

## OPTIMASI KOEFISIEN TRANSFER MASSA PADA EKSTRAKSI MINYAK BIJI KETAPANG

Ani Purwanti<sup>1</sup>, Sumarni<sup>2</sup>, dan Sugiyanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Kimia, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 28 Nopember 2009, revisi masuk : 8 Januari 2010, diterima: 25 Januari 2010

### ABSTRACT

*Mass transfer between solid and liquid is commonly found in extraction process. Oil extraction from catappa seeds was carried out in the stirred flask using normal hexane as a solvent. The aim of this research is to show a dimensionless equation of a Sherwood number  $\{k_L a \cdot dp^2 / Dv\}$  as a function both of Reynolds number  $\{N \cdot dp^2 \rho / \mu\}$  and Schimdt number  $\{\mu / \rho \cdot Dv\}$ . The experiment was conducted in the room temperature, around 29°C, stirring speed 500 rpm, blade diameter 2 cm, and the ratio between the mass of catappa seeds and the volume of solvent was 20 gr/100mL–20 gr/200 mL. The calculation error was 0.072%. Based on the research, it is found that  $Sh = 0,2166 \cdot 10^6 \cdot Re^{-1,506} \cdot Sc^{1,120}$ .*

**Keywords:** mass transfer coefficient, extraction, normal hexane, catappa seeds.

### INTISARI

Perpindahan massa antara padatan dan cairan dapat dijumpai dalam peristiwa ekstraksi. Proses ekstraksi minyak dari biji ketapang dilakukan dalam labu leher tiga yang berpengaduk. Biji ketapang (kadar air 8,71% dan kadar minyak 43,39%) dengan ukuran butir dan jumlah tertentu dimasukkan ke dalam labu leher tiga, diekstraksi menggunakan pelarut normal heksana. Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari pengaruh perbandingan berat bahan dengan jumlah pelarut terhadap koefisien *transfer massa* dalam bentuk persamaan kelompok tak berdimensi, yang dinyatakan dalam bilangan Sherwood  $\{k_L a \cdot dp^2 / Dv\}$  sebagai fungsi bilangan Reynolds  $\{N \cdot dp^2 \rho / \mu\}$  dan bilangan Schimdt  $\{\mu / \rho \cdot Dv\}$ . Pada ekstraksi biji ketapang dengan pelarut normal heksana pada kondisi suhu 29°C, ukuran butiran lolos 40 mesh dan tertahan 50 mesh, kecepatan pengadukan 500rpm, diameter pengaduk 2 cm, dan perbandingan berat bahan dengan volume pelarut sebesar 20gr/100mL sampai dengan 20gr/200mL, dengan ralat sebesar 0,072% diperoleh hubungan antara koefisien *transfer massa* dengan variabel yang berpengaruh dapat dinyatakan dalam persamaan  $Sh=0,2166 \cdot 10^6 \cdot Re^{-1,506} \cdot Sc^{1,120}$ .

**Kata kunci:** koefisien transfer massa, ekstraksi, normal heksana, biji ketapang.

### PENDAHULUAN

Ketapang mempunyai nama latin *Terminalia catappa*, tergolong dalam famili *combretaceae*, merupakan sebuah pohon yang tingginya dapat mencapai sekitar 40m. Pohon ketapang mempunyai batang tunggal dan pada ketinggian tertentu membentuk cabang secara horizontal. Pohon ketapang mempunyai daun tunggal, sebagian besar daun tersebut terkumpul di ujung ranting. Bentuk daunnya besar berbentuk bundar agak lonjong (*oval*) dan dengan pangkal yang

membulat bentuk jantung, panjang daun kira-kira 15-31cm, tumbuh rimbun melingkar pada cabang-cabang di seluruh pohon, dan dapat menghasilkan buah atau sering disebut biji ketapang. Warna daun ketapang berwarna hijau, bila musim kemarau berubah warna menjadi merah keemasan.

Bentuk dari buah ketapang seperti buah almond, besar buahnya kira-kira 4-5,5cm. Buah ketapang berwarna hijau tetapi ketika telah cukup waktu (tua) warnanya menjadi merah kecoklatan.

Kulit terluar dari biji ketapang terasa licin dan ditutupi oleh serat yang mengelilingi biji tersebut. Biji ketapang mempunyai kulit yang keras dan inti biji ketapang ini mengandung minyak, lemak kental tidak berwarna (Sastroamidjoyo 1962).

Menurut Matos et.al.(2009), komposisi kimia dan kandungan nutrisi dari biji ketapang (*terminalia catappa*) antara lain 4,13% air, 23,78% protein, 4,27% abu, 4,94% serat kasar, 51,80% lemak dan 16,02% karbohidrat. Biji ketapang merupakan sumber beberapa mineral antara lain potassium sebanyak (9280mg/100gr), calcium (827,2 mg/100gr) magnesium sebesar (798,6mg/100gr), sodium (27,89mg/ 100gr). Sifat fisis dari minyak biji ketapang pada suhu ruangan berupa cairan, sebagian besar mengandung asam lemak tak jenuh terutama pada asam oleat (sampai dengan 31,48%) dan asam linoleat tersebut (sampai dengan 28,93%). Minyak biji ketapang dapat diklasifikasikan dalam kelompok asam oleat-linoleat. Asam jenuh yang dominan antara lain asam palmitat (sampai 35,96% dan stearat ini (sampai dengan 4,13%). Minyak dari biji ketapang yang terekstrak dapat digunakan sebagai *edible oil* dan untuk aplikasi industri.

