

PERMODELAN MATEMATIKA EKSTRAKSI OLEORESIN TEMULAWAK (*Curcuma Xanthorrhiza Roxb*) DENGAN KARBONDIOKSIDA SUPERKRITIS DAN CO-SOLVENT ETANOL MENGGUNAKAN *SHRINKING CORE MODEL*

Farah Fahma

Departemen Teknologi Industri Pertanian, FATETA, IPB

Abstract

This experiment studied the extraction of oleoresin from Curcuma Xanthorrhiza Roxb using supercritical carbon dioxide. Effects of various operation condition such as pressure, temperature, extractions time, and addition of ethanol-co-solvent into bulk carbon dioxide have been studied. Solubility of carbon dioxide could be increased by addition of co-solvent ethanol. Temperature and pressure affect solubility of oleoresin in carbon dioxide so that it may affect to oleoresin, and curcuminoid yield. Extraction temperature and pressure were performed at 45-65 °C and 10-18 MPa, respectively.

Simulation study that could describe the process of oleoresin extraction from Curcuma Xanthorrhiza Roxb by supercritical carbon dioxide have been done using Shrinking Core Model. Fitting the calculated curve and experimental data done by trial the difference value of a and Bi , where $a = (V/L) (R^2/D_e)$ and $Bi = (kf R/D_e)$. Effective inter particle diffusion value (D_e) and external mass transfer coefficient (kf) could be determined after trial value of a and Bi . At 14 Mpa, 50°C, with co-solvent, the resulted value of D_e is 6.572×10^{-11} and the value of kf is 1.2159×10^{-5} with error value 2.46 %.

Keywords : modeling, supercritical carbon dioxide, Curcuma Xanthorrhiza Roxb.

PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil penelitian di bidang ilmu kedokteran modern, diketahui bahwa khasiat temulawak terutama disebabkan oleh dua kelompok kandungan kimia utamanya, yaitu curcuminoid dan minyak atsiri (Liang dkk, 1985).

Rimpang temulawak mengandung kurkumin dan monodesmetoksi kurkumin yang bersifat antitumor. Temulawak juga berkhasiat menghilangkan rasa nyeri dan sakit karena kanker. Ekstrak temulawak sangat dianjurkan untuk dikonsumsi guna mencegah penyakit hati, termasuk hepatitis B yang menjadi salah satu faktor risiko timbulnya kanker hati. Di samping itu, juga telah terbukti dapat menurunkan kadar kolesterol dalam darah dan sel hati (Kunia, 2006).

Sistem operasi pemisahan untuk produk makanan dan obat-obatan sering dibatasi oleh penggunaan temperatur yang tidak boleh terlalu tinggi, karena produk biasanya tidak tahan panas. Selain itu pelarut yang digunakan harus memenuhi kriteria tidak beracun dan tidak meninggalkan sisa yang dapat mengotori produk.

Penggunaan ekstraksi dengan fluida superkritik merupakan metode yang menarik, mengingat proses distilasi konvensional (seperti distilasi uap dan pelarut liquid) memerlukan temperatur yang relatif tinggi, sehingga dapat merusak bahan. Selain itu, penggunaan sistem ekstraksi

konvensional akan meninggalkan sisa yang tidak diinginkan dan sulit untuk dipisahkan.

Fluida-fluida superkritik memiliki densitas seperti liquid sedangkan viskositas dan diffusivitasnya seperti gas, hal ini menyebabkan fluida-fluida superkritik memiliki laju perpindahan massa yang tinggi dan efektivitas kemampuan pelarutannya dapat dikontrol dengan perubahan suhu dan tekanan. Karbon dioksida banyak digunakan sebagai fluida superkritik karena aman, tidak mudah terbakar, tidak berbau, tidak berwarna, tidak beracun, tidak korosif, murah dan banyak tersedia serta produk yang dihasilkan memiliki kemurnian yang tinggi (Taylor, 1996).

Permodelan simulasi untuk mempelajari perilaku ekstraksi perlu dilakukan karena hal tersebut penting dalam aplikasi komersial.

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan model matematik proses ekstraksi oleoresin temulawak menggunakan *shrinking core model*.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah rimpang temulawak, etanol dan gas karbon dioksida (CO₂).

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan ekstraksi superkritis dan peralatan untuk analisa.

