

PENGARUH LAJU ALIR PELARUT DAN TINGGI TUMPUKAN BAHAN TERHADAP NILAI KOEFISIEN TRANSFER MASSA VOLUMETRIS ($k_{c,a}$) PADA PROSES EKSTRAKSI SODA KI DARI ABU KLOTOK RANDU

Wusana Agung Wibowo*, Hangga Ruky Warmiaji, Kiki Wijaya
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A, Surakarta 57126 Telp/fax: 0271-632112

*Email: wusana_son@yahoo.com

Abstract : Kapok (*Ceiba pentandra*) will generate cotton fiber, cotton seed, leather cotton, fruit shell and wood. Fruit shell contains 20%-25%w of potassium. Ash residue from burned shell contain 50.78% K_2CO_3 , 26.27% Na_2CO_3 , and 4.37% NaOH. Hence, it has the potential to be a source of carbonates. Liquid product obtained from water extraction of ash is then named as Soda Ki, that can be used as an addition material in production of cake and noodle. The aim of this study was to generate an empirical equation connecting the value of the volumetric mass transfer coefficient ($k_{c,a}$) with solvent (water) flow rate and bed height of ash. Extraction process was based on semi-batch process. For a certain time (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes) samples were taken for analysis of carbonates concentration. Datas were then used to find the value of $k_{c,a}$. The generated empirical equation is as follow:

$$k_{c,a} = 24831 \times 10^{-5} \left(\frac{\rho \cdot dt \cdot v}{\mu} \right)^{1.0505} \left(\frac{z}{dt} \right)^{1.8262}$$

This equation is valid for Reynolds number from 9,290 to 14,010 with 3.89% average errors. At high Reynolds number, the use of the equation will give less accurate result.

Keywords : *Ceiba pentandra* fruit shell ash, extraction, Soda Ki, volumetric mass transfer coeff.

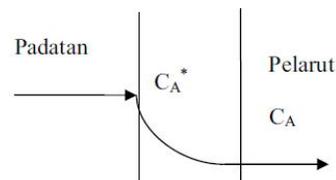
PENDAHULUAN

Tanaman kapuk/randu (*Ceiba Pentandra*) akan menghasilkan serat kapuk, biji kapuk, bukil kapuk, kulit kapuk, ati kapuk dan batang/kayu. Kulit buah kapuk mengandung kalium total sebesar 20%-25%. Maka dengan beberapa kandungan senyawa alkali yang terkandung dalam kulit buah randu, diharapkan kulit buah randu dapat diubah menjadi suatu produk yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan luas. Soda Ki merupakan ekstrak hasil pembakaran kulit randu yang mengandung 50,78% K_2CO_3 , 26,27% Na_2CO_3 , dan 4,37% NaOH. Pada pembuatan Soda Ki terdapat beberapa tahap penting untuk menghasilkan produk yang optimal. Tahapan-tahapan tersebut antara lain ekstraksi, evaporasi, dan kristalisasi.

Untuk peristiwa ekstraksi nilai $k_{c,a}$ dipengaruhi oleh jenis pelarut, kecepatan pelarut, porositas, diameter partikel, dan diameter alat. Untuk dapat digunakan dalam perancangan, maka perlu dikaji dengan hubungan antara $k_{c,a}$ dengan variabel-variabel tersebut di atas.

LANDASAN TEORI

Pada proses pengambilan soda ki dari fase padat, ada beberapa tahap, tahap pertama yaitu difusi *solute* dari dalam padatan ke permukaan padatan, tahap kedua adalah kesetimbangan fase, dan tahap ketiga adalah perpindahan massa dari permukaan padatan ke pelarut. Proses perpindahan tersebut disajikan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Transfer massa antara fase padat dan cair

Perpindahan massa dari permukaan padatan arah aksial dalam cairan berlangsung dengan dua mekanisme, yaitu dibawa aliran dan difusi aksial. Kecepatan difusi aksial didekati dengan persamaan :

$$N_A = -D_{AB} \cdot A \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} \quad (1)$$

