

KOEFISIEN TRANSFER MASSA PADA PENGAMBILAN MINYAK ATSIRI KAYU MANIS SECARA EKSTRAKSI MENGUNAKAN PELARUT N-HEKSAN

Tanjung Wahyu Widayati¹ dan Tutik Muji Setyoningrum²

Jurusan Teknik Kimia FTI UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur Yogyakarta

Abstract

Pada proses ekstraksi dijumpai peristiwa perpindahan (transfer) massa, dimana perbedaan konsentrasi yang semakin besar berpengaruh terhadap proses transfer yang semakin cepat, sehingga diperoleh koefisien transfer massa yang semakin besar pula. Teknologi minyak atsiri berkembang sangat pesat, sehingga dibutuhkan suatu alat ekstraktor yang efisien dan efektif dalam pengoperasiannya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari hubungan antara kecepatan aliran dan tinggi tumpukan padatan terhadap koefisien transfer massa pada ekstraksi padat-cair dalam kolom fixed-bed.

Penelitian ini menggunakan serbuk dengan ukuran $-18 + 30$ mesh dari daun dan ranting kayu manis dengan tinggi tumpukan tertentu yang dimasukkan ke dalam kolom fixed-bed, menggunakan n-Heksan yang dialirkan ke dalam kolom dengan kecepatan alir tertentu. Ukuran butiran kayu manis yang digunakan adalah $18 + 30$ mesh. Kecepatan aliran n-Heksan yang digunakan adalah 2,3829 cm/detik; 2,9197 cm/detik; 3,9932 cm/detik; 4,3957 cm/detik; 4,798 cm/detik. Tinggi tumpukan padatan yang digunakan adalah 5 cm, 6 cm, 7 cm, 8 cm, 9 cm, 10 cm. Berdasarkan perhitungan untuk kecepatan alir n-Heksan 2,3829 cm/detik sampai dengan 4,798 cm/detik, dan tinggi tumpukan dari 5 cm sampai dengan 10 cm, didapat persamaan hubungan antara koefisien transfer massa terhadap kecepatan aliran dan tinggi tumpukan sebagai berikut :

$$[Sh] = 0,0056 [Re]^{2,6356} \left[\frac{L}{dp} \right]^{-0,9982}$$

Pendahuluan

Dalam proses dan operasi Teknik Kimia banyak dijumpai peristiwa transfer massa, dimana dalam peristiwa tersebut satu atau beberapa komponen bergerak di dalam suatu fase atau bergerak dari fase yang satu ke fase yang lain. Salah satu contohnya adalah proses ekstraksi, dimana digunakan pelarut sebagai zat yang membantu proses pemisahan komponen dari padatan. Perbedaan konsentrasi yang semakin besar berpengaruh terhadap proses transfer massa yang semakin cepat, sehingga diperoleh koefisien transfer massa yang semakin besar pula.

Saat ini teknologi atsiri berkembang sangat pesat, sehingga dibutuhkan suatu alat ekstraktor yang efisien dan efektif dalam pengoperasiannya. Dengan diperolehnya koefisien transfer massa tersebut diharapkan dapat digunakan untuk menentukan kapasitas dan ukuran alat dalam perancangan

Kayu manis dipilih sebagai bahan penelitian karena minyak atsiri kayu manis atau yang dikenal dengan nama *Cinnamon Oil*, banyak dimanfaatkan dalam bidang industri untuk bahan pendukung dalam pembuatan obat kumur dan pasta, penyegar bau sabun, deterjen, *lotion*, parfum dan *cream*. Dari informasi tersebut dapat dicermati bahwa kayu manis memiliki nilai guna dan dapat diolah menjadi minyak atsiri sehingga pada proses pemisahan komponen dengan cara ekstraksi, dapat diketahui besarnya koefisien transfer massa yang terjadi.

Tujuan Penelitian

Mencari hubungan koefisien transfer massa pada

proses yang optimum terhadap variabel kecepatan aliran dan variabel tinggi tumpukan padatan.

