SIMULASI ABSORPSI MULTIKOMPONEN GAS DALAM LARUTAN K_2CO_3 DENGAN PROMOTER MDEA PADA PACKED COLUMN

Erlinda Ningsih, Lily Pudjiastuti, Dessy Wulansari, Nurul Anggraheny,
Ali Altway*, Kuswandi Kusno Budhikarjono
Laboratorium Perpindahan Massa dan Panas, Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Email: alimohad@chem-eng.its.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari secara teoritis kinerja *packed column* untuk absorpsi CO_2 dan H_2S dari gas asam dengan larutan K_2CO_3 dan promotor MDEA dengan memperhatikan kelarutan gas-gas yang lain, yang dinyatakan dengan %-recovery CO_2 . Penelitian ini dilaksanakan dengan membuat program simulasi untuk absorpsi gas CO_2 disertai reaksi kimia dalam kondisi isothermal. Hasil prediksi simulasi ini divalidasi dengan data lapangan. Dengan menggunakan *model packed column* ini, diperoleh distribusi konsentrasi gas-gas terlarut, distribusi konsentrasi reaktan dalam fasa cair dalam kolom absorber dan prediksi %-recovery CO_2 dan H_2S . Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan dan laju alir absorben %-penghilangan CO_2 dan H_2S semakin besar. Hasil penelitian menunjukkan adanya suhu optimum. Di bawah suhu optimum kenaikan suhu menyebabkan kenaikan %-penghilangan sedangkan di atas suhu optimum kenaikan suhu menurunkan %-penghilangan. Laju absorpsi meningkat tergantung pada pengaruh relatif temperatur pada konstanta kecepatan reaksi, difusivitas dan kelarutan gas yang terserap. Untuk absorpsi gas CO_2 kedalam larutan K_2CO_3 30% dengan promotor MDEA pada *packed column* dengan diameter 3 m dan tinggi 30 m yang diisi dengan packing IMPT 7 cm diperoleh penghilangan CO_2 tertinggi 99,947% pada kondisi laju alir larutan 5900 m^3 /jam, temperatur 100 °C, laju alir gas 308 kNm^3 /jam serta tekanan 32 atm.

Kata kunci: absorpsi reaktif, isothermal, multikomponen, promotor, model dua film.

Abstract

This research aims to study theoretically the performance of *packed column* to absorb CO_2 and H_2S from acid gas using MDEA promoted K_2CO_3 solution by considering solubility of other gases. Performance is expressed as CO_2 recovery percentage. Research was carried out by developing simulation program of gases absorption with chemical reaction in *packed column* under isothermal condition. Prediction results were validated with petrochemical plant data. The simulation program can predict concentration distribution of dissolved gases and reactants in liquid phase at *packed column* and also the percentage of CO_2 and H_2S recovery. Results show that CO_2 and H_2S recovery increase with the increasing pressure and liquid flow rate. The study also depicts presence of an optimum temperature where CO_2 recovery increases with increasing temperature below optimum temperature and decrease with increasing temperature above optimum temperature. The absorption rate increase or decrease with increasing temperature depending on relative effect of temperature on reaction rate, gas diffusivity and solubility. For CO_2 absorption into MDEA promoted 30% K_2CO_3 solution at *packed column* 3 m in diameter, and 30 m in height filled with 7 cm IMPT packing, the highest CO_2 removal efficiency is 99.947% on 100 °C, 32 atm, liquid flow rate of 5900 m^3 /hr, and gas flow rate of 308 kNm^3 /hr.

Keywords: reactive absorption, isothermal, multi-component, promotor, two-film model

*korespondensi

1. Pendahuluan

Berbagai industri petrokimia, bahan bakar minyak, gas alam dan gas bio pada prosesnya memerlukan pemisahan gas CO₂ yang termasuk kategori gas asam yang bersifat korosif terhadap sistem perpipaan. Selain itu, gas CO₂ harus dipisahkan dari gas alam dan gas bio karena keberadaan gas CO₂ dapat mengurangi nilai kalor dari kedua gas tersebut. Dalam pabrik sintesis ammonia, gas CO₂ harus dipisahkan dari gas proses untuk menghindari keracunan katalis sintesis ammonia.

Salah satu cara pemisahan gas asam dari campuran gas adalah dengan absorpsi reaktif menggunakan absorben larutan potassium karbonat berkatalis, yang telah diteliti oleh banyak peneliti terdahulu (Astarita dan Savage, 1981; Yih dan Sun, 1987; Augugliaro dan Rizzuti, 1987; Rahimpour dan Kashkool, 2004; Saputro dkk., 2010). Sebagian besar dari penelitian sebelumnya terfokus pada penentuan mekanisme reaksi, laju absorpsi, dan sistem efisiensi absorpsi CO₂ yang dilakukan dengan menggunakan alat yang sederhana atau kolom absorber. Absorpsi gas dalam *packed column* dianggap sebagai sistem sangat efisien dibandingkan dengan alternatif lain (Lin dan Shyu, 1999), dan memiliki efisiensi yang tinggi (Baniadam dkk., 2009). Dalam kenyataannya kandungan impurities gas alam tidak hanya CO₂ namun terdapat juga H₂S yang perlu dipisahkan (Yih dan Sun, 1986; Huttenhuis dkk., 2007).

