

ANALISA TRANSFER MASSA DISERTAI REAKSI KIMIA PADA ABSORPSI CO₂ DENGAN LARUTAN POTASIMUM KARBONAT DALAM PACKED COLUMN

Ali Altway, Kusnaryo, Radya Purna Wijaya
Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri ITS
Email: alimohad@chem-eng.its.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari proses perpindahan massa pada absorpsi CO₂ dalam packed column untuk reaksi reversible pada kondisi non isothermal. Penelitian dilaksanakan secara eksperimen dan simulasi. Penelitian secara eksperimen dilaksanakan untuk validasi hasil simulasi. Bahan yang digunakan adalah campuran CO₂ dan udara serta larutan potasium karbonat. Larutan potasium karbonat dialirkan kedalam packed column dari atas dan dikontakkan secara berlawanan arah dengan aliran campuran CO₂-udara dari bawah. Cairan keluar kolom dianalisa dengan titrasi. Sedangkan percobaan simulasi dilaksanakan dengan mengembangkan model neraca massa dan energy mikroskopik pada kolom. Solusi model ini memerlukan informasi mengenai laju transfer massa antar fasa gas-liquid yang dalam hal ini menggunakan model film. Data kelarutan CO₂, data perpindahan massa, data kinetika dan kesetimbangan reaksi yang diperlukan pada penelitian ini diperoleh dari literatur (Danckwertz, 1970; Kohl and Riesenfeld, 1985; Perry and Chilton, 1973; Treyball, 1981).

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh laju alir absorben dan konsentrasi K₂CO₃ dalam larutan absorben masuk terhadap persen penyisihan gas CO₂. Deviasi antara hasil prediksi simulasi dan data percobaan pada penelitian ini dibawah 10% untuk laju alir absorben dari 3 sampai dengan 5 liter/menit dan untuk laju alir 5 sampai dengan 7 liter menit deviasi nya antara 10-30%.

Kata kunci: perpindahan massa, absorpsi, non-isothermal, packed column

Abstract

The aim of this research is to study mass transfer in CO₂ absorptions a packed column for non isothermal reversible reactions. The study was developed experimental and simulation co₂ with air and potassium carbonate solution is the matter used in this research.

The arrangement counter current packed column to which a CO₂ – air mixture flow is feed from the bottom and potassium carbon from the top of column.

The work of simulation developed with microscopic mass and energy balance in column.

The effect of flow absorbent and K₂CO₃ concentration is study do to percent CO₂ removal. The results is; in range flow 3-5 l/mm have 10 % diviasi and range flow : 5-7 l/mnt was have deviasi in range 10-30 %

Key words : mass transfer, absorption, non-isothermal, packed column

Pendahuluan

Fenomena absorpsi gas disertai reaksi kimia seringkali dijumpai didalam industri. Dalam hal ini suatu gas diserap oleh absorbent dengan mana gas yang terlarut bereaksi. Tujuan dari penerapan fenomena ini di industri adalah untuk menghilangkan suatu komponen dari campuran gas atau untuk menghasilkan suatu produk reaksi. Desulfurisasi gas menggunakan proses Koppers, absorpsi CO₂ didalam larutan potasium karbonat panas adalah beberapa contoh dari proses ini. Improvisasi dan efisiensi proses absorpsi selalu diminati untuk diteliti. Proses ini secara umum dipelajari dalam media air atau larutan alkali atau larutan buffer karbonat/bikarbonat (Sanyal dkk, 1988; Linek and Vaclav,1990; Xu dkk,1992;Xu dkk,1993)

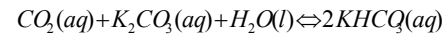
Salah satu aplikasi dalam industri Petrokimia adalah penyerapan CO₂ atau menghilangkan CO₂ dari raw synthesis gas sebagai hasil reaksi dengan larutan benfield. Gas CO₂ yang terkandung dalam raw synthesis gas adalah racun terhadap katalis untuk sintesa ammonia, oleh sebab itu sebelum raw synthesis gas dialirkan ke unit sintesa ammonia, CO₂ harus dipisahkan.