Tinjauan Pustaka

1. Kayu Manis

Dari banyaknya jenis kayu manis, hanya empat jenis saja yang terkenal dalam perdagangan, yaitu :

a. *Cinnamomum burmanni*

Dalam dunia perdagangan, *C. burmanni* dikenal dengan *cassiavera*, *kaneel cassia* atau *padang kaneel*. Kayu manis ini merupakan tanaman asli Indonesia yang banyak dijumpai di Sumatera Utara, Bengkulu, Pulau Jawa dan Maluku. Komponen utamanya adalah sinamaldehyd yang bersifat agak mudah larut dalam air.

b. *Cinnamomum zeylanicum*

Dalam perdagangan tanaman ini dikenal dengan *ceylon cinnamon*. Pengembangannya di Indonesia dilakukan di Pulau Jawa, walaupun hasilnya kurang maksimal. Setiap bagian tanamannya mengandung minyak atsiri sinamaldehyd dan eugenol.

c. *Cinnamomum cassia*

Dalam dunia perdagangan tanaman ini dinamakan *Chinese cinnamon* atau *Chinese kaneel*. Jenis kayu manis ini dibudidayakan di Kebumen. Karakter *C. cassia* sangat berbeda dengan *C. zeylanicum* maupun *C. burmanni*.

Daun kayu manis Cina atau *cassia* ini mengandung minyak dengan sinamaldehyd sebagai komponen utama sebanyak 80 %.

d. *Cinnamomum cullilawan*

C. cullilawan hanya dikenal di daerah Ambon dan Pulau Seram (Maluku). Dengan nama *salakat* atau *salakar*. Kulit batang dan akar mengandung minyak atsiri, namun minyak atsiri pada akar berbau minyak adas. Kulit batangnya berbau minyak kayu putih yang dalam perdagangan dinamakan kulitlawan atau kullilawan atau lebih dikenal dengan nama minyak lawang yang digunakan sebagai obat gosok.

(Rismunandar dan Farry B.P., 2001)

2. Proses Ekstraksi

a. Ekstraksi adalah proses pemisahan satu atau beberapa bahan suatu padatan atau cairan dengan menggunakan pelarut. Dalam proses ekstraksi, yang bertindak sebagai tenaga pendorong adalah perbedaan konsentrasi, dimana massa berpindah dari sistem yang mempunyai konsentrasi lebih tinggi. Semakin besar perbedaan konsentrasinya, semakin cepat perpindahan massa itu terjadi.

b. Transfer massa atau perpindahan massa adalah gerakan molekul atau elemen fluida yang disebabkan karena adanya suatu gaya pendorong (*driving force*). Gaya pendorong tersebut disebabkan adanya perbedaan konsentrasi. Perpindahan massa terjadi pada proses ekstraksi padat-cair di ekstraktor yang terjadi secara difusi molekuler atau konveksi maupun keduanya.

(Treyball, 1984)

3. Proses Transfer Massa di dalam Ekstraksi

Pada ekstraksi padat-cair, perpindahan massa solute dari dalam padatan ke cairan melalui 2 (dua) tahapan proses, yaitu difusi dari dalam padatan ke permukaan padatan dan perpindahan massa dari permukaan padatan ke cairan.

Persamaan kecepatan perpindahan massa dari permukaan padatan ke cairan dapat didekati dengan persamaan :

$$N_A = Kca \cdot A \cdot \Delta x (Ca^* - Ca) \quad \dots(1)$$

(Brown, 1978)

Pada keadaan kesetimbangan, terdapat hubungan matematis antara kadar solute dalam pelarut dengan kadar solute dalam padatan yang dianalogikan dengan persamaan Henry :

$$Ca^* = H \cdot Xa \quad \dots(2)$$

(Brown, 1978)