Permodelan Matematika

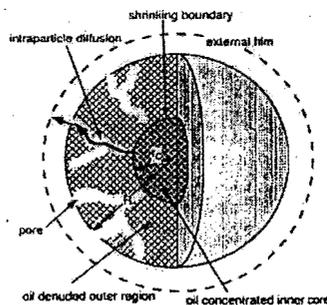
Proses ekstraksi dari bahan-bahan natural seperti tanaman, kacang-kacangan atau biji-bijian merupakan proses pelepasan *solute* dari matriks porous atau matriks selular ke dalam pelarut. Ini merupakan proses perpindahan massa. *Solute* yang terjebak dalam matriks oleh gaya kimia atau fisika harus dilepaskan dan ditransfer ke fluida superkritis dengan proses pelarutan. Kemudian, *solute* yang terlarut berdiffusi melalui pori menuju permukaan partikel. Akhirnya, *solute* bergerak melewati film *stagnan* di sekeliling partikel menuju bulk fase fluida.

Seiring dengan lamanya proses ekstraksi tersebut, inti bagian dalam akan mengecil dan terbentuk batas tajam antara bagian dalam (yang belum terekstrak) dan bagian luar (yang telah terekstrak). Fenomena ini dapat digambarkan dengan *Shrinking core model*.

Pada saat dispersi aksial diabaikan, penyelesaian *quasi-steady-state* dapat diperoleh dengan mengasumsikan perubahan ξ_c selama *residence time* (waktu tinggal) pelarut dalam kolom ekstraktor diabaikan dan perubahan dalam arah aksial sepanjang kolom ekstraktor selama waktu ekstraksi kecil. Dimana ξ_c merupakan perbandingan r_c (jari-jari *unleached core*) dan R (jari-jari partikel).

Asumsi-asumsi yang diambil dalam penyusunan model ini adalah pelarut (*solvent*) mengalir secara aksial dengan kecepatan interstitial (v) melalui *packed bed* pada silinder ekstraktor dengan tinggi L , pelarut murni masuk bed, dan proses berlangsung isothermal (Roy dkk, 1996).

Berdasarkan asumsi di atas, maka neraca massa dalam ekstraktor dengan mengabaikan dispersi aksial dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Mekanisme ekstraksi

Dengan memperhatikan dispersi aksial, neraca massa pada badan fase fluida dalam ekstraktor adalah:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial z} = - \frac{1-\epsilon}{\epsilon} \frac{3k_f}{R} [C - C_i(R)] \quad (1)$$

Perubahan konsentrasi fase solid setara dengan kecepatan transfer massa *solute* melalui film eksternal di sekeliling partikel :

$$\frac{D_e}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial C_i}{\partial r} \right) = 0 \quad (2)$$

Diffusi ke bagian luar:

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = \frac{3k_f}{R} [C - C_i(R)] \quad (3)$$

Pada saat *Solute* berada pada inti partikel, nilai rata-rata konsentrasi fase solid \bar{q} :

$$\frac{\bar{q}}{q_0} = \left(\frac{r_c}{R} \right)^3 \quad (4)$$

Kondisi batas diberikan yaitu: pada batas inti, konsentrasi pada fase fluida sama dengan konsentrasi pada kondisi jenuh.

$$C_i = C_{sat} \text{ pada } r = r_c \quad (5)$$

Fluks diffusi pada permukaan luar partikel sama dengan perpindahan massa melalui film eksternal.

$$\left(D_e \frac{\partial C_i}{\partial r} \right)_{r=R} = k_f [C - C_i(R)] \quad (6)$$

Kondisi awal :

$$r_c = R \text{ pada } t = 0 \quad (7)$$

$$C = 0 \text{ pada } t = 0 \quad (8)$$

$$C = 0 \text{ pada } z = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial C}{\partial z} = 0 \text{ pada } z = L \quad (10)$$

Untuk menyusun persamaan tak berdimensi (*dimensionless*) maka digunakan kelompok *dimensionless* sebagai berikut :

$$x = C / C_{sat} ; x_i = C_i / C_{sat} ; \xi = r/R ;$$

$$Z = z / L ; a = v R^2 / D_e L ; \theta = (D_e / R^2) t ;$$

$$y = q / q_0 ; b = C_{sat} / q_0 ; Bi = k_f R / D_e$$

Dengan kelompok *dimensionless* tersebut di atas, maka persamaan 1-3 dapat dibuat menjadi tak berdimensi sebagai berikut :

$$\frac{\partial x}{\partial \theta} + a \frac{\partial x}{\partial Z} = -\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} 3 Bi [x - x_i(1)] \quad (11)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \theta} = 3 Bi b [x - x_i(1)] \quad (12)$$

$$\frac{1}{\xi^2} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\xi^2 \frac{\partial x_i}{\partial \xi} \right) = 0 \quad (13)$$