Perpindahan massa dari permukaan padatan ke cairan ditunjukkan oleh persamaan (Brown, 1987) :

$$N_A = K_c \cdot a \cdot A \cdot \Delta z \cdot (C_A^* - C_A) \quad (2)$$

Nilai C_A^* menyatakan konsentrasi pada kondisi setimbang pada operasi isothermal yang didekati dengan persamaan mirip hukum Henry (Sediawan, 1997):

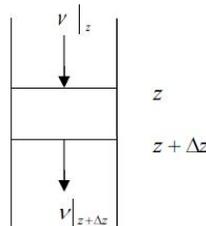
$$C_A^* = H \cdot X_A \quad (3)$$

Dari persamaan (2) dan (3) didapatkan :

$$N_A = K_c \cdot a \cdot A \cdot \Delta z \cdot (H \cdot X_A - C_A) \quad (4)$$

Koefisien perpindahan massa dari padatan ke cairan dihitung dengan menggunakan pendekatan model matematis. Dalam penyusunan model matematis diambil beberapa asumsi, diantaranya ukuran butiran seragam dan tidak berubah selama proses berlangsung, pola aliran adalah aliran sumbat, rapat massa aliran dianggap tetap dan proses berlangsung secara *isothermal*

Persamaan-persamaan untuk proses yang berkaitan dengan ekstraksi padat cair didekati dengan peninjauan elemen setebal Δz , seperti tersaji dalam Gambar 2.



Gambar 2. Elemen volum padatan dalam kolom

Neraca massa soda ki pada pelarut air untuk elemen volume setebal Δz dapat dituliskan :
Rate of input – Rate of output = Rate of accumulation

$$-D_e A \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_z + v A C_A \Big|_z - \left[-D_e A \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_{z+\Delta z} + v A C_A \Big|_{z+\Delta z} \right] + k_c a \cdot A \cdot \Delta z \cdot (1-\varepsilon) (C_A^* - C_A) = A \cdot \Delta z \cdot \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (5)$$

Difusi diabaikan, sehingga menjadi :

$$v A C_A \Big|_z - [v A C_A \Big|_{z+\Delta z}] + k_c a \cdot A \cdot \Delta z \cdot (1-\varepsilon) (C_A^* - C_A) = A \cdot \Delta z \cdot \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (6)$$

Dibagi dengan $A \cdot \Delta z$:

$$\frac{v(C_A|_z - C_A|_{z+\Delta z})}{\Delta z} + k_c a (1-\varepsilon) (C_A^* - C_A) = \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (7)$$

$$-v \frac{\partial C_A}{\partial z} + k_c a (1-\varepsilon) (C_A^* - C_A) = \varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (8)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{k_c a}{v} (1-\varepsilon) (C_A^* - C_A) = -\varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (9)$$

Neraca massa soda ki pada butiran abu klotok randu untuk elemen volum setebal Δz dapat dituliskan :

Rate of input – rate of output = rate of accumulation

$$0 - k_c a \cdot A \cdot \Delta z \cdot (1-\varepsilon) = A \cdot \Delta z \cdot \rho_B (1-\varepsilon) \frac{\Delta X_A}{\Delta t} \quad (10)$$

Limit $t \rightarrow 0$

$$\frac{\partial X_A}{\partial t} = -\frac{k_c a}{\rho_B} (C_A^* - C_A) \quad (11)$$

Jadi, persamaan diferensial untuk ekstraksi soda ki:

$$\frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{k_c a}{v} (1-\varepsilon) (C_A^* - C_A) = -\varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (12)$$

$$\frac{\partial X_A}{\partial z} = -\frac{k_c a}{\rho_B} (H \cdot X_A - C_A) \quad (13)$$

dengan $C_A^* = H \cdot X_A$, maka persamaan (13) menjadi :

$$\frac{\partial X_A}{\partial z} = -\frac{k_c a}{\rho_B} (H \cdot X_A - C_A) \quad (14)$$