Persamaan (2) disubstitusi ke persamaan (1), sehingga didapat :

$$N_A = Kca \cdot A \cdot \Delta x (H \cdot Xa - Ca) \quad \dots(3)$$

Cara yang paling efisien dalam menghasilkan minyak adalah ekstraksi dengan menggunakan pelarut. Proses ekstraksi sangat tergantung pada jenis pelarut yang digunakan, pelarut sebaiknya memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Mempunyai viskositas rendah dan daya pelarutan tinggi,
- b. Tidak korosif dan tidak mudah terbakar,
- c. Tidak bersifat eksplosif bila berkontak dalam udara,

- d. Bersifat selektif, maksudnya pelarut yang baik hanya boleh melarutkan ekstrak yang diinginkan dan bukan komponen-komponen lain dari bahan yang diekstraks,
- e. Stabil secara kimia dan termis,
- f. Mudah didapat dan murah.

(Ketaren, 1987)

Karakteristik pelarut n-Heksan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel I. Karakteristik pelarut n-Heksan

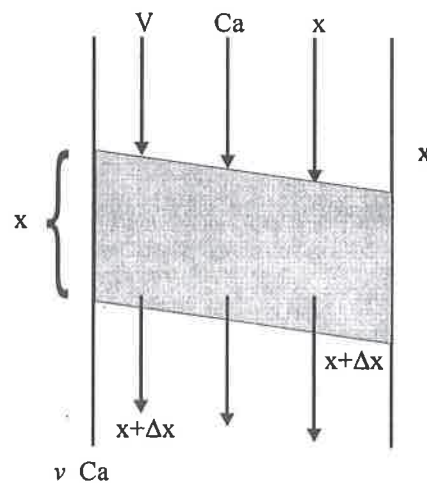
Spesific gravity (25°C)	0,68
Panas Spesifik (Btu/lb°F)	0,358
Panas laten (Btu/lb)	54
Tekanan uap (20°C) mmHg	88
Titik didih (°C)	68,6

(Arthur, 1956)

Landasan Teori

Pada penelitian ini diambil beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Ukuran butiran seragam dan tidak berubah selama proses berlangsung,
2. Konsentrasi bahan terlarut sekitar butir adalah konsentrasi jenuhnya pada temperatur kamar,
3. Pola aliran adalah pola aliran sumbat (plug flow),
4. Rapat massa larutan dianggap tetap,
5. Semakin besar kecepatan aliran maka waktu kontak transfer massa semakin cepat,
6. Semakin tinggi tumpukan maka waktu kontak transfer massa semakin cepat



Gambar 1. Elemen volume dalam kolom

Neraca Massa solut dalam cairan pada keadaan steady untuk elemen volume A. Δx adalah sebagai berikut :
Rate of input Rate of output = Rate of accumulation

$$v \cdot A \cdot Ca|_x - v \cdot A \cdot Ca|_{x+\Delta x} + Kca \cdot A \cdot \Delta x (Ca^* - Ca) = 0 \quad \dots(4)$$

$$v \cdot A \cdot Ca|_x - v \cdot A \cdot Ca|_{x+\Delta x} = -Kca \cdot A \cdot \Delta x (Ca^* - Ca) \quad \dots(5)$$

Dibagi dengan A. Δx, diambil Δx 0

$$v \frac{dCa}{dx} = -Kca(Ca^* - Ca)$$

Persamaan di atas diintegrasikan antara kondisi batas cairan masuk dan keluar untuk:

$X_0 = 0 \rightarrow Ca = 0$
 $X_1 = 1 \rightarrow Ca = Ca^*$

$$\int_{Ca=0}^{Ca=Ca^*} \frac{dCa}{(Ca^* - Ca)} = -\frac{Kca}{v} \int_{x=0}^{x=L} dx$$

$$-\ln(Ca^* - Ca) \Big|_0^{Ca} = -\frac{Kca}{v} \cdot x \Big|_{x=0}^{x=L}$$

$$\ln \left[\frac{Ca^*}{(Ca^* - Ca)} \right] = \frac{Kca}{v} \cdot L \dots\dots\dots(6)$$

Atau dapat ditulis :

$$Kca = \frac{v}{L} \ln \left[\frac{Ca^*}{(Ca^* - Ca)} \right] \dots\dots\dots(7)$$