Kondisi batas dan kondisi awal *dimensionless* adalah

$$x_i = 1 \text{ pada } \xi = \xi_c \quad (14)$$

$$\left(\frac{\partial x_i}{\partial \xi} \right)_{\xi=1} = Bi [x - x_i(1)] \quad (15)$$

$$\bar{y} = \xi_c^3 \quad (16)$$

$$\xi_c = 1 \text{ pada } \theta = 0 \quad (17)$$

$$x = 0 \text{ pada } \theta = 0 \quad (18)$$

$$x = 0 \text{ pada } Z = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial x}{\partial Z} = 0 \text{ pada } Z = 1 \quad (20)$$

Persamaan berikut disusun dengan menyusun ulang persamaan-persamaan menjadi :

$$\frac{\partial x}{\partial \theta} + a \frac{\partial x}{\partial Z} = -\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{3 Bi (x-1)}{1-Bi(1-1/\xi_c)} \quad (21)$$

$$\frac{\partial \xi_c}{\partial \theta} = \frac{b Bi (x-1)}{\xi_c^2 [1-Bi(1-1/\xi_c)]} \quad (22)$$

Yield yang merupakan jumlah kumulatif ekstrak selama waktu θ diberikan sebagai berikut :

$$yield = \frac{\varepsilon a b}{1-\varepsilon} \int_0^\theta x d\theta \quad (23)$$

Dengan memperkenalkan waktu *dimensionless* $\theta^* = \theta - Z/a$, dan melakukan integrasi persamaan 21 sehingga memperoleh :

$$x = 1 - \exp \left[-\frac{1-\varepsilon}{a\varepsilon} \frac{3 Bi Z}{1-Bi(1-1/\xi_c)} \right] \quad (24)$$

Dengan substitusi x ke dalam persamaan 22 dan diintegrasikan sehingga memberikan:

$$\xi_c^3 = 1 - \frac{3b Bi \theta^*}{1-Bi(1-1/\xi_c)} \exp \left[-\frac{1-\varepsilon}{a\varepsilon} \frac{3 Bi Z}{1-Bi(1-1/\xi_c)} \right] \quad (25)$$

Ketika ξ_c diasumsikan konstan selama pengintegrasian dari persamaan 22 dengan persamaan 24, penyelesaian yang sederhana diperoleh yaitu :

$$\theta^* = 1 - \frac{1}{b Bi} \int_1^{\xi_c} \frac{\xi_c^2 [1-Bi(1-1/\xi_c)]}{\exp \left[-\frac{1-\varepsilon}{a\varepsilon} \frac{3 Bi Z}{1-Bi(1-1/\xi_c)} \right]} \quad (26)$$

Untuk memperoleh harga r_c pada setiap waktu ekstraksi, *trial* dan *error* harga a dan Bi pada persamaan (26) dilakukan dengan memasukkan nilai parameter-parameter yang ada. Setelah harga r_c diketahui maka harga r_c tersebut dimasukkan ke dalam persamaan (24) untuk memperoleh harga x pada setiap waktu ekstraksi. Harga x yang diperoleh kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan (23) untuk mengetahui harga yield kumulatif selama waktu ekstraksi berlangsung. Kemudian hasil perhitungan dengan model tersebut dicocokkan dengan hasil percobaan untuk memperoleh harga D_e dan k_f .

Parameter-Parameter untuk Analisa Model

Parameter-parameter percobaan yang digunakan untuk perhitungan model ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter percobaan yang digunakan untuk perhitungan model

Parameter	Harga
Panjang ekstraktor (L)	0.12 m
Luas penampang kolom ekstraktor (A)	4.90625 x 10 ⁻⁴ m ²
Rate aliran CO ₂	130 l/jam
Jari-jari partikel solid (R)	0.00012445 m
Bed voidage (e)	0.748116
Konsentrasi awal fase solid (q ₀)	101,8509 kg/m ³
Kecepatan interstisial (v)	9.84 x 10 ⁻² m/s
Kecepatan superficial (u)	7.36 x 10 ⁻² m/s

