Proses adsorpsi dilakukan pada tiga kondisi suhu, yaitu 40 °C, 50 °C dan 60 °C. Kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 120 rpm. Contoh diambil dari reaktor pada selang waktu adsorpsi tertentu selama 171 menit. Selanjutnya contoh disaring dengan kertas saring dan menggunakan pompa vakum. Penyaringan dilakukan untuk memisahkan adsorben yang telah mengandung  $\beta$ -karoten dengan olein. Analisis terhadap olein sawit kasar meliputi kadar asam lemak bebas. Penentuan nilai absorbansi  $\beta$ -karoten dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer dan penentuan nilai konsentrasi  $\alpha$ -tokoferol menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC).

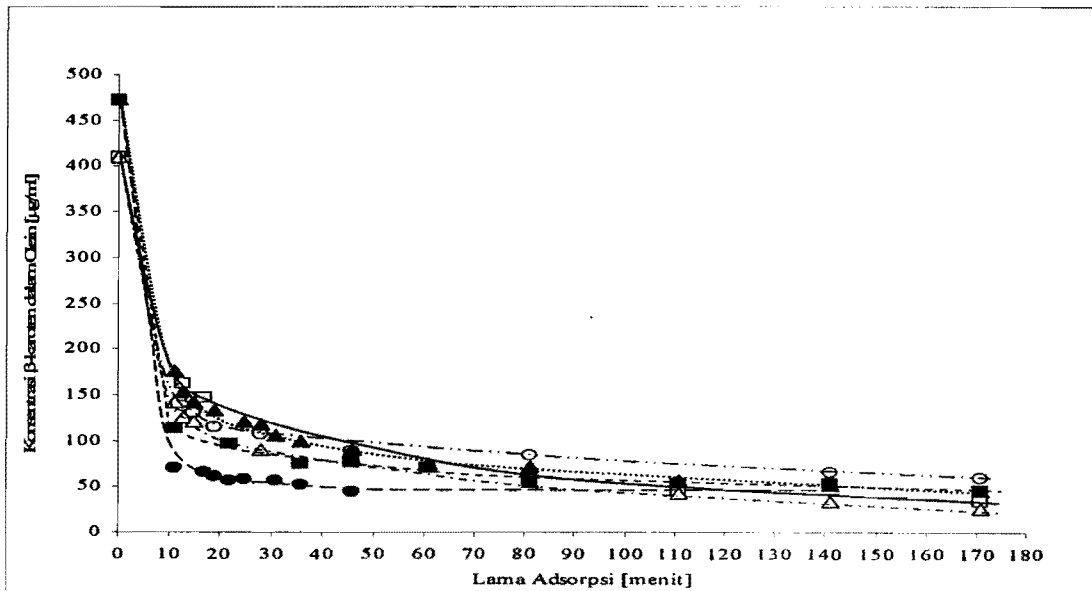
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Kesetimbangan

Nilai konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein yang semakin menurun menunjukkan semakin banyaknya komponen  $\beta$ -karoten dalam olein sawit kasar yang

terserap oleh adsorben. Konsentrasi awal  $\beta$ -karoten adalah dalam olein 475  $\mu\text{g/ml}$ . Hubungan antara penurunan konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein dengan lama adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 1.

Konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein semakin menurun seiring dengan lamanya proses adsorpsi. Penurunan tersebut dapat terlihat pada tiap kondisi suhu dan kedua jenis adsorben. Kondisi kesetimbangan tercapai apabila pada lama adsorpsi tertentu nilai konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein tidak mengalami penurunan lagi. Konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein yang menurun seiring dengan semakin lamanya waktu menyebabkan konsentrasi  $\beta$ -karoten yang diserap dalam adsorben meningkat sehingga adsorben mengalami kapasitas jenuh penyerapan. Selanjutnya dapat diketahui bahwa pada masing-masing suhu reaksi dan jenis adsorben diperoleh kondisi kesetimbangan yang berbeda. Nilai konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein pada kondisi kesetimbangan untuk masing-masing kondisi suhu dan jenis adsorben disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Hubungan antara penurunan konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein dengan lama adsorpsi (○, pada bentonit suhu 40 °C; ◻, pada bentonit suhu 50 °C; △, pada bentonit suhu 60 °C; ●, pada arang aktif suhu 40 °C; ■, pada arang aktif suhu 50 °C; ▲, pada arang aktif suhu 60 °C)