Analisa Dimensi

Analisis dimensional digunakan untuk merencanakan percobaan serta untuk menginterpretasikan hasilnya dalam bentuk gugus tanpa dimensi dan persamaan-persamaan. Variabel-variabel yang diperkirakan berpengaruh terhadap koefisien transfer massa padat cair pada kolom fixed bed antara lain $v, \rho, dp, Dv, \epsilon, \mu, \phi, L$ sehingga persamaan Kca dapat ditulis sebagai berikut :

$$Kca = f(v, \rho, dp, Dv, \epsilon, \mu, \phi, L) \dots\dots\dots(8)$$

Karena bentuk dan ukuran bahan tetap maka ϕ dan ϵ dianggap tetap selama proses ekstraksi, maka persamaan dapat ditulis :

$$Kca = f(v, \rho, dp, Dv, \mu, L)$$

Persamaan (8) dapat dinyatakan dalam kelompok bilangan tidak berdimensi dengan memakai sistem ML θ , diperoleh: (Hardjono, 1989)

$$\frac{Kca \cdot dp^2}{Dv} =$$

$$k \left[\frac{\rho \cdot Dv}{\mu} \right]^{C4} \left[\frac{L}{dp} \right]^{C6} \left[\frac{\rho \cdot dp \cdot v}{\mu} \right]^{C1} \dots\dots\dots(9)$$

Atau dapat dinyatakan sebagai :

$$Sh = k \cdot Sc^{C4} \cdot \left[\frac{L}{dp} \right]^{C6} \cdot Re^{C1}$$

Dengan bilangan Sherwood mewakili proses perpindahan massa dari padatan ke cairan, bilangan Reynold menyatakan kondisi aliran di kolom. Bilangan Schmidt menyatakan sifat-sifat fisis bahan dan bilangan Schmidt adalah tetap, sehingga persamaan menjadi :

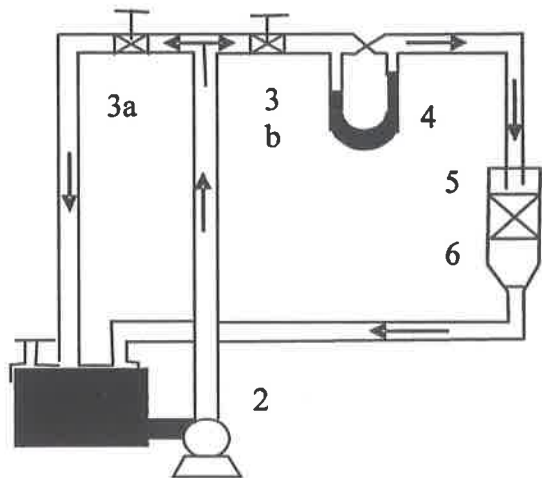
$$Sh = k \cdot \left[\frac{L}{dp} \right]^{C6} \cdot Re^{C1} \dots\dots\dots(10)$$

METODOLOGI

Bahan :

1. Kulit ranting dan daun kayu manis dengan densitas 1,05 gr/ml.
2. Pelarut n-Heksan dengan densitas 0,6597 gr/ml.

Alat Penelitian



Keterangan:

1. Tangki pelarut.
2. Pompa.
3. Kran.
4. Flowmeter.
5. Kolom isian.
6. Saringan.

Gambar 2. Rangkaian Alat Penelitian

Alat pembantu :

Stopwatch, gelas ukur, rangkaian alat sokhlet, spektrometer.

Cara Penelitian

Tahap penelitian meliputi tahap persiapan dan percobaan.