Peninjauan absorpsi reaktif multikomponen berdasar *rate based* model menggunakan pendekatan *enhancement factor* untuk fenomena perpindahan massa yang terjadi di dalam film model belum banyak dilakukan penelitian-penelitian sebelumnya. Kajian ini difokuskan pada proses absorpsi reaktif multikomponen gas asam ke dalam larutan K₂CO₃ dengan menggunakan promotor MDEA pada *packed column* dalam kondisi isothermal. Model *rate based* yang dikembangkan diharapkan dapat memprediksi kinerja dari kolom absorpsi gas CO₂ menggunakan larutan K₂CO₃ dengan promotor MDEA.

2. Metodologi

2.1 Sistem Reaksi

Reaksi stoichiometri yang terjadi pada absorpsi CO₂ dalam larutan K₂CO₃ secara umum adalah:

sedang reaksi yang menentukan kecepatan reaksi adalah:

Reaksi pertama cepat sedang reaksi kedua berlangsung lambat. Bila sejumlah kecil MDEA ditambahkan dalam larutan K₂CO₃, laju absorpsi akan meningkat dengan mekanisme reaksi berikut (Augugliaro dan Rizzuti, 1987)

Bila reaksi ke kanan dari reaksi (2) dianggap ber-order-satu-semu dan reaksi ke kiri mempunyai kecepatan konstan maka laju reaksi untuk reaksi (2) dapat dinyatakan pada persamaan (7).

$$r_{OH} = k_{OH} C_{OH^-} (C_{CO_2} - C_{CO_2,e}) \quad (7)$$

Dengan cara sama bila reaksi (2) yang berkatalis juga dianggap ber-order-satu-semu untuk reaksi kekanan dan mempunyai kecepatan konstan untuk reaksi ke kiri maka persamaan laju untuk kedua reaksi dapat dinyatakan dengan persamaan (8).

$$r = (k_{OH} C_{OH^-} + k_{MDEA} C_{MDEA}) (C_{CO_2} - C_{CO_2,e}) \quad (8)$$

Atau

$$r = k_1 (C_{CO_2} - C_{CO_2,e}) \quad (9)$$

Konstanta kecepatan reaksi (1) diperoleh dari Augugliaro dan Rizzuti (1987) dan dinyatakan dengan persamaan (10).

$$\log k_{OH^-} = 13,635 - \frac{2895}{T} - 0,08 I \quad (10)$$

Sedangkan untuk reaksi (2) yang berkatalis MDEA konstanta kecepatan reaksinya dinyatakan pada persamaan berikut (Saputro dkk., 2010),

$$k_{MDEA} = 1,00 \cdot 10^{20} \exp \left(\frac{-(9,019 \cdot 10^7 - 3,946 \cdot 10^7 C_{MDEA})}{RT} \right) \quad (11)$$

Di dalam campuran gas terdapat gas H₂S selain CO₂. Reaksi antara gas H₂S dengan K₂CO₃ dan MDEA dinyatakan berikut ini:

Data kinetika reaksi H_2S dengan pelarut K_2CO_3 berkatalis MDEA diperoleh dari literatur (Yih dan Sun, 1987).

2.2 Model Matematik

Model matematik proses absorpsi reaktif pada *packed column* dikembangkan untuk kondisi isothermal dan menggunakan *rate-based model*. Pada model ini peralatan absorpsi reaktif secara imajiner dibagi menjadi beberapa piyas dan perpindahan massa antara fasa gas dan cair terjadi pada setiap piyas. Perpindahan massa pada *interface* gas-cair secara normal digambarkan menggunakan model dua-film, untuk satu piyas seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 1. Model ini menganggap fluida adalah campuran ideal dengan konsentrasi-konsentrasi seragam di daerah *bulk*. Reaksi stoichiometri secara umum dinyatakan sebagai berikut,

Untuk kasus absorpsi gas CO_2 ke dalam larutan K_2CO_3 berkatalis, $z = 1$ dan $y = 2$.

Neraca massa diferensial komponen B pada fasa cair dapat dinyatakan dengan persamaan (15),

$$\frac{dC_B}{dz} = -z \frac{Ek_{L,A}a}{L} (C_{Ai} - C_{Ae}) \quad (15)$$

dimana E adalah faktor peningkatan yang diperoleh dengan menggunakan model Danckwertz dan kinetika reaksi yang ditunjukkan pada persamaan (8) dan dinyatakan dengan persamaan (16) dan (17).

