

Diffusivitas Efektif pada Ekstraksi Padat-Cair Ditinjau dari Variasi Pelarut

Dwi Ardiana Setyawardhani * & Inayati *
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

Abstract : *Solvent-extraction is a kind of series mass-transfer. The initial step is solute diffusion to the solid surface, and the next one is solute diffusion from the surface to the solvent-bulk. The mathematical model was proposed to represent the behavior of the solvent-extraction, to determine the effective-diffusivity coefficient. The aim of this research was to compare the effective-diffusivity coefficient of three kinds of organic solvent. This experiment carried out in a batch process, with an erlenmeyer, heater and magnetic stirrer. It was found that petroleum ether had the largest effective-diffusivity coefficient, compared to acetone and ethanol. The controlling step of diffusion was the solute diffusion from the solid to the surface.*

Keywords : solvent-extraction, effective-diffusivity

Pendahuluan

Ekstraksi / *leaching* merupakan proses yang umum dipakai dalam pengambilan suatu zat dari bahan padat. Proses ini dapat dilakukan secara *batch*, *semi batch* maupun kontinyu.

Aplikasi perancangan alat untuk ekstraksi padat-cair memerlukan data-data tentang koefisien transfer massa dari permukaan padatan ke dalam cairan (k_c) dan koefisien diffusivitas efektif solut dalam padatan (D_e). Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh jenis pelarut terhadap koefisien-koefisien tersebut.

Rimpang jahe dipilih sebagai bahan padat karena mudah diperoleh di pasaran dengan harga murah, memiliki prospek ekspor yang cerah, terutama dalam bentuk jahe olahan (oleoresin).

Pengolahan jahe di Indonesia umumnya masih menggunakan metode tradisional, yakni dengan merebus akar jahe dengan air mendidih. Namun dengan metode yang lebih maju, ekstrak jahe dapat diambil dengan pelarut organik, dan ekstraknya dipisahkan dari pelarut dengan distilasi sehingga pelarut dapat di-*recovery*.

Keberhasilan proses ekstraksi ditentukan oleh perlakuan awal terhadap bahan baku (rimpang jahe) dan kondisi operasi yang dipakai. Dalam hal ini jahe dibentuk slab tipis dengan kondisi operasi dipilih pada titik didih masing-masing pelarut.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh jenis pelarut terhadap koefisien diffusivitas ekstraksi minyak jahe, serta menentukan model

matematis yang sesuai untuk proses ekstraksi minyak jahe dengan pelarut organik.

Dasar Teori

Jahe (*Zingiber Officinale*) merupakan tanaman rempah-rempah yang telah dikenal di Eropa sejak permulaan tahun Masehi. Pusat penghasil jahe dunia adalah Jamaica, Srilangka, Nigeria, India, RRC dan Australia. Di Indonesia, daerah penghasil jahe adalah Jawa Timur. Jahe olahan biasa diperdagangkan dalam bentuk irisan atau serbuk kering, sirup kental (*preserved ginger*), oleoresin dan minyak atsiri (*ginger oil*). Zat-zat yang terkandung dalam minyak jahe yaitu *citral*, *methyl heptenone*, *monylaldehyde*, *delta borneol*, *ester*, *phenol* dan *sesquiterpene alcohol*.

Sebagian besar *ginger oil* diperoleh dengan cara penyulingan dengan rendemen minyak berkisar antara 1 – 3%. Minyak jahe juga digunakan sebagai bahan baku minuman ringan (*ginger ale*), industri penyedap rasa, farmasi serta industri wewangian untuk memberikan suasana oriental pada parfum.

Kualitas minyak jahe yang ditetapkan oleh EOA adalah warna dan

penampilan minyak berupa cairan kuning muda hingga kuning. Berat jenis 0,871-0,882 (pada 25⁰C). Putaran optis – 28⁰ – (-45⁰), refraktif indeks pada 20⁰C berkisar 1,4480-1,4920. Bilangan penyabunan maksimal 20 dan dapat larut dalam alkohol dengan kekeruhan (Harris, 1987).