1. Tahap persiapan

Tahap persiapan meliputi :

- a. Penyiapan bahan baku
Kulit ranting dan daun kayu manis dikeringkan, setelah kering dihancurkan kemudian diayak menggunakan saringan ukuran -18+30 mesh.
- b. Menentukan kondisi proses yang optimum
Untuk menentukan kondisi proses digunakan alat ekstraksi standar sokhlet, sehingga didapatkan kondisi proses yang optimum sebanyak 8 cycle.(lampiran)
- c. Pembuatan kurva standar,
Kurva standar dibuat dengan menggunakan alat ekstraksi standar sokhlet pada kondisi proses yang optimum 8 cycle, kemudian sample diambil untuk didistilasi, sehingga didapat larutan minyak yang selanjutnya dianalisis dengan menggunakan spektrometri dan didapat nilai absorbansinya.
- d. Peneraan flowmeter.
Peneraan flowmeter dilakukan dengan cara mencatat perbedaan tekanan yang terjadi pada flowmeter selama 30 detik

2. Tahap penelitian

Tahap percobaan dilakukan sesuai pada rangkaian alat penelitian. Variabel yang digunakan adalah pengaruh kecepatan aliran (v) dan tinggi tumpukan (L) terhadap besarnya koefisien transfer massa.

a. Pengaruh kecepatan aliran ditentukan dengan cara mengubah-ubah kecepatan aliran pada rangkaian alat (gambar 2) dengan memvariasikan bukaan kran, sedangkan waktu, tinggi tumpukan dan diameter partikel adalah sama. Bahan padatan dimasukkan ke dalam kolom dan perbedaan tekanan pada flowmeter dicatat, kemudian ekstraksi dilakukan sebanyak 8 cycle. Hasil ekstraksi pada tangki pelarut diambil lalu dianalisa dengan spektrometer untuk setiap perbedaan tekanan.

b. Pengaruh tinggi tumpukan ditentukan dengan cara mengubah-ubah tinggi tumpukan. Bahan padatan dimasukkan ke dalam kolom dengan tinggi yang berbeda-beda dan mencatat perbedaan tekanan flowmeter yang terjadi, sedangkan waktu, diameter partikel, dan laju alir adalah sama, dimana laju alir yang digunakan adalah laju alir yang optimum. Kemudian diekstraksi selama 8 cycle. Hasil ekstraksi pada tangki pelarut diambil lalu dianalisa dengan spektrometer untuk setiap tinggi tumpukan tertentu..

Langkah Perhitungan

a. Variasi kecepatan aliran (v)

Untuk percobaan ini dilakukan dengan cara mevariasikan kecepatan aliran dimana variable yang lain dibuat tetap, sehingga akan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{Kca.dp^2}{Dv} = k \left[\frac{\rho.v.dp}{\mu} \right]^{C_1} \left[\frac{L}{dp} \right]^{C_6}$$

$$\ln \frac{Kca.dp^2}{Dv} = \ln k + C_1 \ln \left[\frac{\rho.v.dp}{\mu} \right] + C_6 \ln \left[\frac{L}{dp} \right]$$

$$\ln (Sh) = \left[\ln k + C_6 \ln \left(\frac{L}{dp} \right) \right] + C_1 \ln (Re) \quad (11)$$

$$Y = a + b.X$$

Dengan pendekatan persamaan garis lurus, dapat diperoleh nilai a dan b. Nilai a diasumsi mewakili nilai

$$\left[\ln k + C_6 \ln \left(\frac{L}{dp} \right) \right]$$

dan nilai b diasumsi

mewakili nilai C1. Sehingga diperoleh nilai C1 yang selanjutnya digunakan untuk perhitungan pada variasi tinggi tumpukan padatan.

b. Variasi tinggi tumpukan padatan (L)

Untuk percobaan ini dilakukan dengan cara mevariasikan tinggi tumpukan dimana variabel yang lain dibuat tetap, sehingga akan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{Kca.dp^2}{Dv} = k \left[\frac{\rho.v.dp}{\mu} \right]^{C_1} \left[\frac{L}{dp} \right]^{C_6}$$

$$\ln \frac{Kca.dp^2}{Dv} = \ln k + C_1 \ln \left[\frac{\rho.v.dp}{\mu} \right] + C_6 \ln \left[\frac{L}{dp} \right]$$

$$\ln (Sh) = \left[\ln k + C_1 \ln (Re) \right] + C_6 \ln \left[\frac{L}{dp} \right] \quad (12)$$