Tabel 1. Nilai konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein pada kondisi kesetimbangan untuk masing-masing suhu reaksi dan jenis adsorben

Perlakuan		Lama Tercapainya Kesetimbangan [menit]	Konsentrasi $\beta$ -karoten dalam Olein [ $\mu\text{g/ml}$ ]
Jenis Adsorben	Suhu [°C]		
Bentonit	40	20	68
	50	20	44
	60	18	32
Arang Aktif	40	22	45
	50	22	60
	60	19	85

Semakin tinggi suhu menyebabkan lama tercapainya kesetimbangan (menit) yang semakin cepat pada bentonit dan arang aktif. Seiring dengan meningkatnya suhu adsorpsi, konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein pada kondisi kesetimbangan semakin menurun pada penggunaan bentonit, sedangkan pada arang aktif nilai konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein justru semakin meningkat. Hal tersebut mengindikasikan bahwa suhu dan jenis adsorben mempengaruhi laju adsorpsi dan kondisi kesetimbangan proses adsorpsi tersebut.

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui perolehan lama tercapainya kesetimbangan pada bentonit lebih cepat dibandingkan dengan arang aktif pada kondisi suhu 40 °C. Namun, nilai konsentrasi  $\beta$ -

karoten dalam olein pada bentonit lebih tinggi dibandingkan dengan arang aktif. Adsorben yang terlalu kering menyebabkan daya kombinasi dengan air terikat pada struktur molekulnya hilang sehingga mengurangi daya penyerapan terhadap zat warna (Ketaren, 1986). Faktor lain yang dapat mempengaruhi adalah luas permukaan bentonit yang lebih kecil dibandingkan dengan arang aktif.

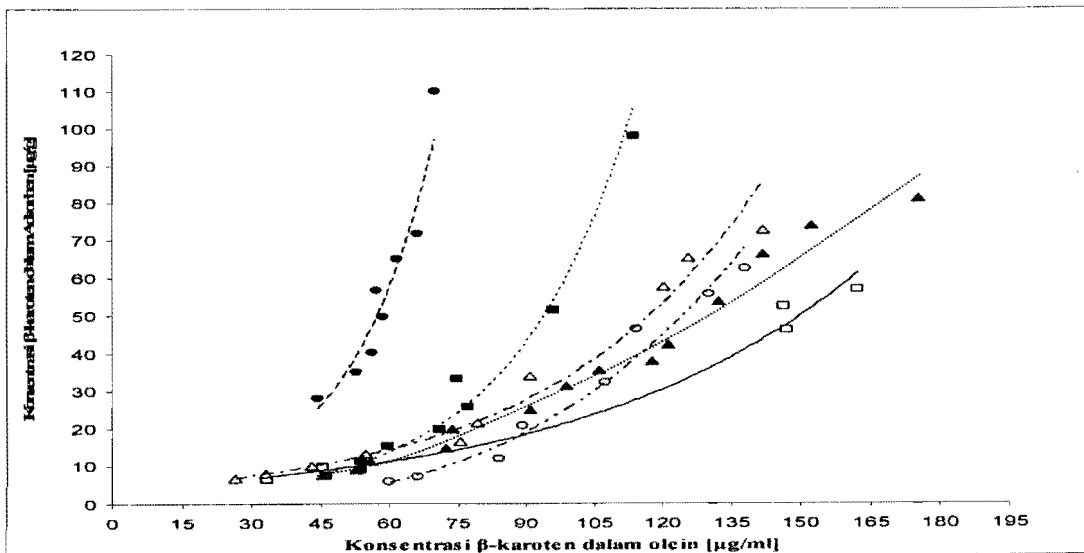
Daya adsorpsi yang besar pada arang aktif disebabkan arang mempunyai pori-pori dalam jumlah besar dan luas permukaan yang besar sehingga mampu menyerap molekul organik dari larutan atau gas lebih banyak dibandingkan dengan *bleaching earth*.