Transfer Massa dan Difusi Molekuler

Kecepatan proses transfer massa suatu zat dari satu fase ke fase lain tergantung pada koefisien transfer massa dan jarak sistem tersebut dari keadaan setimbang. Transfer massa berhenti bila proses telah mencapai kesetimbangan.

Proses difusi terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi atau beda tekanan dari suatu zat. Difusi molekuler adalah proses perpindahan individu molekul melalui suatu zat karena adanya energi termal dan berlangsung lambat. Proses dapat dipercepat dengan pengadukan secara mekanis atau dengan gerakan konveksi dari cairan. Difusi molekuler juga merupakan mekanisme transfer massa pada fluida diam atau bergerak secara laminar.

Transfer massa secara difusi dapat dinyatakan sesuai hukum dasar untuk fluida, yaitu hukum Fick pertama. Dengan hukum Fick pertama, proses

difusi molekuler zat A pada arah x, dengan D_{AB} adalah koefisien difusivitas (dengan satuan jarak kuadrat per satuan waktu) dapat dituliskan :

$$N_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial x} \quad \dots 1)$$

Untuk difusi dalam padatan, kecepatan difusi suatu zat A per unit luas penampang padatan sebanding dengan gradien konsentrasi, searah dengan arah difusi, sehingga persamaan 1) dapat ditulis dalam bentuk :

$$N_A = -D_e \frac{\partial C_A}{\partial x} \quad \dots 2)$$

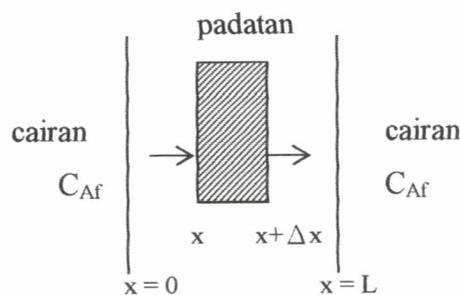
Apabila padatan yang diproses dengan cara ekstraksi tidak dapat diperlakukan seperti fluida, maka proses difusi dalam padatan dilakukan dengan keadaan tak ajeg (*unsteady state*). Untuk keadaan tanpa aliran bahan (kondisi stagnan) dan tanpa reaksi kimia maka berlaku hukum Fick kedua :

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_e \left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) \quad \dots 3)$$

yang berlaku untuk difusi tiga dimensi koordinat kartesian.

Proses ekstraksi dapat dianggap sebagai peristiwa transfer massa berturutan. Minyak jahe mula-mula mendifusi dari dalam padatan ke permukaan padatan, dilanjutkan dengan

transfer massa dari permukaan padatan ke badan cairan (pelarut). Proses berlangsung tidak ajeg dan bersifat molekuler. Analisis dasar peristiwa ini adalah neraca massa minyak jahe dalam padatan. Asumsi-asumsi yang diambil adalah : 1) Slab yang digunakan dianggap mempunyai luas permukaan sangat besar sehingga luas permukaan tepi dapat diabaikan. Oleh karena itu difusi dapat dianggap berlangsung searah, yaitu tegak lurus dengan permukaan bidang transfer massa, serta 2) Pengadukan sangat cepat sehingga konsentrasi di dalam cairan selalu homogen di semua tempat, dan minyak jahe yang ada di permukaan padatan segera ditransfer ke dalam badan cairan.



Gambar 1. Elemen volum slab

Untuk elemen volum setebal Δx dan luas A_s , dapat disusun persamaan neraca massa sebagai berikut :

$$\text{Rate of input} - \text{rate of output} = \text{rate of accumulation} \quad \dots 4)$$

$$N_A|_x A_s - N_A|_{x+\Delta x} A_s = (A_s \Delta x) \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \dots 5)$$

dibagi dengan elemen volum $A_s \cdot \Delta x$:

$$\frac{N_A|_x - N_A|_{x+\Delta x}}{\Delta x} = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \dots 6)$$

Menurut hukum Fick I (persamaan (2)) maka persamaan 6) dapat ditulis :

$$\frac{D_e \frac{\partial C_A}{\partial x}|_{x+\Delta x} - D_e \frac{\partial C_A}{\partial x}|_x}{\Delta x} = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad \dots 7)$$

untuk limit $\Delta x \rightarrow 0$ persamaan 6) menjadi :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial C_A}{\partial x} \right) = \frac{1}{D_e} \left(\frac{\partial C_A}{\partial t} \right) \quad \dots 8)$$

atau :

$$\left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} \right) = \frac{1}{D_e} \left(\frac{\partial C_A}{\partial t} \right) \quad \dots 9)$$