Pada umumnya minyak yang berasal dari biji-bijian disebut minyak nabati dan biasanya mengandung asam palmitat dan stearat sebagai sumber asam lemak jenuh maupun asam oleat dan linoleat yang merupakan sumber lemak tak jenuh. Sejalan dengan program pemerintah untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, perlu dikaji secara terus menerus untuk mengembangkan energi alternatif terbarukan berbahan baku minyak nabati misalnya biodiesel. Menurut Reksowardjojo (2006), data Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat dari (LPPM) Institut Teknologi Bandung (ITB) menunjukkan konsumsi solar di Indonesia pada tahun 1995 mencapai 15,84 miliar liter dan diperkirakan pada tahun 2010 Indonesia memerlukan 34,71 miliar liter solar.

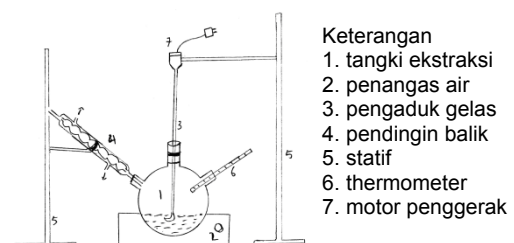
Penggunaan biodiesel sebagai sumber energi alternatif semakin menuntut untuk dikembangkan, mengingat biodiesel dengan bahan baku minyak nabati

merupakan solusi menghadapi kelangkaan energi fosil pada masa mendatang. Biodiesel juga bersifat ramah lingkungan, dan dapat diperbaharui (*renewable*), serta mampu mengeliminasi emisi gas buang. Mengingat kandungan dalam minyak ini terdapat di dalam inti biji ketapang cukup besar dan manfaatnya yang sangat potensial sebagai bahan baku untuk biodiesel tersebut, dipandang perlu dilakukan proses pengambilan minyaknya yang terdapat pada biji ketapang dengan cara ekstraksi dengan menggunakan suatu pelarut normal heksana.

Ekstraksi padat-cair dapat dilakukan secara kontinu (alir) dengan menggunakan kolom yang diisi dengan bahan isian (*fixed bed*) atau dilakukan secara *batch* dengan menggunakan labu leher tiga. Biji-bijian yang mengandung komponen tertentu (minyak) terlebih dahulu dikeringkan dan dihaluskan, selanjutnya diekstraksi menggunakan pelarut yang dapat melarutkan komponen tersebut diatas (Brown, 1978).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbandingan berat bahan dan volume pelarut terhadap koefisien transfer massa pada ekstraksi minyak dari biji ketapang dengan menggunakan pelarut normal heksana, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan kelompok tidak berdimensi.

Rangkaian alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Biji ketapang sebagai bahan baku, mula-mula dikupas kulitnya, selanjutnya dipotong kecil-kecil dengan ukuran 5mm sampai 30mm dan dikeringkan.



Gambar 1. Rangkaian alat ekstraksi

Setelah kering, bahan dihaluskan dan diayak sehingga diperoleh ukuran butir tertentu (lolos ayakan 40 mesh dan tertahan ayakan 50 mesh), selanjut-

nya dilakukan analisis kadar air dan kadar minyak.

Butiran biji ketapang yang telah dihaluskan dengan ukuran tertentu ditimbang dengan teliti sebanyak 20gr dan dimasukkan ke dalam labu leher tiga, selanjutnya ditambah pelarut normal heksana dengan volume tertentu. Air pendingin dialirkan dan dilakukan pengadukan dengan kecepatan yang tetap. Proses ekstraksi dilakukan dengan waktu divariasikan selama 30, 45, 60, 90, dan 120menit. Pada setiap proses dengan waktu reaksi tertentu dilakukan berulang-ulang dengan menggunakan perbandingan berat bahan dengan volume pelarut yang divariasikan. Hasil yang diperoleh pada setiap proses ekstraksi didiamkan beberapa saat, setelah dingin larutan yang didapat disaring lalu ditentukan densitas minyak dalam larutan dengan menggunakan piknometer atau diukur absorbansinya dengan alat spektrofotometer.

Analisis terhadap hasil dilakukan sesudah percobaan. Larutan minyak setelah dipisahkan dari padatannya ditentukan densitasnya dengan menggunakan piknometer. Disamping itu juga dilakukan pembuatan grafik standar yang menyatakan hubungan antara konsentrasi minyak dan densitas larutan. Pembuatan larutan dilakukan untuk beberapa dari sampel dengan memvariasikan berat dari sampel yang dilarutkan dalam minyak. Selanjutnya masing-masing sampel ditentukan densitasnya. Konsentrasi larutan minyak pelarut ditentukan berdasarkan persamaan :

$$C_A = G_A / \{ (G_A/\rho_A) + (G_B/\rho_B) \} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

$C_A$  = konsentrasi minyak dalam larutan, gr/mL

$G_A$  = berat minyak, gr.

$\rho_A$  = densitas minyak, g/mL.

$G_B$  = berat pelarut n-heksana, g.

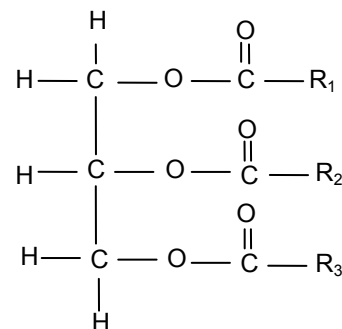
$\rho_B$  = densitas pelarut n-heksana, g/mL.

Untuk penentuan konsentrasi minyak jenuh ( $C_s$ ), mula-mula ditimbang bahan baku sebanyak 10gr, lalu dimasukkan ke dalam gelas beker kemudian ke dalam gelas ditambahkan pelarut normal heksana sebanyak 100mL, kemudian didiamkan untuk beberapa saat (90 menit). Setelah itu dilakukan pengadukan

beberapa kali selama proses agar diperoleh larutan homogen. Selanjutnya larutan yang diperoleh dipisahkan dari padatan dengan cara disaring menggunakan kertas saring, kemudian ditentukan densitasnya alat piknometer. Proses tersebut di atas dilakukan berkali-kali untuk berat bahan baku yang berbeda, yaitu sebanyak 20gr, 30 gr, 40 gr 50 gr dan 60 gr dengan volume pelarut sama. Dengan membuat grafik hubungan antara konsentrasi larutan dengan densitas larutan, nilai konsentrasi jenuh ( $C_s$ ) larutan minyak dalam pelarut normal heksana dapat diketahui dengan nilai yang paling tinggi atau mencapai batas optimal.