Lama tercapainya kesetimbangan pada arang aktif lebih lambat dibandingkan bentonit dan konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein pada arang aktif lebih tinggi dibandingkan dengan bentonit pada kondisi suhu 50 °C dan 60 °C. Peningkatan suhu akan mampu memperbesar pori-pori yang terdapat pada adsorben sehingga mampu meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Apabila dalam suatu larutan mengandung lebih dari satu macam zat yang dapat diadsorpsi, maka zat tersebut akan bersaing menempati permukaan atau pori-pori dari adsorben tersebut. Bentonit merupakan adsorben selektif yang menyerap komponen  $\beta$ -karoten dibandingkan dengan zat warna lain. Oleh karena itu, komponen yang teradsorpsi oleh bentonit pada kondisi suhu yang lebih tinggi merupakan  $\beta$ -karoten. Proses pemucatan gabungan antara perlakuan panas dengan arang aktif dapat menimbulkan senyawa-senyawa penghasil warna baru seperti hasil oksidasi tokoferol. Arang aktif tidak tergolong ke dalam adsorben selektif sehingga zat warna lain akan ikut teradsorpsi sehingga arang aktif lebih cepat jenuh oleh zat lain dan tidak menyerap komponen  $\beta$ -karoten. Menurut Djatmiko *et al.* (1985), apabila struktur molekul dari dua macam zat sama, maka yang berat molekulnya lebih besar akan lebih

banyak diserap oleh arang aktif. Tetapi, apabila struktur molekulnya tidak sama maka adsorpsinya lebih dipengaruhi oleh susunan molekul.

Struktur bentonit terdiri dari rantai silika ganda yang berikatan dengan oksigen yang merupakan gugus kurang polar. Ion aluminium yang berada di pusat berikatan dengan oksigen dan gugus hidroksil yang merupakan gugus polar (Grim, 1968). Gugus kurang polar yang terdapat dalam bentonit inilah yang berfungsi di dalam proses adsorpsi fisik pada pengikatan  $\beta$ -karoten. Menurut Chu *et al.* (2004) ikatan yang kurang polar merupakan ikatan antara silika dengan oksigen (Si-O-Si) yang disebut siloksan. Sebagian besar dari molekul  $\beta$ -karoten yang merupakan gugus nonpolar akan diadsorpsi oleh ikatan siloksan yang kurang polar. Jenis ikatan yang terjadi pada bentonit dan  $\beta$ -karoten adalah van der Waals, dimana ikatan yang terjadi tergolong lemah. Gaya van der Waals yang terjadi pada saat terjadi adsorpsi di permukaan silika timbul sebagai akibat interaksi dipol-dipol. Interaksi dipol-dipol ini menimbulkan gaya tarik menarik antara muatan yang berlainan tanda dan tolak menolak antara muatan yang sama. Molekul non polar saling ditarik oleh interaksi dipol-dipol yang lemah yang disebut gaya London.

Proses adsorpsi pada arang aktif mempunyai ikatan fisik yang kuat pada struktur porinya. Ikatan yang terjadi bisa digolongkan ke dalam ikatan London atau van der Waals. Penyerapan  $\beta$ -karoten dapat terjadi akibat interaksi dari permukaan arang aktif lebih kuat dibandingkan dengan interaksi yang menyebabkan  $\beta$ -karoten tetap terlarut pada olein. Hui (1996) menyatakan teori dari proses adsorpsi pada suhu yang rendah, seperti pemucatan (*bleaching*), lebih disebabkan oleh ikatan intermolekular daripada pembentukan ikatan kimia baru.



Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam adsorben dengan konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein ( $\circ$  - , pada bentonit suhu 40 °C;  $\square$  - , pada bentonit suhu 50 °C;  $\triangle$  - , pada bentonit suhu 60 °C;  $\bullet$  - , pada arang aktif suhu 40 °C;  $\blacksquare$  - , pada arang aktif suhu 50 °C;  $\blacktriangle$  - , pada arang aktif suhu 60 °C)

Grafik hubungan antara penurunan konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein dengan lama adsorpsi merupakan data percobaan yang digunakan untuk menentukan konsentrasi penyerapan  $\beta$ -karoten dalam fase padat (adsorben). Hubungan antara konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein dan konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam adsorben dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein yang menurun seiring dengan lama adsorpsi menyebabkan konsentrasi penyerapan  $\beta$ -karoten dalam adsorben meningkat. Penyerapan terhadap komponen  $\beta$ -karoten ke dalam adsorben semakin lama menyebabkan adsorben tersebut tidak mampu untuk menyerap lagi. Kondisi tersebut merupakan kondisi setimbang dimana adsorben mengalami kapasitas jenuh penyerapan. Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui kuantitas adsorpsi yang lebih besar terjadi pada suhu yang lebih tinggi pada penggunaan bentonit. Hal yang berlawanan terjadi pada arang aktif dimana kuantitas adsorpsi yang besar terjadi pada suhu yang rendah.