Solubility oleoresin temulawak dalam karbon dioksida superkritis (C_{sat}) dihitung menurut perkiraan *solubility* yang disampaikan oleh (Roy dkk, 1996). Hal ini diasumsikan demikian karena tidak ada data tentang *solubility* oleoresin dalam karbon dioksida superkritis. Perkiraan *solubility* yang disampaikan oleh (Roy dkk, 1996) adalah sebagai berikut:

$$C_{sat} = \left[\exp \left(\frac{40.361 - 18708}{T} + \frac{2186840}{T^2} \right) \times (0.001\rho)^{0.724} + 2.7 \right]$$

dimana C_{sat} adalah *solubility* (kg/m³ CO₂), T adalah suhu (K), dan ρ adalah densitas CO₂ (kg.m⁻³).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter yang tidak diketahui adalah diffusivitas efektif intrapartikel (D_e) dan koefisien perpindahan massa eksternal (k_f). Sehingga hasil perhitungan dengan menggunakan *Shrinking Core Model* dicocokkan dengan hasil percobaan, dengan diffusivitas efektif intrapartikel, D_e , dan koefisien perpindahan massa eksternal, k_f sebagai parameter yang dapat diketahui setelah pencocokan.

Diffusivitas efektif intrapartikel, D_e , menggambarkan pengaruh pori-pori terhadap proses difusi ke luar partikel. Hal ini tergantung pada bentuk struktur pori dari suatu bahan. Menurut Schlieper (1995) diffusivitas efektif intrapartikel secara umum tidak mudah diprediksi. Diffusivitas efektif intrapartikel, D_e , dapat dihitung dengan mencocokkan hasil percobaan dengan prediksi model. Sedangkan koefisien perpindahan massa eksternal, k_f , menggambarkan hambatan perpindahan massa *solute* dari permukaan partikel ke bulk fluida.

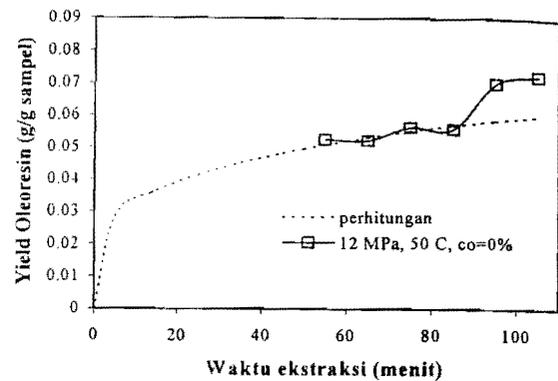
Persamaan-persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan model ini adalah persamaan (21) sampai dengan (26). Penyelesaian model ini dilakukan dengan *trial-error* harga parameter a dan Bi yang bermacam-macam pada persamaan (26) sehingga diperoleh harga r_c . Harga r_c tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan (24) untuk mendapatkan harga x tiap waktu ekstraksi. Selanjutnya harga x yang diperoleh tersebut digunakan untuk mendapatkan harga yield oleoresin hasil perhitungan dengan memasukkan ke dalam persamaan (23). Kemudian grafik yield oleoresin hasil perhitungan dicocokkan dengan yield oleoresin hasil percobaan untuk memperoleh harga D_e dan k_f .

Parameter a dan Bi merupakan parameter *dimensionless* yang penting dalam proses ekstraksi, dimana $a = (v/L)(R^2/D_e)$ dan $Bi = k_f R/D_e$. Dengan mengetahui harga yang tepat untuk a dan Bi maka dua parameter yang berpengaruh dalam perolehan yield oleoresin dari proses ekstraksi menggunakan karbon dioksida superkritis dapat diketahui yaitu diffusivitas efektif intrapartikel, D_e , dan koefisien perpindahan massa eksternal, k_f .

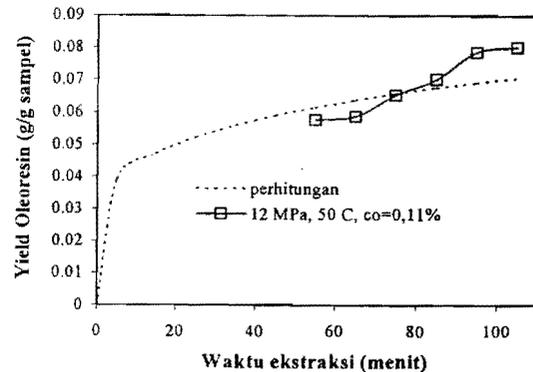
Yield oleoresin hasil perhitungan model untuk proses ekstraksi pada tekanan 12 MPa dan suhu 50°C yang dicocokkan dengan yield oleoresin hasil percobaan pada kondisi yang sama dapat dilihat pada Gambar 2a dan 2b serta Tabel 2 dan 3.