Penentuan densitas larutan minyak dalam pelarut normal heksana dilakukan dengan menggunakan alat piknometer. Densitas larutan dinyatakan sebagai berat larutan dibagi volume larutan. Penentuan viskositas larutan minyak maupun pelarut normal heksana dilakukan dengan menggunakan alat viskosimeter.

Lemak dan minyak secara kimiawi adalah trigliserida, merupakan bagian terbesar dari kelompok lipida, sebagai senyawa netral yang dihasilkan oleh hewan dan tumbuh-tumbuhan, larut dalam eter dan pelarut organik lain, tetapi tidak larut dalam air (Kirk and Othmer,1950). Lemak dan minyak dapat dibedakan berdasarkan sifat fisiknya. Lemak dalam kondisi ruangan dalam keadaan padat, sedangkan minyak merupakan trigliserida yang dalam kondisi ruangan berbentuk cair.



Gambar 2. Struktur umum trigliserida

Lemak dan minyak merupakan ester-ester dari gliserol dan asam-asam alifatik rantai panjang (asam lemak), oleh karena itu sifat-sifat kimia dan fisiknya

ditentukan oleh sifat-sifat komponen asam lemak tersebut.

Berdasarkan sifat pengeringannya, minyak dapat dibedakan menjadi tiga yaitu: a) minyak tidak mengering (*non dring oil*) terdapat pada minyak dari biji zaitun, kacang tanah; b) minyak setengah mengering (*semi dring oil*) terdapat pada minyak dari biji kapas, jagung, gandum, biji bunga matahari dll; serta c) minyak mengering (*dring oil*) misalnya terdapat pada minyak kedelai dan minyak biji karet (Gardjito dan Supriyanto, 1987).

Istilah minyak mengering adalah seberapa banyak minyak tersebut mempunyai sifat dapat mengering jika teroksidasi dan akan berubah menjadi lapisan tebal, bersifat kental dan membentuk jenis selaput jika dibiarkan diudara terbuka, sedangkan minyak setengah mengering adalah minyak dengan daya mengering lebih lambat (Ketaren, 1986).

Ekstraksi merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan suatu operasi yang bertujuan memindahkan suatu komponen dari suatu zat padat atau cair (*solute*) ke zat cair lain sebagai pelarut (*solvent*). Dasar pemisahan cara ekstraksi adalah perbedaan daya larut dari tiap-tiap komponen ke dalam zat pelarut. Daya larut komponen sangat dipengaruhi oleh suhu, sedangkan tekanan kecil pengaruhnya, sehingga dapat diabaikan.

Proses pengambilan minyak nabati dari bahannya, secara umum bertujuan antara lain: a) menghasilkan minyak yang berkualitas baik dan bebas dari kotoran, b) menghasilkan minyak sebanyak mungkin, dalam batas prosesnya tetap ekonomis, dan c) menghasilkan bungkil atau residu yang dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah minyak terambil dengan cara ekstraksi menggunakan pelarut adalah: suhu, waktu ekstraksi, volume pelarut, ukuran butir, kecepatan pengadukan, dan konsentrasi pelarut.

Suhu; semakin tinggi suhu yang digunakan akan diperoleh jumlah minyak yang lebih banyak. Hal ini disebabkan karena pada suhu tinggi protein akan mengumpal, sedangkan minyak akan membentuk butiran yang lebih besar dan menyebabkan minyak lebih mudah ke-

luar dari bahan. Tetapi pada suhu yang lebih tinggi akan menyebabkan kerusakan bahan sehingga minyak yang terambil berwarna gelap. Waktu ekstraksi; semakin lama waktu ekstraksi akan mengakibatkan waktu kontak bahan dengan pelarut juga lebih lama, sehingga minyak yang dapat terambil lebih banyak. Volume pelarut; semakin banyak volume pelarut akan memperbanyak minyak yang dapat dilarutkan, sehingga dapat menghasilkan minyak lebih banyak. Ukuran butir; semakin halus ukuran partikel semakin sempurna proses luas permukaan kontak menjadi lebih besar, sehingga minyak dapat terambil menjadi lebih banyak. Kecepatan pengadukan; semakin besar kecepatan pengadukan akan menyebabkan terjadinya pencampuran antara bahan dengan pelarut lebih merata, sehingga ekstraksi ini yang terjadi lebih sempurna dan dapat menghasilkan minyak lebih banyak. Konsentrasi pelarut; semakin tinggi konsentrasi pelarut yang digunakan maka semakin besar pula minyak yang dapat terambil.

Biji ketapang mengandung lemak sekitar 50%, sehingga dapat diekstraksi dengan cara mekanis ataupun ekstraksi dengan menggunakan pelarut (misal normal heksana). Biji ketapang dipandang menarik sebagai sumber minyak yang sangat potensial sebagai bahan dasar biodiesel karena kandungan minyaknya yang tinggi dan kurang berkompetisi untuk pemanfaatan lain (misal jika dibandingkan dengan minyak kelapa sawit), dan memiliki karakteristik agronomi yang sangat menarik.

Pengujian terhadap minyak biji ketapang diperlukan untuk melakukan identifikasi minyak, sehingga dapat ditentukan sifat-sifat dan karakteristik dari minyak. Berdasarkan dari analisis terhadap komposisi asam lemak, diketahui bahwa asam lemak yang dominan adalah asam oleat, asam linoleat, asam palmitat, dan asam stearat. Komposisi asam oleat dan asam linoleat sebagai asam lemak tak jenuh jumlahnya relatif besar (sekitar 60,41%), sementara asam lemak yang tersisa yaitu asam lemak jenuh berupa asam palmitat dan asam stearat dengan jumlah yang relatif lebih kecil (Matos et al., 2009).