Sebagian besar penelitian-penelitian terdahulu tentang absorpsi gas disertai reaksi kimia berdasarkan pada asumsi kondisi isothermal (Astarita, 1963; Huang and Kuo, 1965;Danckwertz, 1970; Glasscock and Rochell,1993; Altway dkk, 1995; Altway dan Yuyun, 1999; Huang dan Kuo, 1965; Savitri dkk, 2001) walaupun pada kondisi sebenarnya reaksi gas-liquid yang penting dalam industri disertai dengan efek panas yang besar. Efek panas ini disebabkan oleh panas reaksi dan panas pelarutan dan menimbulkan kenaikan suhu yang berdampak pada dua hal yang berlawanan. Kenaikan suhu akan menaikkan kecepatan reaksi dan difusi namun menurunkan kelarutan gas dalam liquid. Secara keseluruhan, kenaikan suhu akan menyebabkan kenaikan atau penurunan laju absorpsi tergantung pada besar relatif dari pengaruh kenaikan suhu terhadap konstanta kecepatan reaksi, diffusivitas dan kelarutan gas dalam liquid dimana faktor faktor tersebut tercakup dalam enhancement factor pada kondisi non-isothermal. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menentukan enhancement factor untuk absorpsi disertai reaksi irreversible dan reversible dalam kondisi non-isothermal (Al-Ubaidi dkk, 1990, Vas Bhat, 1997; Bhattacharyya dkk,1997; Effendi dan Ikhlas, 2000;Yunita dkk, 2008). Walaupun demikian belum banyak penelitian yang

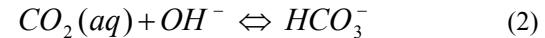
mengimplementasikan teori absorpsi disertai reaksi kimia dalam kondisi non-isothermal ini untuk memprediksi kinerja packed column untuk operasi ini. Tujuan penelitian ini untuk mempelajari secara teoritis kinerja packed column untuk absorpsi gas CO₂ kedalam larutan K₂CO₃ dengan memperhitungkan efek panas reaksi dan panas pelarutan.

Dasar Teori

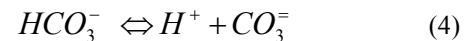
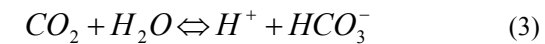
Absorpsi adalah proses perpindahan massa dari fasa gas ke fasa cair dimana gas tersebut dapat larut dalam fasa cair nya. Absorpsi akan terjadi jika campuran gas dikontakkan dengan liquid yang kemudian satu atau lebih komponen gas akan diserap oleh liquid. Selain absorpsi secara fisik, absorpsi disertai reaksi telah banyak dikembangkan. Keuntungan absorpsi dengan reaksi adalah meningkatkan laju transfer massanya yang dinyatakan dengan faktor peningkatan (enhancement factor). Salah satu contoh absorpsi disertai kimia yang diaplikasikan didalam industri adalah absorpsi CO₂ kedalam larutan potasium karbonat dengan reaksi stoichiometri sebagai berikut,



Reaksi yang menentukan kecepatan reaksi adalah:



Didalam larutan juga terjadi reaksi-reaksi kesetimbangan berikut,



Konstanta kesetimbangan untuk reaksi (3) dan (4) pada suhu 20⁰C berturut-turut adalah K₁=4.16 x 10⁻⁷ gion/liter dan K₂=4.2 x 10⁻¹¹ g ion/liter. Konsentrasi ion OH⁻ didalam larutan dapat diperoleh sebagai berikut,

$$[OH^-] = \frac{K_w [CO_3^{2-}]}{K_2 [HCO_3^-]} \quad (5)$$

Dimana K_w adalah konstanta air yang nilainya pada suhu 20⁰C adalah 0.68 x 10⁻¹⁴ (g ion/liter)². Reaksi yang menentukan kecepatan reaksi adalah reaksi yang ditunjukkan pada persamaan (2) dan dapat dibuktikan bahwa konstanta kesetimbangan untuk reaksi ini adalah K = K₁ / K_w. Sehingga laju reaksi netto untuk reaksi ini ditunjukkan berikut ini,

$$r = k_{OH} \left\{ [CO_2][OH^-] - \frac{K_w [HCO_3^-]}{K_1} \right\} \quad (6)$$

Dari persamaan (5) dan (6) diperoleh,

$$r = \frac{k_{OH} K_w}{K_2 [HCO_3^-]} \left\{ [CO_2] [CO_3^{2-}] - \frac{K_2 [HCO_3^-]}{K_1} \right\} \quad (7)$$

Laju absorpsi gas disertai reaksi kimia pada umumnya diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh reaksi menggunakan faktor peningkatan E , yaitu,

$$R = E k_L (C_{Ai} - C_{Ab}) \quad (8)$$

dimana C_{Ai} adalah konsentrasi gas dalam fasa liquid pada interface yang dianggap terjadi kesetimbangan gas-liquid. C_{Ab} diestimasi dengan menggunakan hukum Henry yang dimodifikasi akibat adanya ion-ion elektrolit dalam larutan (Danckwertz, 1970). Sedang k_L adalah koefisien transfer massa sisi liquid. Estimasi harga E didasarkan pada asumsi model perpindahan massa antarfasa untuk absorpsi gas kedalam liquid bergolak yang pada dasarnya meliputi penyelesaian persamaan diffusi yang berlaku. Untuk kondisi isothermal pengembangan model untuk estimasi harga E telah banyak diuraikan di literatur (Danckwertz, 1970; Astarita, G., 1967; Brian dkk, 1961, Hikita dan Asai, 1964). Pengembangan model matematik untuk estimasi harga E dalam kondisi non-isothermal baru dilakukan orang pada sekitar tahun 1990. Dalam hal ini persamaan yang berlaku adalah persamaan diffusi dan persamaan energy pada lapisan batas pada fasa liquid disekitar interface. Bila tahanan sisi gas tidak signifikan, maka tekanan parsial gas A pada interface P_{Ai} sama dengan tekanan parsial