Variabel-variabel yang mempengaruhi koefisien transfer massa ($k_c a$) padat cair dalam kolom bahan isian yaitu densitas pelarut (ρ), viskositas pelarut (μ), diameter tabung bahan isian (dt), tinggi tumpukan bahan isian (z) dan kecepatan aliran pelarut (v). Untuk memperoleh persamaan dari hasil percobaan, dapat digunakan analisis dimensi dengan metode Buckingham berikut :

$$K_c a = f[(\rho), (\mu), (dt), (z), (v)] \quad (15)$$

Dengan analisis dimensi diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$k_c a = k \left(\frac{\mu}{\rho dt} \right) \left(\frac{\rho dt v}{\mu} \right)^{0.2} \left(\frac{z}{dt} \right)^{0.3} \quad (16)$$

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah abu hasil pembakaran kulit kapuk randu dan pelarut air. Abu hasil pembakaran kulit kapuk randu dengan berat dan ukuran tertentu dimasukkan dalam kolom, pelarut air dimasukkan dengan kecepatan bervariasi (14,01; 13,31; 12,10; 10,91 dan 9,29 mL/s) pada tinggi tumpukan yang tetap (20 cm). Setelah waktu tertentu (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit) sampel diambil untuk dianalisis. Percobaan diulangi lagi untuk peubah tinggi tumpukan (20, 25, 30 dan 35 cm) dengan kecepatan aliran pelarut yang tetap (14,01 mL/s). data konsentrasi yang diperoleh digunakan untuk mencari nilai $k_c a$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Soda Ki sebagai fungsi kecepatan alir pelarut pada berbagai waktu pada tinggi tumpukan abu 20 cm (berat 1.620 gram) dengan ukuran partikel abu -8 + 16 mesh disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan antara kecepatan aliran pelarut dengan konsentrasi Soda Ki (C_A)

Kec (mL/s)	Konsentrasi (gr/mL) pada tiap waktu (menit)							
	5	10	15	20	30	40	50	60
14,01	0,0318	0,0290	0,0276	0,0180	0,0166	0,0111	0,0111	0,0097
13,31	0,0346	0,0318	0,0304	0,0263	0,0249	0,0193	0,0180	0,0124
12,10	0,0401	0,0373	0,0332	0,0290	0,0263	0,0235	0,0207	0,0193
10,91	0,0428	0,0387	0,0359	0,0318	0,0276	0,0249	0,0235	0,0207
9,29	0,0456	0,0415	0,0387	0,0346	0,0318	0,0290	0,0249	0,0235

Dari Tabel 1 terlihat bahwa pada kecepatan aliran yang sama, semakin lama waktu pengambilan sampel ekstraksi, semakin kecil konsentrasi soda ki yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu pengambilan sampel semakin kecil kadar soda ki yang tertinggal dalam butiran sehingga menyebabkan konsentrasi lebih kecil.

Sedangkan kenaikan konsentrasi pada variasi kecepatan aliran yang menurun disebabkan karena jumlah pelarut yang semakin sedikit membuat konsentrasi soda ki dalam pelarut meningkat. Massa pelarut yang dialirkan semakin sedikit, akibatnya massa *solute* per volume *solvent* menjadi lebih besar.

Data-data konsentrasi tersebut selanjutnya diolah untuk menghasilkan nilai $k_c a$ menggunakan program matlab. Variasi nilai $k_c a$ yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variasi nilai $k_c a$ terhadap perbedaan kecepatan aliran pelarut pada tinggi tumpukan 20 cm

v (cm/s)	$k_c a$ (1/s)
14,01	2,15
13,31	1,75
12,10	1,75
10,91	1,55
9,29	1,35

Hubungan antara tinggi tumpukan abadi dalam kolom dengan konsentrasi soda ki pada kecepatan alir pelarut 14,01 cm/s dengan diameter ukuran partikel abu -8 + 16 mesh disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan antara tinggi tumpukan dengan konsentrasi Soda Ki (C_A)

h (cm)	m (gr)	Konsentrasi (gr/mL) pada tiap waktu (menit)							
		5	10	15	20	30	40	50	60
20	1620	0,0318	0,0290	0,0290	0,0180	0,0166	0,0111	0,0111	0,0097
25	2025	0,0373	0,0346	0,0332	0,0290	0,0221	0,0180	0,0166	0,0138
30	2430	0,0415	0,0401	0,0387	0,0346	0,0304	0,0276	0,0235	0,0193
35	2835	0,0470	0,0442	0,0442	0,0387	0,0359	0,0318	0,0276	0,0249