Perpindahan massa antar fase terjadi bila terdapat perbedaan konsentrasi; zat terlarut (*solute*) akan berpindah dari sistem yang lebih tinggi konsentrasinya ke sistem yang lebih rendah konsentrasinya oleh (Treybal, 1980). Pada proses ekstraksi padat-cair ini, perpindahan massa *solute* dari dalam padatan ke cairan melalui dua tahapan proses, yaitu proses difusi dari dalam padatan ke permukaan padatan dan perpindahan massa dari padatan ke cairan. Kedua proses tersebut berlangsung seri, jika salah satu proses berlangsung lebih cepat, maka kecepatan ekstraksi ditentukan oleh proses yang lambat. Namun bila kedua proses berlangsung dengan kecepatan yang tidak jauh berbeda maka kecepatan ekstraksi ditentukan oleh kedua proses tersebut.

Difusivitas minyak dari biji ketapang (*solute*) ke dalam pelarut (normal heksana) dianggap dapat didekati dengan persamaan Wilke and Chang (Treybal, 1980).

$$D_v = \frac{(117,3 \times 10^{-18}) (\Psi_b \cdot BM)^{0,5} T}{(\mu \cdot v_A)^{0,6}} \dots\dots(2)$$

dengan:

$D_v$  = difusivitas minyak biji ketapang dalam n-heksana,  $cm^2/det$

$v_A$  = volume molar minyak biji ketapang,  $cm^3/gmol$

$\mu$  = viskositas n-heksana,  $g/(cm \cdot det)$ .

BM = berat molekul pelarut,  $g/gmol$ .

T = suhu operasi, K.

$\Psi_B$  = parameter asosiasi pelarut.

Dalam proses ekstraksi diambil asumsi yaitu: proses berlangsung isothermal, ukuran butir seragam dan tidak berubah selama ekstraksi, konsentrasi bahan pelarut sekitar butir adalah konsentrasi jenuhnya, dan rapat massa larutan dianggap tetap.

Volume molar ditentukan dengan menggunakan hukum Kopp yang menyatakan bahwa volume molar disamping bersifat aditif juga bersifat konklusif, sehingga volume molar suatu senyawa merupakan jumlah volume atomis atom-atom unsur penyusun. Volume atomis beberapa unsur dapat dilihat pada Tabel 1 berikut (Brown, 1978; Treybal, 1980).

Proses pengambilan minyak biji ketapang dengan metode ekstraksi deng-

an menggunakan pelarut normal heksana diharapkan mendapatkan hasil minyak yang maksimal. Penelitian ekstraksi minyak biji ketapang di sini dilakukan di dalam labu leher tiga.

Tabel 1. Volume atomis beberapa unsur

Unsur	Volume atomis $10^3 (cm^3/gmol)$
Brom	27,0
Oksigen dalam aldehyd, keton dan mata rantai ganda	25,6
Oksigen dalam ester	7,9
Oksigen dalam ester yang tinggi dan eter	11,0
Oksigen dalam asam	12,0
Karbon	24,0
Khlor	24,6
Hidrogen	3,7
Nitrogen	15,6
Nitrogen dalam amin primer	10,5
Nitrogen dalam amin sekunder	12,0

Penentuan untuk koefisien *transfer massa* ( $k_L a$ ) berdasarkan perasaman kecepatan perpindahan massa *solute* dari permukaan padatan ke cairan, dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut (Brown, 1978):

$$N = k_L a \cdot V_L (C_S - C) = d(CV)/dt \dots\dots (3)$$

Jika dianggap V tetap, maka diperoleh persamaan:  $k_L a \cdot dt = dC/(C_S - C) \dots\dots (4)$

Integrasi persamaan (4) dengan batas waktu dari  $t=0$  sampai  $t=t$  dan batas konsentrasi dari  $C=0$  sampai  $C=C$ , diperoleh persamaan berikut:  $k_L a \cdot \int dt = \int (dC/(C_S - C))$   
 $k_L a \cdot (t - 0) = - \{ \ln (C_S - C) - \ln (C_S - 0) \}$   
 atau  $\ln \{ C_S / (C_S - C) \} = k_L a \cdot t \dots\dots (5)$

Persamaan (5) tersebut merupakan persamaan garis lurus, atau dapat ditulis:  $y = a \cdot x$ ; dengan  $y = \ln \{ C_S / (C_S - C) \}$   
 $x = t$ ; tangen arah ( $a$ ) =  $k_L a$

Dengan mengamati konsentrasi larutan setiap saat, dapat dibuat grafik hubungan antara waktu (t) dan  $\ln \{ C_S / (C_S - C) \}$ . Dari data pengamatan, akan diperoleh grafik garis lurus, dengan tangen arah sebesar koefisien *transfer massa* ( $k_L a$ ).