$$Y = m + nX$$

Dengan pendekatan persamaan garis lurus, dapat diperoleh nilai m dan n. Nilai m diasumsi mewakili nilai $[\ln k + C_1 \ln(Re)]$ dan nilai n diasumsi

mewakili nilai C6, sehingga diperoleh nilai C6 yang optimum. Seharusnya perolehan C6 yang optimum ini, dikembalikan ke persamaan (12) untuk mendapatkan nilai C1 yang optimum sesuai dengan kondisi proses optimum yang dilakukan. Akan tetapi, hal itu tidak peneliti lakukan, sehingga pada penelitian ini hanya diperoleh nilai C6 pada kondisi proses yang optimum, tetapi tidak untuk nilai C1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi kecepatan aliran (v)

Pengaruh kecepatan aliran terhadap koefisien transfer massa pada kolom fixed-bed terlihat pada persamaan berikut :

$$\frac{Kca.dp^2}{Dv} = k \left[\frac{\rho.v.dp}{\mu} \right]^{C_1} \left[\frac{L}{dp} \right]^{C_6}$$

$$\ln \frac{Kca.dp^2}{Dv} = \ln k + C_1 \ln \left[\frac{\rho.v.dp}{\mu} \right] + C_6 \ln \left[\frac{L}{dp} \right]$$

$$\ln (Sh) = \left[\ln k + C_6 \ln \left(\frac{L}{dp} \right) \right] + C_1 \ln (Re)$$

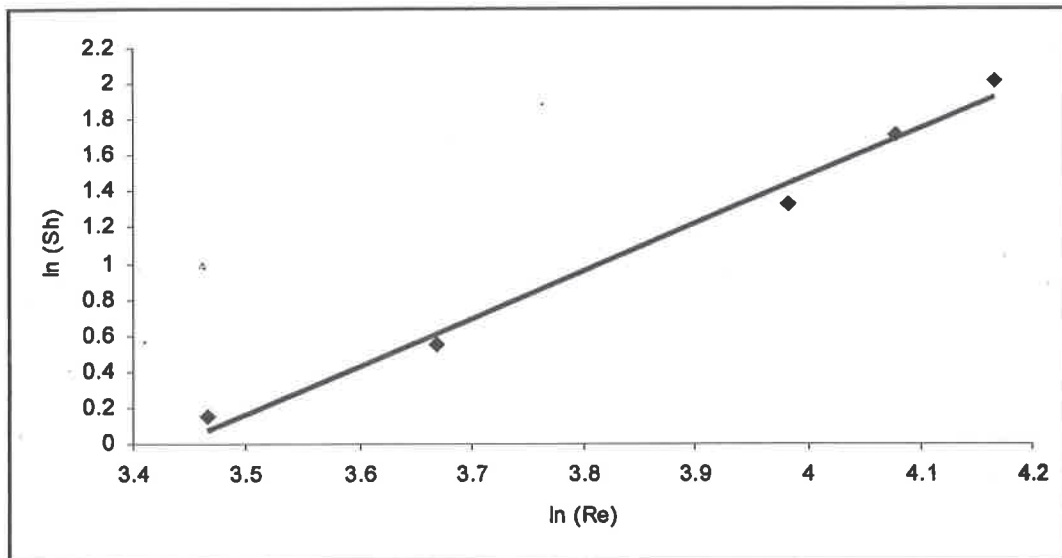
Data variabel yang dibuat tetap :

Difusivitas molekuler (Dv) = 0,0021 cm²/dk
 Diameter partikel (dp) = - 18 + 30 mesh
 Tinggi tumpukan (L) = 8 cm