Gambar 2 menunjukkan isoterm adsorpsi yang berbentuk cekung ke atas atau disebut kurva *unfavorable* pada kedua jenis adsorben. Bentuk isoterm adsorpsi berhubungan dengan nilai efisiensi dari adsorpsi. Jenis kurva *unfavorable* mempunyai nilai indeks efisiensi adsorpsi ( $n$ ) yang lebih dari satu. Hubungan antara konsentrasi pada fase fluida dan konsentrasi di dalam adsorben yang *unfavorable* menunjukkan bahwa pemuatan zat padatnya relatif rendah. Oleh karena itu, zona perpindahan massa di dalam hamparan cukup panjang sehingga proses desorpsinya akan memerlukan suhu yang lebih rendah.

### Kinetika Adsorpsi

Peramalan laju reaksi kimia didasarkan pada persamaan matematika, yaitu model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

#### Konstanta Laju Adsorpsi

Hubungan penurunan konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein dengan konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam adsorben merupakan data percobaan yang digunakan untuk penentuan laju adsorpsi  $\beta$ -karoten olein sawit kasar. Data percobaan tersebut kemudian dihubungkan secara linear pada model isoterm

adsorpsi, yaitu Langmuir dan Freundlich sehingga didapatkan konstanta laju adsorpsi ( $k$ ). Model isoterm Langmuir dan Freundlich merupakan persamaan yang lazim digunakan untuk menggambar data adsorpsi dari suatu larutan. Kemungkinan orde reaksi dari kedua model tersebut adalah semi orde pertama. Tidak semua data percobaan dapat sesuai dengan penggunaan model isoterm adsorpsi Langmuir ataupun Freundlich karena masing-masing model memiliki asumsi tersendiri.

Regresi merupakan persamaan matematik yang menduga hubungan antara satu peubah bebas (dalam hal ini konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein yang kemudian disebut  $c$ ) dengan satu peubah tak bebas (dalam hal ini konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam adsorben yang kemudian disebut  $q$ ). Regresi hubungan antara  $q$  dengan  $c$  ditransformasikan mengikuti bentuk persamaan garis lurus (linear). Sementara itu, ukuran untuk melihat tingkat kesesuaian dengan data percobaan ditentukan berdasarkan koefisien determinasi ( $r^2$ ) terbesar. Nilai parameter adsorpsi isotermal menggunakan model Langmuir dan Freundlich untuk masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 2.

Penentuan penggunaan model isoterm adsorpsi yang sesuai untuk kedua jenis adsorben dapat diketahui dengan melihat koefisien determinasi ( $r^2$ ) terbesar, namun data penelitian tidak memiliki kesesuaian dengan model Langmuir. Hal tersebut dapat terlihat pada Tabel 2 dimana nilai konstanta laju adsorpsi ( $k$ ) dan  $q_{maks}$  bernilai negatif untuk kedua jenis adsorben dan pada tiga kondisi suhu. Data percobaan memiliki tingkat kesesuaian terbaik dengan model isoterm Freundlich. Model isoterm Freundlich menunjukkan lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben adalah *multilayer*. Hal tersebut berkaitan dengan ciri-ciri dari adsorpsi secara fisika dimana adsorpsi dapat terjadi pada banyak lapisan (*multilayer*) ([en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)).

Model isoterm Freundlich juga menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Grafik regresi antara konsentrasi penyerapan  $\beta$ -karoten dalam adsorben ( $\log q$ ) dengan konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein ( $\log c$ ) untuk persamaan isoterm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

Tabel 2. Parameter kinetika adsorpsi isotermal  $\beta$ -karoten dari olein sawit kasar dengan menggunakan bentonit dan arang aktif

Perlakuan		Model Isoterm Adsorpsi					
		Langmuir			Freundlich		
Jenis Adsorben	Suhu [°C]	$q_{maks}$	$k$	$r^2$	$n$	$k_f$	$r^2$
Bentonit	40	-8,62	-141,97	0,9656	2,98	$2,81 \times 10^{-5}$	0,9778
	50	-55,56	-311,77	0,9982	1,37	$5,33 \times 10^{-2}$	0,9979
	60	-70,92	-332,12	0,9708	1,49	$3,36 \times 10^{-2}$	0,9422
Arang Aktif	40	-26,81	-89,12	0,9398	2,97	$3,04 \times 10^{-4}$	0,9131
	50	-11,52	-113,25	0,9391	2,84	$1,29 \times 10^{-4}$	0,974
	60	-25,58	-192,91	0,9771	1,85	$6,16 \times 10^{-3}$	0,9899