Variabel-variabel yang diperkirakan berpengaruh terhadap koefisien perpindahan massa antar fasa pada proses ekstraksi padat-cair dengan mengguna-

kan tangki berpengaduk disini adalah: densitas larutan ( $\rho$ ), viskositas larutan minyak dalam normal heksana ( $\mu$ ), difusivitas larutan ( $D_v$ ), diameter pengaduk ( $dp$ ), ukuran butir padatan ( $db$ ), dan kecepatan putar pengaduk ( $N$ ). Hubungan antara variabel-variabel tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$k_L a = f(\rho, \mu, D_v, dp, db, N) \dots (6)$$

Persamaan (6) dapat dinyatakan dengan hubungan antara kelompok tak berdimensi sebagai berikut :

$$k_L a = K \cdot \rho^{c1} \cdot \mu^{c2} \cdot D_v^{c3} \cdot dp^{c4} \cdot db^{c5} \cdot N^{c6} \dots (7)$$

Dengan sistem MLT, maka diperoleh :

$$T^{-1} = K(ML^{-3})^{c1}(ML^{-1}T^{-1})^{c2}(L^2T^{-1})^{c3}(L)^{c4}(L)^{c5}(T^{-1})^{c6} \dots (8)$$

Dimensi ruas kiri dan ruas kanan dari persamaan (8) harus sama, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$M : 0 = c1 + c2; c2 = -c1 \dots (9)$$

$$L : 0 = -3c1 - c2 + 2c3 + c4 + c5 \dots (10)$$

$$T : -1 = -c2 - c3 - c6 \dots (11)$$

Dari persamaan (9) disubstitusi ke persamaan (10), diperoleh persamaan:

$$c4 = -2c2 - 2c3 - c5 \dots (12)$$

Dari persamaan (9) disubstitusi ke persamaan (11), diperoleh persamaan:

$$c3 = 1 + c1 - c6 \dots (13)$$

Persamaan (9) & (13) disubstitusi ke persamaan (12), diperoleh persamaan :

$$c4 = -2 - c5 + 2c6 \dots (14)$$

Persamaan (9), (13) & (14) disubstitusi ke persamaan (7) :

$$k_L a = K \cdot \rho^{c1} \cdot \mu^{-c1} \cdot D_v^{1+c1-c6} \cdot dp^{-2-c5+2c6} \cdot db^{c5} \cdot N^{c6} \dots (15)$$

$$K_L a = K \left[ \frac{\rho \cdot D_v}{\mu} \right]^{c1} \left[ \frac{db}{dp} \right]^{c5} \left[ \frac{N \cdot dp^2}{D_v} \right]^{c6} \left[ \frac{D_v}{dp^2} \right] \dots (16)$$

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_v} = K \left[ \frac{\rho \cdot D_v}{\mu} \right]^{c1} \left[ \frac{db}{dp} \right]^{c5} \left[ \frac{N \cdot dp^2}{\mu} \right]^{c6} \left[ \frac{\mu}{\rho \cdot D_v} \right]^{c6} \dots (17)$$

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_v} = K \left[ \frac{N \cdot dp^2 \cdot \rho}{\mu} \right]^{c6} \left[ \frac{\mu}{\rho \cdot D_v} \right]^{c6-c1} \left[ \frac{db}{dp} \right]^{c5} \dots (18)$$

Apabila diambil  $c6=a$ ,  $c6-c1=b$ ,  $c5=c$ , maka :

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_v} = K \left[ \frac{N \cdot dp^2 \cdot \rho}{\mu} \right]^a \left[ \frac{\mu}{\rho \cdot D_v} \right]^b \left[ \frac{db}{dp} \right]^c \dots (19)$$

Untuk proses ekstraksi dengan menggunakan diameter pengaduk ( $dp$ ) dan ukuran butir ( $db$ ) tertentu, maka kelompok tidak berdimensi ( $db/dp$ ) tetap, sehingga persamaan (19) menjadi:

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_v} = K \left[ \frac{N \cdot dp^2 \cdot \rho}{\mu} \right]^a \left[ \frac{\mu}{\rho \cdot D_v} \right]^b$$

$$\dots (20)$$

dengan  $k = K \left[ \frac{db}{dp} \right]^c$ , atau dapat ditulis

dalam bentuk persamaan:

$$Sh = k \cdot Re^a \cdot Sc^b \dots (21)$$

dengan:

$$Sh = \text{bilangan Sherwood} \left\{ \frac{k_L a \cdot dp^2}{D_v} \right\}$$

$$Re = \text{bilangan Reynold} \left[ \frac{N \cdot dp^2 \cdot \rho}{\mu} \right]$$

$$Sc = \text{bilangan Schimid} \left[ \frac{\mu}{\rho \cdot D_v} \right]$$

Dalam penelitian ini akan dicari nilai tetapan a, b, dan k dalam persamaan kelompok tidak berdimensi (21) dengan melakukan proses ekstraksi biji ketapang dengan menggunakan pelarut normal heksana dengan memvariasikan perbandingan berat bahan dengan volume pelarut. Larutan hasil ekstraksi dianalisis dan masing-masing proses dilakukan pada berbagai waktu, sehingga dapat ditentukan nilai koefisien *transfer massa*.

Dari data hasil percobaan dengan memvariasikan perbandingan berat bahan dengan volume pelarut yang dilakukan pada waktu tertentu, akan menghasilkan larutan minyak dengan densitas ( $\rho$ ) dan viskositas ( $\mu$ ) yang berbeda. Berdasar persamaan (21), yang diubah menjadi bentuk persamaan linier:

$$\log(Sh) = \log(k) + a \log(Re) + b \log(Sc) \dots (22)$$

$$\text{atau : } Y = a_0 + a X_1 + b X_2 \dots (23)$$

dengan  $Y = \log(Sh)$ ,  $a_0 = \log(k)$ ,  $X_1 = \log(Re)$ , dan  $X_2 = \log(Sh)$ . Nilai a, b, dan  $a_0 = \log(k)$  dapat ditentukan dengan cara kuadrat terkecil (*least square*).

## PEMBAHASAN

Penelitian ekstraksi biji ketapang dengan pelarut n-heksana dilakukan dengan memvariasikan perbandingan berat bahan dengan volume pelarut dan analisis hasil dilakukan pada setiap interval waktu tertentu.