Tabel II. Variasi kecepatan aliran

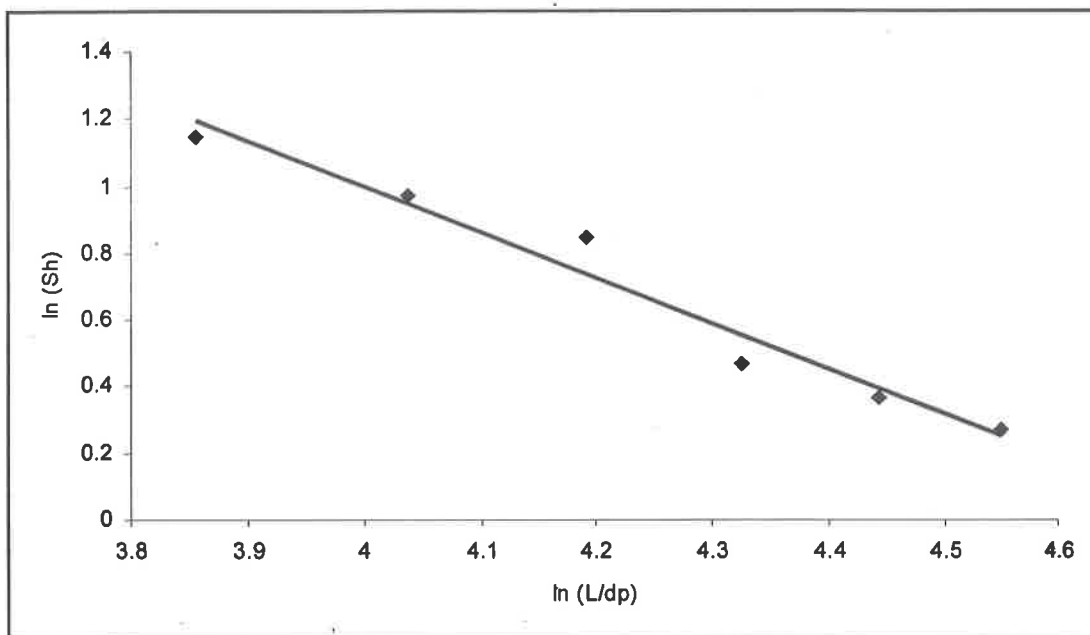
No. (Sh)	v (cm/dtk)	Kca (1/dtk)	ln (Re)	ln (Sh)
1.	2,3829	0,2181	3,4656	0,1510
2.	2,9197	0,3264	3,6687	0,5544
3.	3,9932	0,7075	3,9818	1,3281
4.	4,3957	1,0397	4,0779	1,7130
5.	4,7980	1,3983	4,1655	2,0093

Dari data diatas kemudian dibuat grafik hubungan antara bilangan Reynold dan Sherwood



Gambar 3. Hubungan antara ln (Re) dan ln (Sh)

Dari data diatas kemudian dibuat grafik hubungan antara tinggi tumpukan padatan dengan bilangan Sherwood



Gambar 4. Hubungan antara ln (Sh) dengan ln (L/dp)

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai ln (Re) maka semakin besar pula nilai ln (Sh), dan dapat dinyatakan juga bahwa semakin besar kecepatan aliran maka harga koefisien transfer massa semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar kecepatan aliran maka waktu kontak transfer massa semakin cepat. Dengan metode *least square*, didapatkan nilai $k = 0,0025$ dan $C_1 = 2,6358$.

Variabel Tinggi Tumpukan (L)

Pengaruh tinggi tumpukan terhadap koefisien transfer massa pada kolom *fixed-bed* terlihat pada persamaan berikut:

$$\ln \frac{Kca \cdot dp^2}{Dv} = \ln k + C_1 \ln \left[\frac{\rho \cdot v \cdot dp}{\mu} \right] + C_6 \ln \left[\frac{L}{dp} \right]$$

$$\ln (Sh) = \left[\ln k + C_1 \ln (Re) \right] + C_6 \ln \left[\frac{L}{dp} \right]$$

Data variabel yang dibuat tetap:

Divisivitas molekuler (Dv)	= 0,0021 cm ² /dtk
Kecepatan aliran (v)	= 4,1781 cm/dtk
Diameter partikel (dp)	= - 18 + 30 mesh