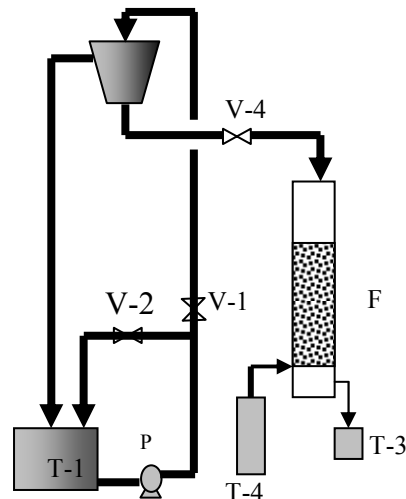
gas A didalam badan gas P_A , namun bila tahanan sisi gas tak dapat diabaikan, maka P_{Ai} diperoleh dari P_A dari persamaan berikut,

$$\bar{R} a = k_G a (P_A - P_{Ai}) \quad (9)$$

Terdapat banyak tipe peralatan untuk absorpsi gas disertai reaksi kimia. Untuk proses yang dikendalikan oleh perpindahan massa (regim reaksi cepat), tipe peralatan yang cocok adalah packed column. Pemodelan absorpsi disertai reaksi kimia didalam packed column pada kondisi non-isothermal dapat dikembangkan dengan membuat neraca bahan komponen A dan B dalam fasa liquid, neraca bahan komponen A dalam fasa gas, serta neraca energi untuk fasa gas dan liquid pada elemen kolom setebal dz.

Metode

Penelitian dilakukan secara simulasi dan eksperimen. Penelitian eksperimen dilakukan untuk validasi hasil prediksi simulasi. Penelitian eksperimen dilakukan dengan sistem peralatan yang ditunjukkan pada Gambar-1. Kolom yang digunakan adalah berdiameter 10 cm, dan diisi packing Raschig ring 1cm setinggi 1.75 m. Campuran CO₂ dan udara dialirkan dari bawah dan dikontakkan dengan aliran larutan 1.5 M K₂CO₃ yang mengalir dari atas. Terjadi penyerapan CO₂ disertai reaksi didalam larutan. Cairan keluar dianalisa untuk menentukan kadar K₂CO₃ sisa dan KHCO₃ dengan cara titrasi. Aliran gas masuk terdiri dari CO₂ dengan laju 10 liter/menit, dan udara dengan laju 42 liter/menit. Laju alir larutan K₂CO₃ divariasikan 3, 4, 5, 6, dan 7 liter/menit.



Gambar-1, Skema peralatan percobaan

Untuk penelitian simulasi dikembangkan model absorpsi CO₂ kedalam larutan K₂CO₃ didalam packed column. Model ini terdiri dari dua bagian yaitu neraca mikroskopik dalam packed column dan model perpindahan massa antar massa untuk prediksi laju absorpsi. Model kinetika reaksi yang digunakan adalah ditunjukkan pada persamaan (7) dimana parameter-parameternya diperoleh dari Danckwertz (1970).

Model neraca mikroskopik dalam packed column meliputi neraca massa komponen A (CO₂), B (K₂CO₃), dan P (KHCO₃) sistem liquid, neraca massa komponen A sistem gas, serta neraca energi sistem gas dan liquid masing-masing pada elemen kolom setebal dz.

$$\frac{dx_{Ab}}{d\xi} = \left(\begin{array}{l} E_{non} * NTG * R * slope(j)(x_A^* - x_{Ab}) \\ -\varepsilon_L * \psi * NTG * R * (He/P) \left(x_{Ab} x_{Bb} - \frac{x_{Pb}}{K} \right) \end{array} \right) \quad (10)$$

$$\frac{dx_{Bb}}{d\xi} = \left(-\varepsilon_L * \psi * NTG * R * (He/P) \left(x_{Ab} x_{Bb} - \frac{x_{Pb}}{K} \right) \right) \quad (11)$$

$$\frac{dx_{Pb}}{d\xi} = \left(\varepsilon_L * \psi * NTG * R * (He/P) \left(x_{Ab} x_{Bb} - \frac{x_{Pb}}{K} \right) \right) \quad (12)$$

$$\frac{dy_{Ab}}{d\xi} = \gamma * NTG * (H_e / P_i) (y_{Ab} - y_A^*) \quad (13)$$