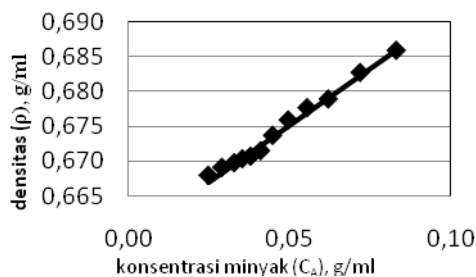
Hasil analisis biji ketapang sebagai bahan baku, berupa: kadar air rata-rata 8,71% dan kadar minyak 43,39%; sedangkan minyak biji ketapang yang di-

hasilkan memiliki densitas 0,9018 gr/mL dan viscositas 0,01199gr/(cm.det). Pelarut normal heksana yang digunakan dengan kadar 89%, densitas 0,6624 gr/mL, dan viscositas 0,003825 gr/(cm.det).

Grafik standar di sini menunjukkan hubungan antara densitas larutan ( $\rho$ ) dengan konsentrasi larutan minyak ( $C_A$ ). Konsentrasi larutan minyak dapat ditentukan berdasar berat minyak yang dilarutkan dalam pelarut n-heksana dengan berat tertentu. Dari data hasil percobaan diperoleh hubungan antara konsentrasi larutan ( $C_A$ ) dengan densitas larutan ( $\rho$ ), seperti dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasar Tabel 2 tersebut, hubungan antara konsentrasi larutan minyak ( $C_A$ ) dengan densitas larutan minyak ( $\rho$ ), dapat dinyatakan dalam bentuk grafik seperti dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Hubungan densitas larutan dengan konsentrasi minyak

Berat minyak, (gr)	Berat pelarut, (gr)	Densitas larutan, $\rho$ (gr/mL)	Konsentrasi minyak, $C_A$ (gr/mL)
2,430	17,622	0,6860	0,0831
2,430	20,643	0,6828	0,0719
2,430	24,218	0,6789	0,0620
2,430	27,306	0,6777	0,0554
2,430	30,758	0,6759	0,0495
2,430	34,265	0,6737	0,0447
2,430	37,547	0,6715	0,0410
2,430	40,802	0,6707	0,0378
2,430	43,861	0,6703	0,0353
2,430	47,404	0,6697	0,0328
2,430	53,867	0,6691	0,0289
2,430	63,497	0,6679	0,0247



Gambar 2. Grafik hubungan antara konsentrasi minyak dengan densitas larutan

Berdasar hasil penelitian hubungan antara konsentrasi minyak dalam larutan ( $C_A$ ) dengan densitas larutan ( $\rho$ ) dapat didekati dengan persamaan garis lurus:

$$\rho = 0,659 + 0,323 C_A \quad \dots\dots\dots (24)$$

dengan:

$C_A$  = konsentrasi minyak, g/mL.

$\rho$  = densitas larutan, g/mL.

Persamaan garis lurus di atas berlaku untuk kondisi  $C_A$  sebesar 0,02-0,08, dengan ralat rata-rata sebesar 0,036%.

Konsentrasi minyak jenuh ( $C_S$ ) dapat ditentukan dengan cara melarutkan sejumlah berat biji ketapang ke dalam pelarut normal heksana dengan volume tertentu. Pelarutan dilakukan selama 90 menit, kemudian larutannya dipisahkan dari padatan dengan penyaringan. Larutan yang diperoleh ditentukan densitasnya, sehingga dari hubungan densitas dengan konsentrasi larutan dapat diketahui nilai konsentrasinya. Dari data hasil percobaan dengan memvariasikan berat bahan yang dilarutkan ke dalam pelarut normal heksana volume tertentu, diperoleh hubungan antara densitas larutan dengan konsentrasi seperti tercantum pada Tabel 3.

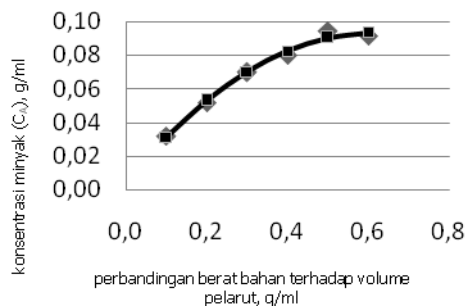
Tabel 3. Hubungan perbandingan berat bahan dan volume pelarut terhadap densitas maupun konsentrasi minyak.

Berat biji (gr)	Volume pelarut (mL)	$\rho$ larutan (gr/mL)	$C_A$ (gr/mL)
10	100	0,6693	0,0320
20	100	0,6778	0,0584
30	100	0,6816	0,0699
40	100	0,6849	0,0801
50	100	0,6886	0,0926
60	100	0,6896	0,0946

Tabel 3 dapat dilukiskan grafik hubungan perbandingan berat bahan dan volume pelarut terhadap konsentrasi minyak dalam larutan ( $C_A$ ) dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 yang menyatakan hubungan antara konsentrasi minyak dalam larutan dengan perbandingan berat bahan dan volume pelarut, didapat data konsentrasi jenuh  $C_S$  yang paling tinggi pada berat bahan sebanyak 60 g pada volume pelarut 100 mL dengan nilai konsentrasi minyak sebesar 0,0946 g/cm<sup>3</sup>.

Percobaan untuk mengetahui pengaruh perbandingan berat bahan dan

volume pelarut dengan berat bahan terhadap koefisien *transfer massa* dilakukan pada suhu 29°C dengan putaran pengadukan 500 rpm, diameter pengaduk 2 cm, butiran biji ketapang dengan ukuran tertentu (lolos ayakan 40 mesh dan tertahan 50 mesh), dan berat bahan sebanyak 20gr. Dengan memvariasikan volume pelarut diperoleh data hasil percobaan seperti tercantum pada Tabel 4a dan Tabel 4b.



Gambar 3. Perbandingan hubungan antara berat bahan dan volume pelarut terhadap konsentrasi minyak.

Tabel 4a. Perbandingan hubungan antara berat bahan dan volume pelarut terhadap densitas larutan berbagai waktu.