Gambar 2a dan 2b tersebut menunjukkan bahwa yield oleoresin hasil perhitungan model sesuai untuk proses ekstraksi tanpa menggunakan *co-solvent* pada harga $a = 225$ dan $Bi = 17$. Sedangkan yield hasil perhitungan model sesuai untuk proses ekstraksi dengan menggunakan *co-solvent* pada harga $a = 223$ dan $Bi = 23$. Berdasarkan proses pencocokan tersebut diperoleh harga D_e untuk proses ekstraksi tanpa *co-solvent* dan dengan *co-*

solvent pada tekanan 12 MPa dan suhu 50°C berturut-turut adalah $5,6435 \times 10^{-11}$ dan $5,6941 \times 10^{-11}$, sedangkan harga k_f berturut-turut adalah $7,70908 \times 10^{-6}$ dan $1,05235 \times 10^{-5}$.



Gambar 2a. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan terhadap waktu ekstraksi pada 12 MPa, 50°C dan tanpa *co-solvent*



Gambar 2b. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan terhadap waktu ekstraksi pada 12 MPa, 50°C dan dengan *co-solvent*

Harga D_e dan k_f untuk proses ekstraksi dengan *co-solvent* lebih besar daripada harga D_e dan k_f untuk proses ekstraksi tanpa *co-solvent*. Harga D_e yang besar berarti bahwa dengan penambahan *co-solvent* menyebabkan karbon dioksida yang termodifikasi dengan *co-solvent* lebih mudah masuk berdifusi ke bahan solid. Sedangkan harga k_f yang besar menandakan bahwa dengan penambahan *co-solvent* menyebabkan hambatan perpindahan massa *solute* dari permukaan partikel ke bulk fluid lebih rendah daripada tanpa *co-solvent*. Selain itu sifat *solvent* termodifikasi yang lebih polar akan meningkatkan proses pelarutan *solute* dalam solid sehingga mudah berdifusi ke luar partikel menuju bulk fluida.

Besarnya perbandingan jari-jari inti partikel yang belum terekstrak dengan jari-jari awal setelah proses ekstraksi pada tekanan 12 MPa dan suhu 50°C dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan pada tekanan 12 MPa dan suhu 50°C, tanpa *co-solvent*

Waktu ekstraksi (menit)	Yield percobaan (g/g sampel)	Yield perhitungan (g/g sampel)	r_c (m)	r_c/R
55	0,0525	0,0509	$5,69 \times 10^{-5}$	0,4569
65	0,0522	0,0531	$5,27 \times 10^{-5}$	0,4232
75	0,0563	0,0551	$4,91 \times 10^{-5}$	0,3943
85	0,0557	0,0569	$4,59 \times 10^{-5}$	0,3691
95	0,0700	0,0585	$4,32 \times 10^{-5}$	0,3469
105	0,0724	0,0600	$4,07 \times 10^{-5}$	0,3273

r_c = jari-jari inti partikel yang belum terekstrak

Tabel 3. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan pada tekanan 12 MPa dan suhu 50°C, dengan *co-solvent*

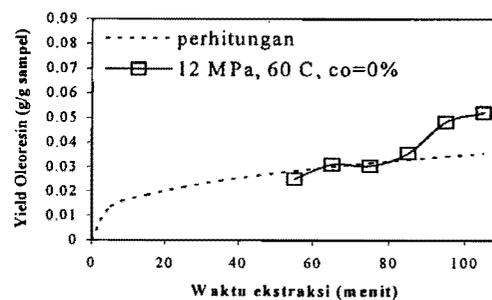
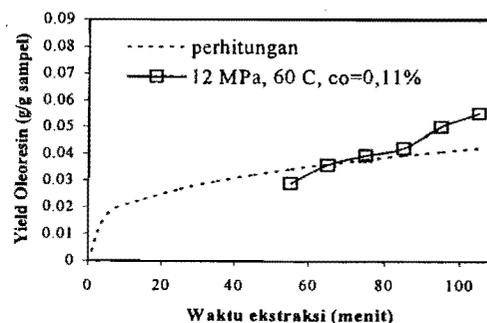
Waktu ekstraksi (menit)	Yield percobaan (g/g sampel)	Yield perhitungan (g/g sampel)	r_c (m)	r_c/R
55	0,0579	0,0617	$5,60 \times 10^{-5}$	0,4500
65	0,0588	0,0639	$5,18 \times 10^{-5}$	0,4165
75	0,0654	0,0659	$4,83 \times 10^{-5}$	0,3878
85	0,0702	0,0676	$4,52 \times 10^{-5}$	0,3629
95	0,0786	0,0693	$4,24 \times 10^{-5}$	0,3410
105	0,0802	0,0707	$4,00 \times 10^{-5}$	0,3216