$$\frac{dT_L}{d\xi} = -R \left(\sigma_L * (T_G - T_L) + \psi * NTG * (H_e / P_i) * \omega * \left(x_{Ab} x_{Bb} - \frac{x_{Pb}}{K} \right) \right) \quad (14)$$

$$\frac{dT_G}{d\xi} = \sigma_G (T_G - T_L) \quad (15)$$

Dimana,

$$\sigma_G = \frac{h a_v \lambda}{(G/S) C_{PG}} \quad (16)$$

$$\xi = \frac{z}{\lambda}; dz = \lambda d\xi \quad (17)$$

$$\sigma_L = \frac{h a_v \lambda}{G C_{PL}}; R = \frac{G}{L}; \psi = \frac{k_2 C^2}{k_x a_v}; NTG = \frac{k_x a_v \lambda}{(G/S)(He/P_i)}; \omega = \frac{\Delta H_R}{C_{PL}} \quad (18)$$

Sistim persamaan differensial (10) sampai dengan (15) diselesaikan secara numerik menggunakan metoda Runge Kutta order empat untuk mendapatkan profil konsentrasi A,B, dan P dalam fasa liquid, profil mole fraksi A dalam fasa gas, serta profil suhu gas dan liquid didalam kolom. Dari hasil prediksi ini maka persen recovery CO₂ diperoleh dari persamaan (19),

$$\% \text{Re}c = \frac{y_{Ain} - y_{Aout}}{y_{Ain}} \times 100\% \quad (19)$$

Laju absorpsi atau faktor enhancement E_{non} yang terdapat pada persamaan diatas diprediksi dengan mengembangkan model perpindahan massa antar fasa yang dalam hal ini digunakan model film dengan asumsi tebal film perpindahan massa sama dengan tebal film perpindahan panas ($\delta_H = \delta_M$). Dalam hal ini persamaan yang berlaku adalah persamaan diffusi non-isotermal untuk komponen A, B, dan P dan juga persamaan energi pada film stagnan disekitar interface dan ditunjukkan pada persamaan (20) sampai dengan (23) mengikuti pendekatan yang dilakukan oleh Al-Ubaidi dkk

(1990) namun dimodifikasi untuk reaksi reversible. Pada pendekatan ini pengaruh suhu terhadap koefisien diffusi dan kelarutan mengikuti hubungan yang serupa dengan persamaan Arrhenius.

$$\frac{\varepsilon_{DA}}{(1+\theta)^2} e^{\varepsilon_{DA} \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \frac{d\theta}{dX} \frac{dA}{dX} + e^{\varepsilon_{DA} \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \frac{d^2 A}{dX^2} - Me^{\varepsilon_A \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \left[AB - \frac{P}{K C_{Aib}} \right] = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\varepsilon_{DB}}{(1+\theta)^2} e^{\varepsilon_{DB} \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \frac{d\theta}{dX} \frac{dB}{dX} + e^{\varepsilon_{DB} \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \frac{d^2 B}{dX^2} - MS_R e^{\varepsilon_B \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \left[AB - \frac{P}{K C_{Aib}} \right] = 0 \quad (21)$$

$$\frac{\varepsilon_{DP}}{(1+\theta)^2} e^{\varepsilon_{DP} \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \frac{d\theta}{dX} \frac{dP}{dX} + e^{\varepsilon_{DP} \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \frac{d^2 P}{dX^2} + 2MS_R T_R e^{\varepsilon_P \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \left[AB - \frac{P}{K C_{Aib}} \right] = 0 \quad (22)$$

$$\frac{d^2 \theta}{dX^2} + \beta_R Me^{\varepsilon_R \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \left(AB - \frac{P}{K C_{Aib}} \right) = 0 \quad (23)$$

Kondisi batas untuk sistim persamaan-persamaan ini dinyatakan sebagai berikut,

Pada $x = 0$ (bidang batas antara film gas dengan fim liquid)

$$C_A = C_{Ai}, \quad A = \frac{C_{Ai}}{C_{Aib}} = \frac{C_{Aib}}{C_{Aib}} e^{\varepsilon_A \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} = e^{\varepsilon_A \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)}$$

$$\frac{dB}{dx} = 0, \quad \frac{dP}{dx} = 0$$

karena B dan P tidak volatil

$$\beta_S e^{\varepsilon_{DA} \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \frac{dA}{dx} = \frac{d\theta}{dx}$$