Bahan baku (g)	Volume n-heksana (mL)	Densitas ( $\rho$ ), g/mL	
		t = 30 menit	t = 45 menit
20	100	0,6752	0,6759
20	120	0,6744	0,6756
20	140	0,6713	0,6718
20	160	0,6710	0,6712
20	180	0,6701	0,6707
20	200	0,6693	0,6693

Tabel 4b. Perbandingan hubungan antara berat bahan (20gram) dan volume pelarut terhadap densitas pada berbagai waktu (lanjutan)

Volume n-heksana (mL)	Densitas ( $\rho$ ), g/mL		
	t = 60 menit	t = 90 menit	t = 120 menit
100	0,6769	0,6783	0,6795
120	0,6768	0,6777	0,6788
140	0,6730	0,6741	0,6773
160	0,6720	0,6729	0,6739
180	0,6720	0,6722	0,6730
200	0,6703	0,6711	0,6722

Dari Tabel 4a dan 4b tersebut di atas terlihat bahwa semakin banyak volume pelarut untuk waktu yang tetap, diperoleh densitas larutan semakin kecil. Demikian pula semakin lama waktu ekstraksi dengan volume pelarut tetap dihasilkan densitas larutan semakin besar. Berdasarkan persamaan (24) yang menyatakan korelasi konsentrasi minyak dalam larutan ( $C_A$ ) dengan densitas larutan ( $\rho$ ) dan data densitas pada Tabel 4a dan 4b, maka konsentrasi minyak dalam larutan ( $C_A$ ) dapat diketahui. Akhirnya hubungan antara perbandingan berat bahan dan volume pelarut dengan konsentrasi larutan minyak ( $C_A$ ) seperti tercantum pada Tabel 5a dan 5b.

Tabel 5a. Hubungan antara volume pelarut terhadap konsentrasi minyak pada berbagai waktu (berat bahan baku 20gr).

Volume n-heksana (mL)	Konsentrasi minyak dalam larutan ( $C_A$ ), g/mL	
	t = 30 menit	T = 45 menit
100	0,0503	0,0524
120	0,0477	0,0515
140	0,0381	0,0397
160	0,0371	0,0378
180	0,0343	0,0363
200	0,0317	0,0320

Dari Tabel 5a dan 5b terlihat bahwa semakin banyak pelarut yang digunakan, besarnya konsentrasi minyak dalam larutan hasil ekstraksi untuk waktu tertentu nilainya semakin kecil. Namun pada suatu kondisi dengan perbandingan bahan baku dan volume pelarut tertentu, terlihat semakin lama waktu ekstraksi, semakin besar konsentrasinya.

Tabel 5b. Hubungan antara volume pelarut terhadap konsentrasi minyak pada berbagai waktu (lanjutan)

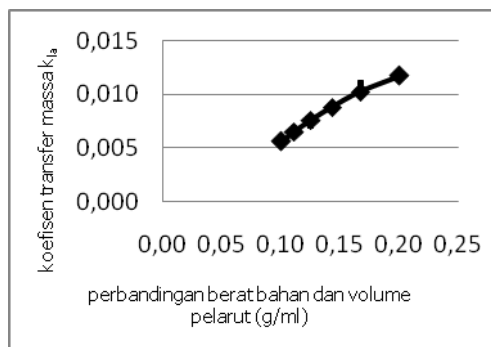
Volume normal heksana (mL)	Konsentrasi minyak dalam larutan ( $C_A$ ), g/mL		
	t = 60 menit	t = 90 menit	t = 120 menit
100	0,0555	0,0596	0,0634
120	0,0552	0,0580	0,0613
140	0,0432	0,0467	0,0567
160	0,0403	0,0429	0,0461
180	0,0401	0,0408	0,0434
200	0,0350	0,0375	0,0408



Nilai koefisien transfer massa ( $k_L a$ ) dapat ditentukan berdasar persamaan (22) dan hasil perhitungannya pada variasi perbandingan berat bahan dan volume pelarut seperti tercantum pada Tabel 6. Berdasar hasil perhitungan yang tercantum pada Tabel 6 dapat dilukiskan grafik hubungan antara perbandingan berat bahan dan volume pelarut terhadap koefisien transfer massa seperti tercantum pada Gambar 4.

Tabel 6. Hubungan antara perbandingan berat bahan dan volume pelarut terhadap koefisien transfer massa ( $k_L a$ ) dengan

Berat bahan (g)	Volume n-heksana (mL)	$k_L a$ (1/detik)
20	100	0,0115
20	120	0,0110
20	140	0,0085
20	160	0,0071
20	180	0,0066
20	200	0,0059



Gambar 4. Grafik hubungan antara perbandingan bahan dan volume pelarut terhadap koefisien transfer massa

Garis yang menyatakan hubungan antara perbandingan berat bahan dengan volume pelarut terhadap koefisien transfer massa, dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Y = -0,0051 + 0,1305X - 0,2313X^2 \text{ dengan:}$$

Y = koefisien transfer massa

X = perbandingan berat bahan dan volume pelarut

Persamaan tersebut berlaku untuk kondisi  $x=20\text{gr}/100\text{ml}$  sampai  $x=20\text{gr}/200\text{ml}$ , ralat rata-rata sebesar 0,138%.