Keadaan batas untuk persamaan 9) :

$$C_A(x,0) = C_{Ain} \quad \dots 10)$$

$$C_A(0,t) = C_{Af} / H \quad \dots 11)$$

$$C_A(L,t) = C_{Af} / H \quad \dots 12)$$

Keadaan batas 11) dan 12) diperoleh dengan asumsi bahwa transfer massa dari permukaan padatan ke cairan berlangsung sangat cepat sehingga solut pada permukaan padatan setimbang dengan kadar solut dalam cairan. Kesetimbangan ini dapat didekati dengan persamaan distribusi (analog dengan hukum Henry untuk gas).

Dengan asumsi yang diambil maka peristiwa ekstraksi minyak jahe dapat dianggap hanya dikontrol oleh

difusi minyak dari dalam padatan ke permukaan padatan.

Untuk penyelesaian PD 9) diperlukan satu persamaan untuk konsentrasi solut dalam cairan (C_{Af}) :

Solut dalam padatan mula-mula + solut dalam cairan mula-mula = solut dalam padatan + solut dalam cairan ... 13)

$$W \cdot C_{A0} + n \cdot S \cdot L \cdot C_{Ain} = W \cdot C_{Af} + n \cdot S \cdot \int_0^L C_A dx \quad \dots 14)$$

Jumlah solut dalam padatan adalah integrasi dari jumlah solut dalam elemen volum. Manipulasi persamaan 14) menghasilkan persamaan 15) :

$$C_{Af} = C_{Af} + \frac{N \cdot S}{W} \left(LC_{Ain} - \int_0^L C_A dx \right) \quad \dots 15)$$

Persamaan-persamaan yang tersusun dapat diselesaikan secara numeris dengan metode *finite difference approximation* cara implisit.

Metode Penelitian

Bahan : rimpang jahe, diiris tipis hingga berbentuk slab setebal 1 mm dengan diameter rata-rata 0,7653 cm. Petroleum eter, aceton dan etanol sebagai pelarut.

Cara kerja :

Pelarut sebanyak 250 mL dan 25 gr slab jahe setebal 1 mm dimasukkan ke dalam erlenmeyer, kemudian alat

dirangkai. Air pendingin dialirkan dan pemanas dihidupkan beserta pengaduknya. Aliran cairan dan padatan dalam erlenmeyer dibuat sangat cepat sehingga konsentrasi minyak jahe di seluruh tempat selalu homogen.

Kondisi operasi diset pada temperatur didih masing-masing pelarut. Pada saat cairan mendidih pertama kali, dianggap waktu tersebut sebagai waktu awal ekstraksi ($t = 0$). Sampel sebanyak 5 mL diambil dari cairan tiap selang 10 menit. Pengambilan sample dihentikan bila konsentrasi minyak jahe dalam cairan sudah konstan.

Setelah diuapkan pelarutnya, sampel dianalisis (untuk mengetahui kadar minyak jahe yang terekstraksi) dengan cara penimbangan. Percobaan yang sama dilakukan untuk ketiga jenis pelarut.

Hasil dan Pembahasan

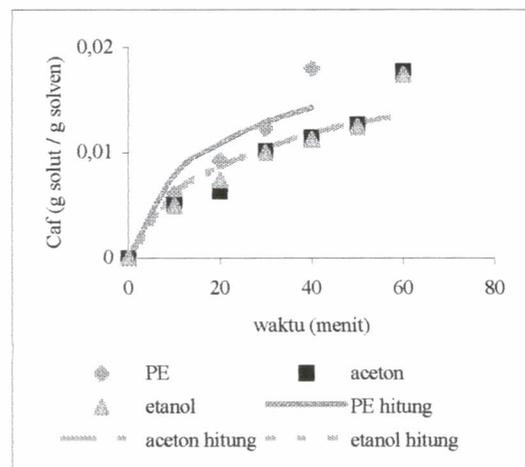
Tabel 1. Sifat fisis pelarut

No	Pelarut	Titik didih (°C)	Densitas (g/mL)
1.	Petrol. eter	56	0,650
2.	Aceton	56,5	0,790
3.	Etanol	78,4	0,804

Konsentrasi solut dalam cairan tiap variasi waktu tertera pada tabel 2.