Pada $x = 1$ (bidang batas antara film liquid dengan badan liquid)

$$A = A_e, \quad B = 1, \quad P = \frac{C_{Pb}}{C_{Bb}}$$

$$\theta = 0 \quad (\text{dengan anggapan } \delta_H = \delta_M)$$

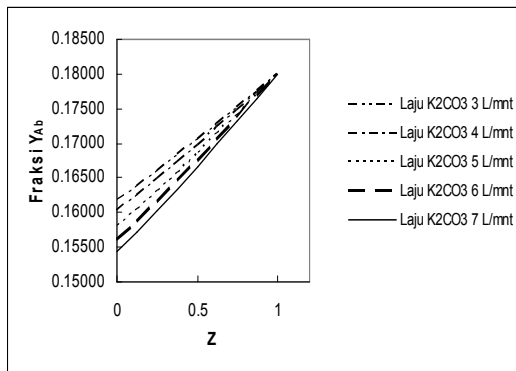
Sistim persamaan diatas diselesaikan secara numerik menggunakan metoda kolokasi ortogonal untuk memperoleh profil konsentrasi A,B, dan P dan juga profil suhu didalam film. Selanjutnya E_{non} diperoleh dari persamaan (24)

$$E_{non} = \frac{D_{Ai} e^{\varepsilon_{DA} \left(\frac{\theta}{1+\theta} \right)} \frac{dC_A}{dx}}{k_L C_{Aib}} \quad (24)$$

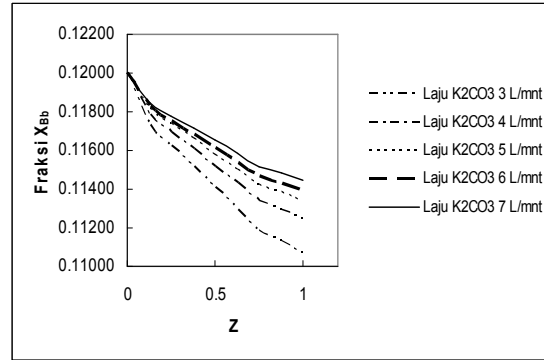
Untuk penelitian simulasi, konsentrasi larutan K₂CO₃ divariasasi 1 M dan 1.5 M, laju alir larutan K₂CO₃ divariasasi 3, 4, 5, 6 dan 7 liter/menit, sedang campuran gas masuk kolom terdiri dari CO₂ dengan laju 10 liter/menit dan udara dengan laju 42 liter/menit.

Hasil dan Pembahasan

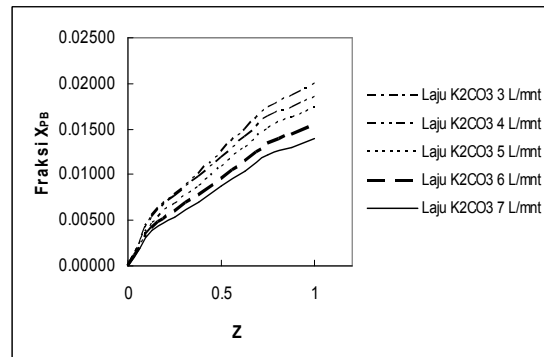
Hasil prediksi simulasi dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar-2 sampai dengan Gambar-4 yang berturut-turut memperlihatkan profil mole fraksi CO_2 dalam fasa gas, serta profil mole fraksi K_2CO_3 dan KHCO_3 dalam fasa cair. Gambar-gambar ini menunjukkan bahwa menaikkan laju alir absorben dari 3 sampai 7 liter/menit masuk meningkatkan kinerja kolom untuk menyerap gas CO_2 . Hasil prediksi simulasi juga dinyatakan sebagai pengaruh laju alir larutan K_2CO_3 dan konsentrasi K_2CO_3 terhadap persen recovery CO_2 yang ditunjukkan pada Gambar-5 dan Gambar-6. Pada Gambar-5, parameter R menyatakan rasio molar laju alir gas terhadap laju alir liquid. Nilai R yang lebih kecil menunjukkan laju alir absorben yang lebih besar. Terlihat bahwa, menaikkan laju alir absorben sebesar dua kalinya dapat menaikkan % recovery CO_2 sebesar sekitar 35% nya. Menaikkan laju alir absorben dapat menaikkan koefisien transfer massa sisi liquid atau menurunkan tahanan transfer massa sisi liquid akibat kenaikan turbulensi aliran liquid. Menaikkan laju alir absorben juga akan menurunkan konsentrasi CO_2 dalam badan liquid dan akibatnya akan memperbesar driving force untuk transfer massa. Kedua dampak ini akan memperbesar laju transfer massa atau laju absorpsi gas CO_2 kedalam liquid.