r_c = jari-jari inti partikel yang belum terekstrak

Berdasarkan Tabel 2 dan 3 terlihat bahwa sampai dengan waktu ekstraksi 105 menit, harga r_c/R pada tekanan 12 MPa dan suhu 50°C menurut perhitungan masih cukup besar. Penyimpangan yang cukup signifikan ditunjukkan oleh yield hasil perhitungan dan hasil percobaan pada waktu ekstraksi 95 dan 105 menit, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2a dan 2b. Penyimpangan tersebut menunjukkan bahwa harga r_c/R hasil percobaan kemungkinan jauh lebih rendah daripada harga r_c/R hasil perhitungan.

Besarnya error dari proses pencocokan data hasil percobaan dengan hasil perhitungan model adalah 11,52% untuk proses ekstraksi pada tekanan 12 MPa, suhu 50°C dan tanpa *co-solvent* (Gambar 2a). Sedangkan untuk proses ekstraksi pada tekanan 12 MPa, suhu 50°C dan dengan *co-solvent*, besar error adalah 8,88% (Gambar 2b).

Yield oleoresin hasil perhitungan model untuk proses ekstraksi pada tekanan 12 MPa dan suhu 60°C yang dicocokkan dengan yield oleoresin hasil percobaan pada kondisi yang sama dapat dilihat pada Gambar 3a dan 3b serta Tabel 4 dan 5.

Gambar 3a. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan terhadap waktu ekstraksi pada 12 MPa, 60°C dan tanpa *co-solvent*Gambar 3b. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan terhadap waktu ekstraksi pada 12 MPa, 60°C dan dengan *co-solvent*

Tabel 4. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan pada tekanan 12 MPa dan suhu 60°C, tanpa *co-solvent*

Waktu ekstraksi (menit)	Yield percobaan (g/g sampel)	Yield perhitungan (g/g sampel)	r_c (m)	r_c/R
55	0,0253	0,0286	$7,80 \times 10^{-5}$	0,6427
65	0,0312	0,0303	$7,66 \times 10^{-5}$	0,6151
75	0,0306	0,0318	$7,35 \times 10^{-5}$	0,5904
85	0,0357	0,0332	$7,07 \times 10^{-5}$	0,5681
95	0,0485	0,0345	$6,82 \times 10^{-5}$	0,5476
105	0,0511	0,0357	$6,58 \times 10^{-5}$	0,5289

r_c = jari-jari inti partikel yang belum terekstrak

Tabel 5. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan pada tekanan 12 MPa dan suhu 60°C, dengan *co-solvent*

Waktu ekstraksi (menit)	Yield percobaan (g/g sampel)	Yield perhitungan (g/g sampel)	r_c (m)	r_c/R
55	0,0290	0,0344	$7,31 \times 10^{-5}$	0,5870
65	0,0360	0,0363	$6,93 \times 10^{-5}$	0,5567
75	0,0395	0,0379	$6,60 \times 10^{-5}$	0,5299
85	0,0422	0,0395	$6,30 \times 10^{-5}$	0,5059
95	0,0502	0,0409	$6,03 \times 10^{-5}$	0,4841
105	0,0554	0,0422	$5,78 \times 10^{-5}$	0,4643

r_c = jari-jari inti partikel yang belum terekstrak

Gambar 3a dan 3b di atas menunjukkan bahwa yield oleoresin hasil perhitungan model sesuai untuk proses ekstraksi tanpa *co-solvent* pada harga $a = 630$ dan $B_i = 22$. Sedangkan yield oleoresin hasil perhitungan model sesuai untuk proses ekstraksi dengan menggunakan *co-solvent* pada harga $a = 450$ dan $B_i = 20$.