Nilai kemiringan persamaan laju reaksi adsorpsi merupakan konstanta laju adsorpsi ( $k_f$ ) dan intersepnya ( $n$ ) menunjukkan indeks efisiensi adsorpsi. Penentuan nilai konstanta laju adsorpsi dilakukan pada kondisi tiga suhu reaksi, yaitu 40 °C, 50 °C dan 60 °C. Nilai konstanta laju adsorpsi dan indeks efisiensi adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konstanta laju adsorpsi dan indeks efisiensi adsorpsi  $\beta$ -karoten dari olein sawit kasar dengan menggunakan bentonit dan arang aktif

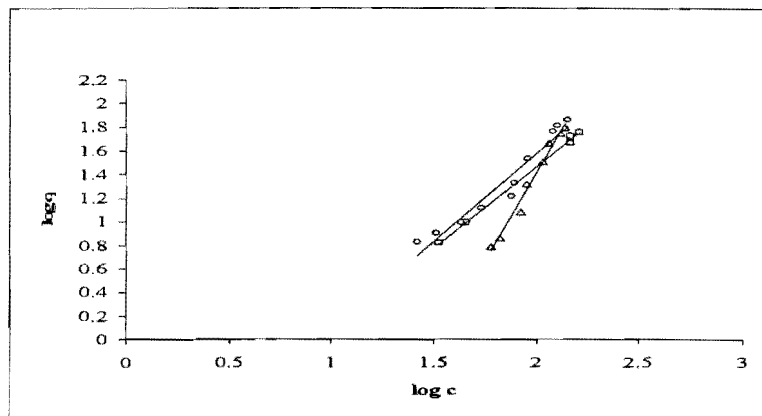
Perlakuan		n	Konstanta Laju Adsorpsi [ml (g) <sup>-1</sup> ]
Jenis Adsorben	Suhu [°C]		
Bentonit	40	2,98	$2,81 \times 10^{-5}$
	50	1,37	$5,33 \times 10^{-2}$
	60	1,49	$3,36 \times 10^{-2}$
Arang Aktif	40	2,97	$3,04 \times 10^{-4}$
	50	2,84	$1,29 \times 10^{-4}$
	60	1,85	$6,16 \times 10^{-3}$

Data pada Tabel 3 menunjukkan nilai n yang lebih dari satu pada masing-masing suhu dan jenis adsorben. Hal tersebut mengindikasikan indeks

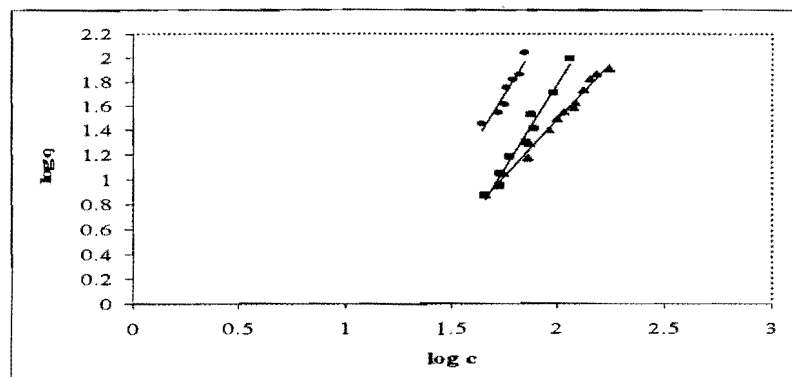
efisiensi adsorpsi yang di luar batas kecenderungan atau *unfavorable* dan berkaitan dengan bentuk dari isoterm adsorpsi. Konstanta n pada model isoterm Freundlich menunjukkan indeks efisiensi adsorpsi atau kebutuhan energi yang diperlukan dalam melakukan proses pemucatan.

Nilai indeks efisiensi adsorpsi pada masing-masing adsorben menunjukkan penurunan seiring dengan meningkatnya suhu proses. Penurunan nilai indeks efisiensi adsorpsi tersebut dapat mengindikasikan efisiensi energi dalam proses adsorpsi  $\beta$ -karoten dari olein sawit kasar dicapai dengan penggunaan suhu yang lebih tinggi.

Apabila nilai konstanta n tinggi, adsorben bekerja secara efektif di dalam proses pemucatan dari olein namun kurang efisien sebagai bahan penyerap pada konsentrasi warna yang tinggi. Indeks efisiensi mempunyai nilai pada kisaran 0,1-1. Nilai indeks n yang lebih kecil dari satu berkaitan dengan kurva isoterm adsorpsi yang berbentuk linear. Hal tersebut mengindikasikan pemuatan zat padat yang relatif tinggi dengan konsentrasi fluida yang rendah.