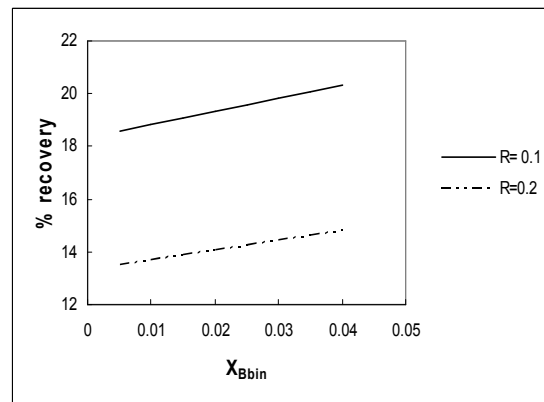
Gambar-2, Profil mole fraksi CO_2 dalam fasa gas pada packed column



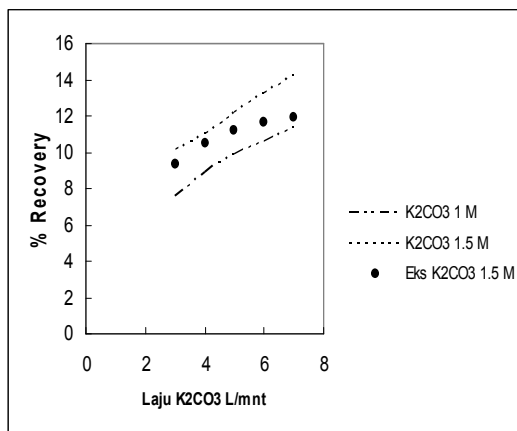
Gambar-3, Profil mole fraksi K_2CO_3 dalam fasa cair pada packed column



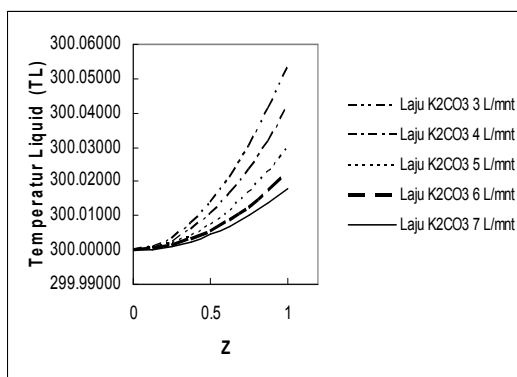
Gambar-4, Profil mole fraksi KHCO_3 dalam fasa cair pada packed column



Gambar-5, Pengaruh X_{Bbin} dan R terhadap % recovery



Gambar-6, Perbandingan hasil prediksi simulasi dan data eksperimen



Gambar-7 Profil suhu liquid didalam kolom

Hasil prediksi simulasi pada penelitian ini dibandingkan dengan data eksperimen yang ditunjukkan pada Gambar-6. Terlihat bahwa hasil prediksi cukup dekat dengan data eksperimen untuk laju alir absorben yang kecil. Namun untuk laju alir absorben yang makin besar, deviasi antara hasil prediksi simulasi dan data eksperimen makin besar. Data eksperimen menunjukkan bahwa menaikkan laju alir absorben dari 3 sampai 6 liter/menit akan menyebabkan persen recovery CO₂ yang makin besar namun kenaikan laju alir lebih dari 6 liter/menit tak menyebabkan kenaikan persen recovery CO₂ yang berarti. Tak demikian halnya dengan hasil prediksi simulasi, kenaikan laju alir absorben dari 3 sampai dengan 7 liter/menit menyebabkan kenaikan persen recovery CO₂ yang cukup berarti. Deviasi antara hasil prediksi dan data eksperimen lebih kecil dari 10% untuk laju alir absorben dibawah 5 liter/menit, sedang untuk laju alir absorben antara 5 sampai dengan 7 liter/menit deviasinya antara 10-30%. Salah satu penyebab deviasi ini disebabkan karena

dalam simulasi ini belum diperhitungkan perubahan pola alir cairan didalam kolom dengan perubahan laju alir absorben.

Hasil prediksi simulasi ini juga disajikan sebagai distribusi suhu cairan didalam kolom yang ditunjukkan pada Gambar-7. Gambar ini menunjukkan bahwa suhu cairan didalam kolom hampir seragam. Hal ini disebabkan karena efek panas yang diakibatkan oleh panas reaksi dan panas pelarutan sangat kecil sehingga tak menyebabkan kenaikan suhu cairan yang berarti.

Kesimpulan dan saran

Penelitian ini telah memprediksi secara teoritis kinerja packed column untuk absorpsi gas CO₂ kedalam larutan K₂CO₃ dalam packed column dengan memperhitungkan efek panas. Dipelajari pengaruh laju alir absorben dan konsentrasi K₂CO₃ terhadap persen penyisihan CO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menaikkan laju alir absorben dari 3 sampai dengan 7 liter/menit masih bisa memperbesar persen penyisihan CO₂. Demikian pula menaikkan kadar K₂CO₃ dalam absorben masuk dari 1 sampai dengan 1.5 M masih efektif dalam menaikkan persen penyisihan CO₂. Dari profil suhu yang diprediksi pada penelitian ini menunjukkan bahwa efek panas tidak terlalu berpengaruh terhadap hasil simulasi. Hasil prediksi simulasi pada penelitian ini bila dibandingkan dengan data eksperimen menunjukkan penyimpangan dibawah 10% untuk laju absorben dari 1 sampai dengan 5 liter/menit dan penyimpangannya sebesar 10-30% untuk laju absorben antara 5 sampai dengan 7 liter/menit.