Dari Tabel 6 dan Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan bahan tetap dan volume pelarut yang ditambahkan makin banyak, akan menghasilkan nilai perbandingan berat bahan dan volume pelarut semakin kecil dengan nilai koefisien transfer massa semakin kecil pula. Untuk proses ekstraksi dengan menggunakan diameter pengaduk ( $d_p$ ) sebesar 2cm, ukuran butir lolos ayakan 40 mesh dan tertahan ayakan 50 mesh, maka persamaan tidak berdimensi yang berlaku (untuk diameter pengaduk dan ukuran butir tetap), yaitu:

$$Sh = k \cdot Re^a \cdot Sc^b \dots\dots\dots(21)$$

Pada percobaan dengan suhu  $29^\circ\text{C}$ , diameter pengaduk ( $d_p$ ) 2cm, putaran pengaduk (N) 500 rpm, dan nilai difusivitas ( $D_v$ ) sebesar  $0,0695 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{det}$ , nilai koefisien transfer massa serta densitas pada setiap variasi perbandingan berat bahan dengan volume pelarut lihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hubungan antara perbandingan berat bahan dan volume pelarut terhadap koefisien transfer massa ( $k_L a$ ) dan densitas serta viscositas larutan hasil.

Berat bahan/volume pelarut, (g/mL)	$k_L a$ , (1/detik)	$\rho$ larutan, (g/mL)	Viscositas larutan, (g/(cm.det))
20/100	0,0115	0,6795	0,005027
20/120	0,0110	0,6788	0,004864
20/140	0,0085	0,6773	0,004461
20/160	0,0071	0,6739	0,004108
20/180	0,0066	0,6730	0,004033
20/200	0,0059	0,6722	0,004008

Berdasar persamaan linier (22) atau (23) dan data hasil percobaan yang tercantum pada Tabel 7, dapat dihitung a, b, dan  $a_0 = \log(k)$  dengan cara kuadrat terkecil (least square). Tabel 7 dihitung nilai  $Y = \log(Sh)$ ,  $X_1 = \log(Re)$ , dan  $X_2 = \log(Sc)$ , sehingga diperoleh persamaan linier simultan berikut:

$$\begin{aligned} 6x a_0 + 22,2766a + 47,8088b &= 52,0336 \\ 22,2766a_0 + 82,718a + 177,4924b &= 193,161 \\ 47,8088 a_0 + 177,4924 a + 380,9568 b &= 414,6376 \end{aligned}$$

Dengan cara eliminasi Gauss dengan bantuan program Excel, persamaan di atas dapat diselesaikan sehingga se-

hingga diperoleh nilai  $b=1,120$ ;  $a=-1,506$ ,  $a_0=\log(k)=5,3356$  atau  $k=0,2166 \cdot 10^6$ .

Berdasar hasil perhitungan diperoleh persamaan tak berdimensi yang menyatakan hubungan koefisien *transfer massa* dengan variabel yang berpengaruh dapat dinyatakan dalam persamaan:  $Sh=0,2166 \times 10^6 \times Re^{-1,506} \times Sc^{1,120}$

### KESIMPULAN

Hasil perhitungan dan pembahasan pada proses ekstraksi minyak biji ketapang dengan pelarut normal heksana, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Biji ketapang sebagai bahan baku mempunyai kadar air rata-rata 8,71% dan kadar minyak rata-rata 43,39%, sedang minyak yang dihasilkan mempunyai densitas 0,9018 g/mL dan *viscositas* sebesar 0,01199 g/(cm.det).

Hubungan densitas larutan dengan konsentrasi minyak dalam larutan dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan  $\rho = 0,659 + 0,323 C_A$ , dengan ralat rata-rata 0,036%.

Semakin besar perbandingan berat bahan dan volume pelarut, diperoleh nilai koefisien *transfer massa* semakin besar.

Hubungan antara perbandingan berat bahan dan volume pelarut dari (X, g/mL) terhadap koefisien *transfer massa* (Y, 1/det) dinyatakan dalam bentuk persamaan:  $Y = -0,0051 + 0,1305X - 0,2313X^2$  berlaku untuk harga X sebesar 0,10 sampai 0,20, dengan ralat rata-rata 0,138%.

Hubungan antara koefisien *transfer massa* dengan variabel yang berpengaruh, dinyatakan dengan persamaan tidak berdimensi:  $Sh=0,2166 \cdot 10^6 \cdot Re^{-1,506} \cdot Sc^{1,120}$  dengan ralat rata-rata 0,072%.

### DAFTAR PUSTAKA

Bailey, 1951, *Industrial Oil and Fat Products*, 1<sup>st</sup>ed., pp. 303-304 and 356-359, Interscience Publisher Inc., New York.

Bird, R.B., 1960, *Transport Phenomena*, pp. 513-516, John Wiley & Sons Inc., New York.

Brown, G.G., 1978, *Unit Operations*, pp. 510-540, Charles E. Tuttle Co, Tokyo.

Garjito, M. dan Supriyanto, 1987, *Teknologi Pengolahan Minyak*, hal.40-136, PAU Pangan dan Gizi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Griffin, R.C., 1955, *Technical Method of Analysis*, 2<sup>nd</sup> ed, pp. 107 – 110, Mc. Graw-Hill Book Company Inc., New York.

Groggins, P. H., 1958, *Unit processing Organics Synthesis*, 5<sup>th</sup> ed, pp. 670 – 728, McGraw-Hill Book Company Inc, New York

Matos, L., Nzikou, J. M., Kimbonguila, A., Ndangui, C. B., Pambou-Tobi, N.P.G., Abena, A. A., Silou, Th., Scher, J., and Desobry, S., 2009, *Composition and Nutritional Properties of Seeds and Oil from Terminalia Catappa*, Advance Journal of Food Science and Technology, 1(1), 72-77.

Ketaren, S., 1986, *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, UI Press., Jakarta.

Kirk, R. E., and Othmer, D. T., 1950, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3<sup>th</sup> ed, pp 1–13, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Sastroamidjojo, S., 1962, *Obat Asli Indonesia*, cetakan kedua, hal. 201, Pustaka Rakyat, Jakarta.

Sudarmadji, S., 1997, *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan & Pertanian*, hal 83–96, Liberty, Yogyakarta.

Treybal, R. E., 1980, *Mass-Transfer Operations*, McGraw-Hill Chemical Engineering Series.