Tabel 2. Kons. solut dalam pelarut

No	Waktu (menit)	Caf (g solut/g solven)		
		PE	Aceton	Etanol
1.	0	0	0	0
2.	10	0,00615	0,00506	0,00498
3.	20	0,00923	0,00633	0,00746
4.	30	0,01230	0,01010	0,00995
5.	40	0,1800	0,01139	0,01119
6.	50	-	0,01265	0,01240
7.	60	-	0,01770	0,01740



Gambar 2. Grafik kons. solut tiap waktu

Tabel 3. Persentase minyak jahe terekstrak

No	Waktu (menit)	Minyak jahe terekstrak (%)		
		PE	Aceton	Etanol
1.	0	0	0	0
2.	10	37,4730	35,4268	36,1875
3.	20	51,4127	49,6100	50,6512
4.	30	60,7871	59,8954	61,0681
5.	40	67,2834	67,6960	68,8856
6.	50	-	73,6488	74,7830
7.	60	-	78,1955	79,2349

Jumlah minyak jahe yang terekstraksi tiap waktu dapat dilihat pada tabel 3. Terlihat pada menit ke 40 pelarut etanol mampu mengekstrak minyak jahe paling banyak. Meskipun demikian, ternyata petroleum eter memiliki nilai difusivitas efektif yang terbesar dibanding kedua pelarut lain. Ini terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Difusivitas minyak jahe

No	Pelarut	De (cm ² /menit)	Ralat perhit. (%)
1.	PE	$3,1602 \cdot 10^{-5}$	14,42
2.	Aceton	$2,5772 \cdot 10^{-5}$	12,74
3.	Etanol	$2,6907 \cdot 10^{-5}$	10,83

Pada penelitian ini diambil asumsi bahwa transfer massa keseluruhan dikontrol oleh difusi minyak jahe di dalam padatan. Makin besar harga difusivitas efektif (De), maka kemampuan transfer massa dalam padatan makin besar.

Ketiga jenis pelarut yang digunakan mewakili senyawa eter, keton dan alkohol. Dari tabel 4 terlihat bahwa nilai De petroleum eter paling besar, sementara nilai De aceton paling kecil.

Pemilihan model matematis untuk menggambarkan proses ekstraksi minyak jahe telah sesuai dengan kondisi yang berlangsung. Hal ini terlihat pada nilai ralat data percobaan terhadap ralat perhitungan yang kurang dari 15%.

Kesimpulan

Model matematis yang dipilih telah sesuai untuk proses ekstraksi padat-cair, dengan harga difusivitas efektif yang terbesar dicapai pada penggunaan pelarut petroleum eter. Kecepatan transfer massa secara keseluruhan dikontrol oleh difusi minyak jahe dalam padatan.

Daftar lambang

- C_{Ain} : kons. solut dlm cairan mula-mula
 C_{Af} : konsentrasi solut dalam cairan
 D_{AB} : koefisien difusivitas zat A thd.B
 De : difusivitas zat A melalui padatan
 H : koefisien distribusi pd hk. Henry
 L : tebal slab
 N : jumlah slab
 N_A : fluks zat A yang diukur relatif thd bidang/lokasi yang tetap.
 S : luas permukaan slab
 W : berat total slab.

Daftar Pustaka

- Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N., 1976, "Transport Phenomena", John Wiley & Sons, New York.
 Guenter, E., 1987, "Minyak Atsiri", ed.3, UI Press, Jakarta.
 Harris, R., "Tanaman Minyak Atsiri", ed.3, PT Penebar Swadaya, Jakarta.
 Sediawan, W.B dan Prasetya, A.P., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia", Penerbit Andi, Yogyakarta.
 Treybal, R.E., 1984, "Mass Transfer Operation", 3 ed., McGraw-Hill Book Co., Tokyo.