Tabel III. Variasi tinggi tumpukan

No.	L (cm)	Kca (1/dtk)	ln (L/dp)	ln (Sh)
1.	5	0,4015	3,8553	0,7608
2.	6	0,3554	4,0376	0,6388
3.	7	0,3232	4,1918	0,5438
4.	8	0,2369	4,3253	0,2322
5.	9	0,2219	4,4431	0,1677
6.	10	0,2165	4,5485	0,1432

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai ln (L/dp) maka semakin besar nilai ln (Sh), dan dapat dinyatakan juga bahwa semakin kecil tinggi tumpukan padatan maka harga koefisien transfer massa semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin kecil tinggi tumpukan maka waktu kontak transfer massa semakin cepat sehingga koefisien transfer massa semakin besar. Dengan metode *least square*, didapatkan nilai C_0 optimum = -0,9982.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Koefisien transfer massa akan semakin besar dengan kenaikan kecepatan aliran pelarut dan koefisien transfer massa akan semakin besar dengan semakin kecilnya tinggi tumpukan.
2. Hubungan antara koefisien transfer massa dengan kecepatan aliran dan tinggi tumpukan serta variabel lainnya yang berpengaruh dalam persamaan kelompok tak berdimensi dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$[Sh] = 0,0056 [Re]^{2,6356} \left[\frac{L}{dp} \right]^{-0,9982}$$

Persamaan tersebut berlaku untuk kecepatan aliran 2,3829 cm/detik sampai dengan 4,798 cm/detik, dan tinggi tumpukan dari 5 cm sampai dengan 10 cm. Dari grafik hubungan antara kecepatan aliran terhadap koefisien transfer massa diperoleh ralat rata-rata sebesar 14,05 %, sedangkan untuk hubungan antara tinggi tumpukan terhadap koefisien transfer massa diperoleh ralat rata-rata sebesar 19,28 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Indira Sari dan Mega P.S. yang telah membantu pengambilan data.

DAFTAR LAMBANG

- A = luas penampang kolom, cm^2
- Ca = konsentrasi minyak dalam larutan, $gr(minyak)/gr(pelarut\ bebas\ minyak)$
- Ca* = konsentrasi minyak dalam larutan yang ada dalam kesetimbangan dalam konsentrasi minyak dalam bahan, $gr(minyak)/gr(pelarut\ bebas\ minyak)$
- Xa = kadar minyak, $gr(minyak)/gr(daun\ bebas\ minyak)$
- Xao = kadar minyak mula-mula, $gr(minyak)/gr(daun\ bebas\ minyak)$
- dp = diameter partikel, cm
- Dv = koefisien difusivitas molekuler, cm^2/dtk
- H = tetapan Henry
- Kca = koefisien transfer massa, $1/dtk$
- L = tinggi tumpukan padatan, cm
- m = berat bahan kayu manis, $gram$
- M_B = molekul berat pelarut, gr/mol
- N_A = kecepatan perpindahan massa,
- T = suhu absolut, K
- t = waktu, dtk
- V_A = volume molar minyak atsiri kayu manis, $cm^3/gmol$
- Δh = perbedaan tinggi pada flowmeter, cm
- ρ = densitas larutan, gr/cm^3
- v = kecepatan aliran, cm/dtk
- μ = viskositas larutan, $gr/cm.dtk$
- φ = porositas
- ε = faktor bentuk butiran
- Φ_B = parameter asosiasi pelarut

DAFTAR PUSTAKA

Bird, R.B., 1960, "Transport Phenomena", p.p. 515-516, John Wiley and Sons Inc., New York

Brown, G.G., 1978, "Unit Operation", p.p. 510-540, Charles E. Turtle Co., Tokyo

Hardjono, 1989, "Operasi Teknik Kimia II", p.p. 12-66, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta

Ketaren, S., 1987, "Minyak Atsiri", jilid I dan IV B, ed. 1, Universitas Indonesia, Jakarta

Rismunandar, Paimin B. Farry, 2001, "Kayu Manis Budi Daya dan Pengolahan", ed. revisi, PT Penebar Swadaya, Jakarta

Treyball, R.E., 1984, "Mass Transfer Operations", p.p 21-55, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York