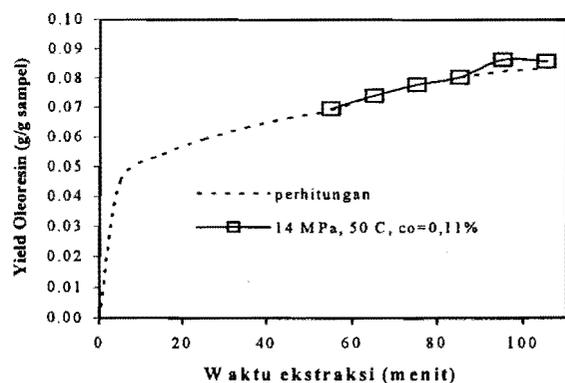
Berdasarkan proses pencocokan tersebut diperoleh harga D_e untuk proses ekstraksi tanpa *co-solvent* dan dengan *co-solvent* berturut-turut adalah $2,01553 \times 10^{-11}$ dan $2,82175 \times 10^{-11}$, sedangkan harga k_f untuk proses ekstraksi tanpa *co-solvent* dan dengan *co-solvent* berturut-turut adalah $3,56302 \times 10^{-6}$ dan $4,53475 \times 10^{-6}$.

Secara umum proses ekstraksi pada tekanan 12 MPa dan suhu 60°C menunjukkan kecenderungan yang sama dengan proses ekstraksi pada tekanan 12 MPa dan suhu 50°C.

Berdasarkan Tabel 4 dan 5 terlihat bahwa harga r_c/R menurut perhitungan masih cukup besar yaitu lebih besar dari 40%. Harga D_e pada tekanan 12 MPa, tanpa penambahan *co-solvent* dan suhu berbeda 50° dan 60°C berturut-turut adalah $5,6435 \times 10^{-11}$ dan $2,0155 \times 10^{-11}$. Harga D_e pada suhu 50°C lebih besar daripada suhu 60°C. Sehingga pada suhu 50°C, *solute* lebih mudah berdiffusi keluar bahan melalui pori-pori daripada pada suhu 60°C. Hal ini karena pada tekanan konstan, kenaikan suhu menyebabkan *solubility* oleoresin dalam karbon dioksida semakin rendah, sehingga yield oleoresin yang diperoleh juga semakin rendah.

Besarnya error dari proses pencocokan data hasil percobaan dengan hasil perhitungan model adalah 23,45% untuk proses ekstraksi pada tekanan 12 MPa, suhu 60°C dan tanpa *co-solvent* (Gambar 3a). Sedangkan untuk proses ekstraksi pada tekanan 12 MPa, suhu 60°C dan dengan *co-solvent*, besar error adalah 16,50% (Gambar 3b).

Pencocokan kurva perhitungan model dengan kurva percobaan untuk proses ekstraksi pada tekanan 14 MPa, suhu 50°C dan dengan *co-solvent* dapat dilihat pada Gambar 4. Sedangkan besarnya jari-jari inti partikel yang belum terekstrak selama 105 menit untuk proses ekstraksi pada kondisi yang sama dapat dilihat Tabel 6.



Gambar 4. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan terhadap waktu ekstraksi pada 14 MPa, 50°C dan dengan *co-solvent*

Tabel 6. Yield oleoresin hasil percobaan dan hasil perhitungan pada tekanan 14 MPa dan suhu 50°C, dengan *co-solvent*

Waktu ekstraksi (menit)	Yield percobaan (g/g sampel)	Yield perhitungan (g/g sampel)	r_c (m)	r_c/R
55	0,0696	0,0691	$5,27 \times 10^{-5}$	0,4239
65	0,0740	0,0740	$4,86 \times 10^{-5}$	0,3904
75	0,0778	0,0778	$4,50 \times 10^{-5}$	0,3618
85	0,0803	0,0803	$4,20 \times 10^{-5}$	0,3372
95	0,0864	0,0823	$3,93 \times 10^{-5}$	0,3157
105	0,0858	0,0834	$3,69 \times 10^{-5}$	0,2968

r_c = jari-jari inti partikel yang belum terekstrak

Gambar 4 di atas menunjukkan bahwa yield oleoresin hasil perhitungan model menunjukkan kesesuaian untuk proses ekstraksi dengan *co-solvent* pada harga $a = 193$ dan $B_i = 23$ dengan nilai error adalah 2,46%. Berdasarkan proses pencocokan tersebut diperoleh harga D_e untuk proses ekstraksi dengan *co-solvent* adalah $6,5792 \times 10^{-11}$, sedangkan harga k_f adalah $1,2159 \times 10^{-5}$.