Dari Tabel 3 terlihat bahwa pada tinggi tumpukan yang sama, semakin lama waktu pengambilan sampel ekstraksi, semakin kecil konsentrasi soda ki yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu pengambilan sampel semakin kecil kadar soda ki yang tertinggal dalam butiran sehingga menyebabkan konsentrasi lebih kecil.

Sedangkan kenaikan konsentrasi pada variasi tinggi tumpukan yang meningkat disebabkan karena jumlah *solute* yang terkandung dalam bahan semakin banyak, akibatnya massa *solute* per volume *solvent* menjadi lebih besar. Data-data konsentrasi tersebut selanjutnya diolah untuk menghasilkan nilai $k_c a$ menggunakan program matlab. Variasi nilai $k_c a$ yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Variasi nilai $k_c a$ terhadap perbedaan tinggi tumpukan abu pada kecepatan pelarut 14,01 mL/s

Tinggi tumpukan (cm)	$k_c a$ (1/s)
20	2,15
25	3,35
30	4,15
35	5,75

Pengaruh tinggi tumpukan dan kecepatan alir pelarut terhadap konstanta transfer massa pada tumpukan terlihat pada persamaan (16). Dari hasil perhitungan dengan metode inversi matriks menggunakan program komputer matlab diperoleh nilai-nilai konstanta k , c_2 , dan c_3 . Sehingga persamaan umum hubungan antara $k_c a$ dengan variabel-variabel proses diperoleh sebagai berikut :

$$k_c a = 2,4831 \times 10^{-5} \left(\frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} \right)^{1,0505} \left(\frac{z}{d \cdot t} \right)^{1,8563} \quad (17)$$

Dengan menggunakan persamaan umum koefisien transfer massa volumetris ($k_c a$) di atas dapat dihitung harga $k_c a$ dengan memasukkan variabel-variabel penelitian. Hasil $k_c a$ yang diperoleh dari persamaan tersebut dibandingkan dengan $k_c a$ data yang terdapat pada Tabel 2

dan Tabel 4. Perbandingan seluruh $k_c a$ data dengan $k_c a$ hasil perhitungan serta persentase kesalahannya (*error*) disajikan pada Tabel 5.

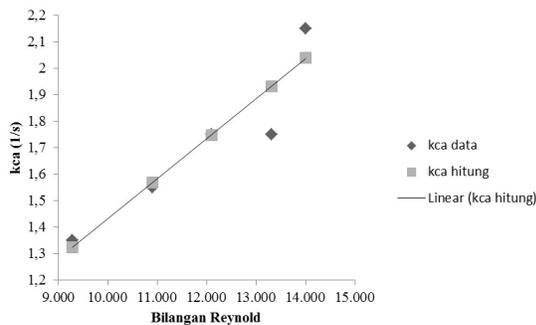
Untuk perbandingan $k_c a$ data dengan $k_c a$ hasil perhitungan pada tinggi tumpukan yang tetap disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 3

Tabel 5. Perbandingan $k_c a$ data dengan $k_c a$ hasil perhitungan

v (mL/s)	Re	z/dt	$k_c a$ data (1/s)	$k_c a$ hitung (1/s)	Error (%)
14,01	14.010	2,0	2,15	2,0400	5,12
14,01	14.010	2,5	3,35	3,0869	7,85
14,01	14.010	3,0	4,15	4,3302	4,34
14,01	14.010	2,0	5,75	5,7648	0,26
13,31	13.310	2,0	1,75	1,9331	10,46
12,10	12.100	2,0	1,75	1,7489	0,06
10,91	10.910	2,0	1,55	1,5687	1,20
9,29	9.290	2,0	1,35	1,3249	1,86