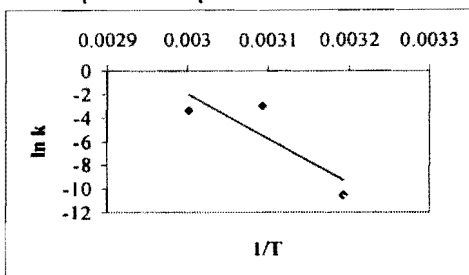
Gambar 3. Regresi linear hubungan log q dan log c adsorpsi  $\beta$ -karoten dari olein sawit kasar pada bentonit (○, pada suhu 40 °C,  $\log q = 2,9823 \log c - 4,5516$ ,  $r^2 = 0,9778$ ; □, pada suhu 50 °C,  $\log q = 1,3692 \log c - 1,2729$ ,  $r^2 = 0,9979$ ; Δ, pada suhu 60 °C,  $\log q = 1,4901 \log c - 14021$ ,  $r^2 = 0,9422$ )



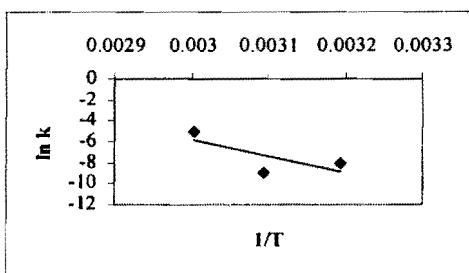
Gambar 4. Regresi linear hubungan log q dan log c adsorpsi  $\beta$ -karoten dari olein sawit kasar pada arang aktif (●, pada suhu 40 °C,  $\log q = 2,9743 \log c - 3,5169$ ,  $r^2 = 0,9131$ ; ■, pada suhu 50 °C,  $\log q = 2,8403 \log c - 3,8906$ ,  $r^2 = 0,974$ ; ▲, pada suhu 60 °C,  $\log q = 1,8514 \log c - 2,2102$ ,  $r^2 = 0,9899$ )

**Energi Aktivasi**

Penentuan nilai konstanta laju reaksi pada dua jenis adsorben dan tiga kondisi suhu yang berbeda kemudian digunakan untuk mendapatkan energi aktivasi ( $E_a$ ) reaksi adsorpsi  $\beta$ -karoten. Untuk mendapatkan energi aktivasi dari nilai konstanta laju adsorpsi digunakan persamaan Arrhenius. Kurva regresi linear hubungan antara suhu reaksi ( $T$ ) dengan konstanta laju adsorpsi ( $k$ ) pada dua jenis adsorben dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Regresi linier hubungan antara suhu ( $1/T$ ) dengan  $\ln k$  pada bentonit ( $r^2 = 0,7174$ , kemiringan = 37383)



Gambar 6. Regresi linier hubungan antara suhu ( $1/T$ ) dengan  $\ln k$  pada arang aktif ( $r^2 = 0,5305$ , kemiringan = 15421)

Energi aktivasi didapatkan dengan cara mengalikan nilai kemiringan dengan konstanta gas ( $R$ ). Nilai konstanta energi aktivasi pada kedua jenis adsorben dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Energi aktivasi adsorpsi  $\beta$ -karoten dari olein sawit kasar dengan menggunakan bentonit dan arang aktif

Jenis Adsorben	Energi Aktivasi [kcal/mol]
Bentonit	74,28
Arang Aktif	30,04

Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa arang aktif memiliki nilai energi aktivasi yang lebih rendah dibandingkan dengan bentonit. Penggunaan arang aktif lebih mampu mengarahkan proses adsorpsi  $\beta$ -karoten dari olein sawit kasar menuju jalan reaksi dengan energi aktivasi yang lebih rendah.