Walaupun penelitian ini menyimpulkan bahwa pengaruh panas tak terlalu penting, namun efek panas tetap perlu diperhitungkan untuk pengembangan simulasi proses absorpsi gas CO₂ kedalam larutan K₂CO₃ pada packed column didalam industri, karena kondisi suhu masuk gas dan liquid didalam industri tidak sama dan diatas suhu kamar demikian pula kondisi tekanan operasi adalah sekitar 30 bar. Penelitian ini perlu dilanjutkan untuk mengembangkan model simulasi kolom absorpsi komersial.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih pada Eko Cahyo K dan Abdullah Saad B.S atas kontribusinya dalam pelaksanaan studi eksperimental penelitian, demikian pula pada jurusan teknik kimia ITS yang memberikan fasilitas yang diperlukan.

Daftar Notasi

a_v	Luas permukaan interface per satuan volume	cm^2/cm^3
A	Konsentrasi A tak berdimensi pada film,	-
B	$A=C_A/C_{Aib}$	-
BM	Konsentrasi B tak berdimensi pada film, $B=C_B/C_{Bb}$	gram/gmol
	Berat molekul	
C	Konsentrasi larutan	mol/cm^3
C_{Ai}	Konsentrasi spesies A diinterface pada temperatur bulk	mol/cm^3
C_{Bb}	Konsentrasi spesies B di badan liquid	mol/cm^3
C_{Pb}	Konsentrasi spesies P di badan liquid	mol/cm^3
C_{PG}	Kapasitas panas fase gas	$\text{cal}/\text{mol} \cdot \text{C}$
C_{PL}	Kapasitas panas fase liquid	$\text{cal}/\text{mol} \cdot \text{C}$
D_A	Koefisien difusivitas spesies A	cm^2/s
D_B	Koefisien difusivitas spesies B	cm^2/s
D_P	Koefisien difusivitas spesies P	cm^2/s
E	Faktor Enhancement	-
E_{non}	Faktor Enhancement non isothermal	-
G	Laju Molar gas	mol/s
Gm	Laju Molar gas per satuan luas	$\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$
h	Koefisien transfer panas	$\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}$
He	Konstanta Henry	atm
K	Konstanta Kesetimbangan	-
k_2	Konstanta reaksi orde 2	$\text{cm}^3/\text{mol} \cdot \text{s}$
k_G	Koefisien perpindahan massa fase gas	$\text{gmol}/\text{cm}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$
k_L	Koefisien perpindahan massa fase liquida	cm/s
k_x	Koefisien perpindahan massa fase liquida	$\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{fraksimol} \cdot \text{s}$
k_y	Koefisien perpindahan massa fase gas	$\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{fraksimol} \cdot \text{s}$
L	Laju molar fase liquid	mol/s
L_R	Didefinisikan $L_R = C_{Bb}/C_{Aib}$	-
M	Bilangan Hatta	-
N	Jumlah titik kolokasi	-
NT	Number Transfer Unit	-
G	Konsentrasi P tak berdimensi pada film, $P=C_P/C_{Pb}$	-
P	Tekanan	atm
Pt	Laju Absorpsi	$\text{mol}/\text{cm}^3 \cdot \text{s}$
Ra	Laju reaksi komponen	$\text{gmol}/\text{cm}^3 \cdot \text{s}$
\mathcal{R}	Perbandingan laju molar gas terhadap laju molar liquid	-
R		
S	Luas Permukaan kolom	cm^2
S_R	Didefinisikan $S_R = D_B C_{Bb} / (D_A C_{Aib})$	-
T_b	Temperatur bulk	K
T_L	Temperatur liquid	K
T_G	Temperatur gas	K
T_R	Didefinisikan $T_R = D_P/D_A$	-
x_{Ab}	Fraksi mol spesies A di badan liquid	-
x_{Bb}	Fraksi mol spesies B di badan liquid	-
x_{Pb}	Fraksi mol spesies P di badan liquid	-
Z	Jarak aksial	cm
β_R	Bentuk tak berdimensi dari panas reaksi	-
β_s	Bentuk tak berdimensi dari panas pelarutan	-
δ_M, δ_H	Ketebalan film untuk perpindahan massa dan panas	cm
ϵ_D	Bentuk tak berdimensi dari energi aktivasi untuk difusi	-
ϵ_R	Bentuk tak berdimensi dari energi aktivasi untuk reaksi fase liquid	-
ϕ_L	Hold up liquid	cm^3/cm^3
λ	Tinggi kolom	cm
ξ	Bentuk tak berdimensi dari jarak	-
θ	Bentuk tak berdimensi dari Temperatur, $\theta = (T-T_b)/T_b$	-
ψ	Bilangan tak berdimensi, $k_2 C/k_x a_v$	-