Berdasarkan Tabel 6 terlihat bahwa harga r_c/R menurut perhitungan tinggal 29,68%. Harga D_e pada tekanan 12 MPa dan 14 MPa, temperatur 50°C, dengan penambahan *co-solvent* berturut-turut adalah $5,6941 \times 10^{-11}$ dan $6,5792 \times 10^{-11}$. Harga D_e pada tekanan 14 MPa lebih besar daripada tekanan 12 MPa. Sehingga pada tekanan 14 MPa, *solute* lebih mudah berdiffusi keluar bahan melalui pori-pori daripada pada tekanan 12 MPa. Hal ini karena pada suhu konstan, kenaikan tekanan menyebabkan *solubility* oleoresin dalam karbon dioksida semakin meningkat, sehingga yield oleoresin yang diperoleh juga semakin tinggi.

Roy (1996) mengatakan bahwa *solute* dalam bagian lebih luar dari partikel solid diekstrak lebih cepat daripada *solute* dalam bagian lebih dalam dari partikel solid pada awal ekstraksi. Hal ini menandakan batasan (*limitation*) difusi/perpindahan massa. Jika waktu ekstraksi meningkat, difusi *solute* dari bagian lebih dalam ke fase bulk lebih sukar karena konsentrasi oleoresin (minyak) fase solid menurun. Oleh karena itu laju ekstraksi me-nurun. Kelakuan ini terlihat jelas pada semua kurva hasil perhitungan model. Pada awal proses ekstraksi terlihat bahwa laju ekstraksi meningkat dengan cepat, setelah itu peningkatan laju ekstraksi sangat lambat bahkan cenderung konstan.

KESIMPULAN

Kurva yield oleoresin hasil perhitungan model menunjukkan kesesuaian dengan kurva yield oleoresin hasil percobaan pada tekanan 14 MPa dan suhu 50 °C dengan waktu ekstraksi 55-105 menit. Sedangkan pada tekanan 12 MPa, kurva yield oleoresin hasil perhitungan model menunjukkan

kesesuaian dengan kurva yield oleoresin hasil percobaan hanya pada waktu ekstraksi 55-85. Pada tekanan 12 MPa dan 14 MPa, suhu 50 °C, dan dengan *co-solvent*, D_e yang diperoleh dari pencocokan kurva percobaan dan kurva perhitungan berturut-turut adalah 1.05235×10^{-11} dan 1.21592×10^{-5} . Sehingga proses ekstraksi pada tekanan 14 MPa, oleoresin lebih mudah berdiffusi keluar bahan melalui pori daripada pada tekanan 12 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Goto, M., B.C. Roy, dan T. Hirose, "Shrinking-Core Leaching Model for Supercritical-Fluid Extraction", *Journal of Supercritical Fluids*, 9, 128-133 (1996)
- Liang, O.B., Y. Widjaja, dan S. Puspa, "Beberapa Aspek Isolasi, Identifikasi, dan Penggunaan Komponen-komponen *Curcuma xanthorrhiza Roxb.* dan *Curcuma dornestica Val.*", Simposium Nasional Temulawak, Lembaga Penelitian Universitas Padjajaran, Bandung (1985)
- Roy, B.C, M. Goto, dan T. Hirose, "Extraction of Ginger Oil with Supercritical Carbon Dioxide: Experiments and Modelling", *J. Chem. Eng. Japan*, 34, 607-612 (1996)
- Schlieper, L., "Measurement And Modelling of Mass Transfer Rates of Extraction of Useful Components from Selected Herbs and Algae Using Supercritical Carbon Dioxide As Solvent", Thesis (1995)
- Subarna, A., dan Sidik, "Peranan dan Khasiat Rempah-Rempah dan Bumbu dalam Makanan/Minuman", *Proceeding Khasiat dan Keamanan Rempah, Bumbu dan Jamu Tradisional*, Bogor (1997)
- Taylor, L.T, "Supercritical Fluid Extraction, Techniques in Analytical Chemistry", Wiley Inter Science (1996)