**Selektivitas Adsorpsi**

Parameter yang dapat menunjukkan kualitas minyak atau lemak diantaranya kadar asam lemak bebas dan indeks bias. Jumlah  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -

tokoferol yang mampu diadsorpsi serta nilai kadar asam lemak bebas dan indeks bias oleh bentonit dan arang aktif pada suhu  $50^\circ\text{C}$  selama 171 menit dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Persentase  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol serta nilai kadar asam lemak bebas dan indeks bias dengan menggunakan bentonit dan arang aktif pada kondisi adsorpsi yang sama

Jenis Adsorben	Parameter Adsorpsi ( $50^\circ\text{C}$ , 171 menit)			
	Jumlah Teradsorpsi [ $\mu\text{g/ml}$ ]		Asam Lemak Bebas (%)	Indeks Bias
	$\beta$ -karoten	$\alpha$ -tokoferol		
Bentonit	375,50	1397,451	4,59	1,4606
Arang Aktif	426,791	763,180	2,83	1,4616

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa jumlah  $\beta$ -karoten yang teradsorpsi pada bentonit lebih rendah dibandingkan dengan arang aktif. Namun, penyerapan komponen  $\alpha$ -tokoferol pada bentonit lebih besar dibandingkan arang aktif. Hal tersebut disebabkan bentonit merupakan adsorben polar dan lebih mampu menyerap komponen yang juga bergugus polar seperti  $\alpha$ -tokoferol. Arang aktif lebih banyak menyerap komponen  $\beta$ -karoten dibandingkan bentonit karena arang aktif merupakan adsorben nonpolar sehingga mampu menyerap komponen dengan kepolaran yang sama. Namun, dalam kondisi proses yang sama dapat dilihat arang aktif banyak menyerap komponen  $\alpha$ -tokoferol dibandingkan  $\beta$ -karoten. Adsorpsi pada arang aktif dipengaruhi oleh susunan molekul bahan yang diserap. Alfa tokoferol mempunyai susunan molekul yang asimetris dan mempunyai rantai samping isopren jenuh yang panjang. Selain itu, komponen tokoferol cukup tahan terhadap panas dan jumlahnya dalam minyak kelapa sawit lebih banyak dibandingkan  $\beta$ -karoten.

Nilai kadar asam lemak bebas yang diperoleh pada suhu  $50^\circ\text{C}$  mengalami penurunan dibandingkan dengan nilainya sebelum adsorpsi. Selama proses adsorpsi, asam lemak bebas dapat terbentuk dari reaksi hidrolisis dan oksidasi yang melibatkan suhu tinggi. Adsorben mengalami peningkatan kemampuan penyerapan pada suhu yang lebih tinggi sehingga mampu menyerap komponen asam lemak bebas yang dihasilkan selama proses adsorpsi.

Berdasarkan Tabel 5 terlihat penurunan nilai indeks bias dibandingkan dengan sebelum adsorpsi. Penurunan nilai indeks bias dapat disebabkan terserapnya komponen-komponen yang mempunyai ikatan rangkap dalam olein pada adsorben sehingga menurunkan bobot molekul.

**Kemampuan Melepaskan  $\beta$ -karoten dari Adsorben**

Kurva isoterm adsorpsi yang tak cenderung

mengindikasikan proses desorpsinya tidak memerlukan suhu yang tinggi. Oleh karena itu, proses desorpsi dilakukan pada suhu 40 °C dengan lama desorpsi 10 menit. Nilai parameter desorpsi kedua jenis adsorben dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai parameter desorpsi  $\beta$ -karoten dengan menggunakan bentonit dan arang aktif

Jenis Adsorben	Parameter Desorpsi (40°C, 10 menit)	
	Jenis Pelarut	Perolehan (recovery) $\beta$ -karoten [%]
Bentonit	Heksan	0,1
	Isopropanol	3,7
	Etanol	16,6
Arang Aktif	Heksan	0,4
	Isopropanol	0,6
	Etanol	2,7

Senyawa non polar seperti  $\beta$ -karoten lebih mudah terelusi dengan pelarut non polar seperti heksan. Namun berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa  $\beta$ -karoten dalam bentonit dapat lebih mudah didesorpsi oleh pelarut semipolar seperti isopropanol ataupun etanol. Hal tersebut dapat disebabkan pelarut isopropanol dan etanol memiliki kepolaran yang sama dengan bentonit yang termasuk ke dalam penyerap polar. Struktur karotenoid yang bersifat lebih nonpolar diduga paling tidak tertahan pada permukaan adsorben dibandingkan komponen minyak sehingga dapat terelusi lebih awal.