Daftar Pustaka

- Al-Ubaidi, B.S, M.S.Salim, and A.A.Shaikh, "Non Isothermal Gas Absorption Accompanied by a Second Order Irreversible Reaction", *AICHE J.*, 36, 141-146, 1990
- Altway, A., "Pengaruh Volatilitas Reaktan Terlarut Terhadap Harga Faktor Peningkatan Absorpsi Disertai Reaksi Kimia Irreversible Umum", *IPTEK*, Vol.6, No. 2, 130-137, 1995
- Altway, A., Yuyun, L.W. "Simulation of Carbon Dioxide Absorption into Diethanolamine Solution in Packed Column Using Combination of Orthogonal Collocation and Finite Difference Method", *Proceeding ITB*, Vol.31, No.2, 1999
- Altway, A., Suwarno, N., Andhini, P. dan Astuti, Y., "Penyelesaian Numerik Model Penetrasi untuk Absorpsi Gas disertai Reaksi Kimia Irreversible Umum", *IPTEK*, Vol.6, No.2, 1995
- Astarita, G., "Absorption of Carbon Dioxide into Alkaline Solutions in Packed Tower", *I&EC Fundamentals*, Vol.2, No.4, 1963
- Astarita, G., "Mass Transfer with Chemical Reaction", Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1967
- Bhattacharya, A., R.V. Gholap and R.V. Chaudari, "Gas Absorption with Exothermic Bimolecular (1,1 Order) Reactor", *AICHE J.*, 33, 1507-1513, 1997
- Brian, P.L.T., J.F. Hurley and E.H.Hasseltine, "Penetration Theory for Gas Absorption Accompanied by a Second Order Chemical Reaction", *AICHE J.*, vol.7, 226, 1961
- Danckwartz, "Gas Liquid Reaction". McGraw Hill Book Company, 1970
- Effendi, M dan M.Ikhlis, "Simulasi Absorpsi Gas Disertai Reaksi Kimia Irreversible Order Dua Pada Kondisi NonIsothermal", Skripsi, Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, Jurusan Teknik Kimia, FTI, ITS, 2001
- Glasscock, D.A. and G.T.Rochelle, "Approximate Simulation of CO₂ and H₂S Absorption into Aqueous Alkaline Solution", *AICHE Journal*, Vol.39, No.8, 1993

- Hikita, H. and S.Asai," Gas Absorption with (m,n)-th Order Irreversible Chemical Reaction", Int. Chem. Eng., 4, 332, 1964
- Huang, C.J dan Kuo, C.H. "Mathematical Models for Mass Transfer Accompanied Reversible Chemical Reaction. AIChE Journal.Vol 11. 901-910,1965
- Kohl, A.L. and F.C. Riesenfeld,"Gas Purification", Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1985
- Linek and Vaclav,"Verification of The Design Methods for Industrial Carbon Dioxide-Triethanolamine Absorbers:Laboratory Differential Simulation and Computational Methods",Ind.Eng.Res.,Vol.29,No.9, 1990
- Perry, R.H, and C.H.Chilton,"Chemical Engineers' Handbook", 5th ed., McGraw-Hill, 1973
- Sanyal,D.,N.Vasishtha, and D.N.Saraf,"Modeling of Carbon Dioxide Absorber Using Hot Carbonate Process",Ind.Eng.Chem.Res.,Vol.27, No.11,1988
- Savitri, Y.,E. Sepfitri, dan Ali Altway,"Simulasi Absorpsi Gas Disertai Reaksi Kimia Irreversible Order Dua pada Packed Column dalam Kondisi NonIsotermal", Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses,2001
- Treybal. R.E., "Mass Transfer Operation". McGraw Hill Book Company, 1981.
- Vas Bhat,R.D., W.P. van Swaaij, N.E. Benes, J.A.M.Kuipers and G.F. Versteeg,"Non-isothermal gas Absorption with reversible chemical reaction", Chemical Engineering Science, Vol.52, 4079-4094, 1997
- Xu, G.W., Cheng-Fang Zhang, Shu-Jun Qin, and Yi-Wei Wang," Kinetics Study on Absorption of Carbon Dioxide into Solution of Activated Methyl-diethanolamine", Ind.Eng.Chem. ,Vol 31,921-927, 1992.
- Xu,S.,Yi-Wei Wang,F.D.Otto and A.E.Mather,"Kinetics of The Reaction of Carbon Dioxide With Aqueous 2-Piperidineethanol Solutions",AIChE Journal,Vol.39,No.10,1993
- Yunita D. Indrasari, Koatlely A. Serpara, Ali Altway, Susianto," Simulasi Enhancement Factor untuk Absorpsi Gas disertai Reaksi Kimia Reversible Order Dua Kondisi Non-Isothermal dengan Model Difusifitas Eddy",Seminar Nasional "Kejuangan" UPN Yogyakarta, 2008