Tabel 6. Perbandingan $k_c a$ data dengan $k_c a$ hasil perhitungan pada tinggi tumpukan tetap

v (mL/s)	Re	z/dt	$k_c a$ data (1/s)	$k_c a$ hitung (1/s)	Error (%)
14,01	14.010	2,0	2,15	2,0400	5,12
13,31	13.310	2,0	1,75	1,9331	10,46
12,10	12.100	2,0	1,75	1,7489	0,06
10,91	10.910	2,0	1,55	1,5687	1,20
9,29	9.290	2,0	1,35	1,3249	1,86



Gambar 3. Perbandingan $k_c a$ data dengan $k_c a$ hitung pada tinggi tumpukan tetap

Dari tabel dan gambar di atas dapat diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan persamaan pada bilangan Reynold yang tinggi akan memberikan hasil yang kurang akurat.

KESIMPULAN

Koefisien transfer massa akan semakin besar dengan kenaikan ketinggian bahan isian dan penurunan kecepatan aliran pelarut. Hubungan antara koefisien transfer massa ($k_c a$) dengan kecepatan aliran dan tinggi tumpukan

serta variabel lainnya yang berpengaruh dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$k_c a = 2,4831 \times 10^{-5} \left(\frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} \right)^{1,0505} \left(\frac{z}{d \cdot t} \right)^{1,8563}$$

Persamaan tersebut berlaku untuk bilangan Reynold $\left(\frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} \right)$ dari 9.290 sampai 14.010 dan tinggi tumpukan 20 cm sampai 35 cm. Kesalahan rata-rata yang didapatkan adalah 3,89%. Pada bilangan Reynold yang tinggi, penggunaan persamaan tersebut memberikan hasil yang kurang akurat.

DAFTAR LAMBANG

- A = Luas penampang kolom, cm^2
- C_{A^*} = Konsentrasi soda ki dalam larutan
- C_A = Konsentrasi soda ki dalam keseimbangan, g/cm^3
- H = Konstanta Henry
- $k_c a$ = Koefisien perpindahan massa volumetris, 1/detik
- z = Tinggi tumpukan, cm
- M = Berat Butiran, g
- M_B = Berat molekul pelarut, g/mol
- N_A = Laju alir massa (g/detik)
- T = Suhu, $^\circ\text{C}$

V = Waktu, detik
 X_A = Kadar soda ki dalam abu randu, %
 X_{A0} = Kadar soda ki mula-mula, %
P = Densitas, g/cm³
 ε = Porositas
 μ = Viskositas, (g/cm.s)
Dt = Diameter tabung/kolom, cm

DAFTAR PUSTAKA

- Brown G.G., 1978, "Unit Operations", 4th ed., Modern Asia Edition, Tuttle Co, Tokyo
- Hendinik, B., dan Yuliani, F., 2011, "Pembuatan Soda Kie dari Abu Kulit Buah Randu", Laporan Penelitian Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
- Oesman, M., 1973, "Kapok (*Ceiba pentandra* Gertn)", Lembaga Penelitian Tanaman Industri Cabang Daerah II
- Perdana, F. K dan Hakim, I, 2008, "Pembuatan Sabun Cair dari Minyak Jarak dan Soda Q sebagai Upaya Meningkatkan Pangsa Pasar Soda Q", Laporan Penelitian Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Sediawan, W.B., dan Prasetya, A., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia dengan Pemrograman Bahasa Basic dan Fortran", edisi I, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta
- Treybal, R.E., 1981, "Mass Transfer Operation", Mc Graw Hill, Singapore
- Vogel, 1979, "A Text Book of Macro and Semimicro Qualitative Analysis", page : 308, Longman Group Limited, London