Persentase perolehan  $\beta$ -karoten pada arang aktif dengan menggunakan pelarut heksan lebih besar dibandingkan dengan bentonit. Hal tersebut menunjukkan bahwa pelarut nonpolar seperti heksan baik digunakan untuk proses desorpsi pada arang aktif yang termasuk ke dalam penyerap nonpolar. Namun, hasil persentase desorpsi dari seluruh pelarut menunjukkan bahwa bentonit dapat lebih mudah didesorpsi dibandingkan dengan arang aktif.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Semakin tinggi suhu proses adsorpsi memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kondisi kesetimbangan pada kedua jenis adsorben. Nilai konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein pada kondisi kesetimbangan untuk bentonit pada masing-masing suhu 40, 50 dan 60 °C adalah 68, 40 dan 32  $\mu\text{g/ml}$  dan lama tercapainya kesetimbangan adalah 20 menit, 20 menit dan 18 menit; sedangkan nilai konsentrasi  $\beta$ -karoten dalam olein pada kondisi kesetimbangan untuk arang aktif pada masing-masing suhu 40, 50 dan 60 °C adalah 45, 60 dan 85  $\mu\text{g/ml}$  dan lama tercapainya kesetimbangan adalah 22 menit, 22 menit dan 19 menit.

Model isoterm adsorpsi yang memiliki

tingkat kesesuaian terbaik dengan data percobaan adalah model persamaan Freundlich. Semakin meningkatnya suhu adsorpsi menyebabkan laju adsorpsi yang cenderung meningkat. Nilai konstanta laju adsorpsi pada bentonit untuk masing-masing suhu 40, 50 dan 60 °C adalah  $2,81 \times 10^{-5} \text{ ml (g)}^{-1}$ ;  $5,33 \times 10^{-2} \text{ ml (g)}^{-1}$  dan  $3,36 \times 10^{-2} \text{ ml (g)}^{-1}$ , sedangkan untuk arang aktif pada masing-masing suhu 40, 50 dan 60 °C adalah  $3,04 \times 10^{-4} \text{ ml (g)}^{-1}$ ;  $1,29 \times 10^{-4} \text{ ml (g)}^{-1}$  dan  $6,16 \times 10^{-3} \text{ ml (g)}^{-1}$ . Nilai energi aktivasi pada kondisi tersebut adalah 74,28 kcal/mol untuk bentonit dan 30,04 kcal/mol untuk arang aktif.

### Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai optimasi proses desorpsi untuk melepaskan komponen  $\beta$ -karoten dari bentonit maupun arang aktif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2007. Physisorption. <http://en.wikipedia.org>. Diakses 13 Januari 2007.
- Baharin B.S., K. Abdul. Rahman, M.I. Abdul Karim, T. Oyaizu, K. Tanaka dan S. Takagi. 1998. Separation of palm carotene from crude palm oil by adsorption chromatography with a synthetic polymer adsorben. *J. Am. Oil Chem. Soc* 75:399-404.
- Bernasconi G., H. Gerster, H. Hauser, H. Stauble, E. Schneiter. 1995. Teknologi Kimia Bagian 2. Terjemahan Lienda Handojo. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Chu B.S., B.S. Baharin, Y.B. Che Man, dan S. Y. Quek. 2004. Separation of vitamin E from palm fatty acid distillate using silica. III. batch desorption study. *J. of Food Engineering* 64:1-7.
- Grim R.E. 1968. Clay Minerology. McGraw-Hill Inc. Amerikat Serikat.
- Hui Y.H. 1996. Bailey's Industrial Oil and Fat Products 5<sup>th</sup> Edition Volume 4 Edible Oil and Fat Product: Processing Technology. John Wiley & Sons. Amerika Serikat.
- Ketaren S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. UI Press. Jakarta.
- Latip R.A., B. S. Baharin, Y.B. Che Man dan R. A. Rahman. 2001. Effect of adsorption and solvent extraction process on the percentage of carotene extracted from crude palm oil. *J. Am.Oil Chem. Soc* 78(1): 83-87.
- McCabe W.L., J.C. Smith, P. Harriot. 1989. Operasi Teknik Kimia Jilid 2. Terjemahan E. Jasjfi. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Ribeiro M.H.L., P.A.S Lourenco, J.P Monteiro, S. Ferreira-Dias. 2001. Kinetics of Selective Adsorption of Impurities from a Crude Vegetable Oil in Hexane to Activated Earths and Carbons. *J. Eur Food Res Technol* 213:132-138.

Theng B.K.G. 1979. *Formation and Properties of Clay-Polymer Complexes*. Elsevier Scientific Publishing Company. New York.

van Gelder J.W. 2004. *Greasy Palms: European Buyers of Indonesian Palm Oil*. Friends of Earth Ltd. London.

Zeb A. dan S. Mehmood. 2004. Carotenoids contents from various sources and their potential health applications. *Pakistan J. of Nutrition* 3(3): 199-204.