$$E = \sqrt{1 + M_H} \quad (16)$$

$$M_H = \frac{D_A(k_{OH}C_{OH^-} + k_{MDEA}C_{MDEA})}{k_{L,A}^2} \quad (17)$$

Hubungan antara konsentrasi produk (dalam hal ini HCO_3^-) dan reaktan (dalam hal ini CO_3^{2-}) dapat dinyatakan dengan persamaan stoikiometri berikut,

$$C_P = C_{PIN} - \frac{y}{z}(C_B - C_{BIN}) \quad (18)$$

Persamaan (14) diselesaikan dengan metode kolokasi orthogonal :

$$\int_{C_B^{IN}}^{C_B} dC_B = -\frac{zk_{L,A}a}{L} Z_T \int_0^\xi E(C_{Ai} - C_{Ae}) d\xi \quad (19)$$

$$\int_{C_B^{IN}}^{C_B^0} dC_B^0 = -z \frac{k_{L,A}a}{L} Z_T \sum_{k=1}^{N+2} H_{jk} [E(C_{Ai} - C_{Ae})]_k \quad (20)$$

$$C_{Bj} - C_{BIN} = -z \frac{Z_T}{H_{T,A}} \sum_{k=1}^{N+2} H_{jk} [E(C_{Ai} - C_{Ae})]_k \quad (21)$$

Neraca massa diferensial komponen k (gas terlarut dalam fasa cair) dinyatakan dengan persamaan (22)

$$L \frac{dC_{kb}}{dZ} = k_{Lk} a Z_T (C_{ki} - C_{kb}) \quad (22)$$

Gambar 1. Model dua-film absorpsi reaktif dalam segmen *packed column*

dengan kolokasi orthogonal persamaan (22) bisa dinyatakan sebagai berikut,

$$C_{kb} = C_{kIN} + \frac{Z_T}{H_{T,k}} \int_0^\xi (C_{ki} - C_{kb}) d\xi \quad (23)$$

$$C_{kb} = C_{kIN} + \frac{Z_T}{H_{T,k}} \sum_{m=1}^{N+2} H_{jm} (C_{ki} - C_{kb})_m \quad (24)$$

$$H_{T,k} = \frac{L}{k_{L,k} a_s A_c} \quad (25)$$

Hubungan antara konsentrasi A dalam fasa gas dan konsentrasi B dalam fasa cair juga bisa diperoleh dari stoichiometri reaksi yaitu,

$$G_{IN} (Y_A - Y_{Aout}) = \frac{L}{z} (C_{BIN} - C_B^0) \quad (26)$$

Hubungan antara konsentrasi komponen k dalam fasa gas dan konsentrasi k dalam fasa cair bisa diperoleh dari neraca massa total sebagai berikut,

$$G_{IN} (Y_k - Y_{kout}) = L (C_k^{IN} - C_k^0) \quad (27)$$

dan laju alir molar total gas (G_T) setiap titik pada *packed column* diperoleh dari:

$$G_T = G_{IN} \sum_{k=1}^{N_{komp}} Y_k \quad (28)$$

sedangkan mol fraksi komponen k pada tiap titik dalam *packed column* adalah:

$$y_k = \frac{G_{IN} \times Y_k}{G_T} \quad (29)$$

serta konsentrasi CO₂ pada *interface*:

$$C_{Ai} = \frac{k_G P_A + E k_L C_{Ae}}{E k_L + k_G H_e} \quad (30)$$

dimana k_G adalah koefisien perpindahan massa sisi gas dan k_L adalah koefisien perpindahan massa sisi cair diperoleh dari korelasi empiris (Danckwewertz, 1970). H_e adalah konstanta Henry untuk sistem gas-larutan elektrolit yang dapat dihubungkan dengan konstanta Henry untuk sistem gas-air, H_e^0 (Danckwewertz, 1970; Huttenhuis dkk., 2007).

$$\% \text{Recovery} = \left(1 - \frac{Y_{AOUT}}{Y_{AIN}} \right) 100 \quad (31)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari secara teoritis kinerja *packed column* untuk absorpsi gas asam (CO₂ dan H₂S) dengan larutan K₂CO₃ dengan katalis MDEA dalam kondisi isothermal, yang dinyatakan dengan % *recovery* CO₂. Pemogramannya dilakukan dengan MATLAB 6.1 dan hasil prediksi simulasi divalidasi dengan data hasil eksperimen (Yih dan Sun, 1986). Sistem yang dipelajari adalah *packed column* dengan diameter 3 m, tinggi 30 m yang diisi dengan packing IMPT 7 cm. Gas masuk mengandung 19% CO₂, 3% H₂S dan 78% N₂. Sebagai variabel adalah laju alir absorben, temperatur absorben dan tekanan. Hasil dari simulasi ditunjukkan oleh Gambar 2 sampai 7.

Gambar 2. Pengaruh temperatur larutan terhadap persen penghilangan CO₂ pada $G=308.000$ m³/jam dan $L= 2.900$ m³/jam

Gambar 3. Pengaruh temperatur larutan terhadap persen penghilangan H₂S pada G=308.000 m³/jam dan L= 2.900 m³/jam

Hasil simulasi pengaruh temperatur terhadap persen penghilangan CO₂ dan H₂S untuk berbagai tekanan disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa dalam rentang temperatur larutan 80°C s/d 100 °C, penghilangan CO₂ mengalami peningkatan. Kenaikan penghilangan CO₂ dalam rentang temperatur tersebut lebih dominan disebabkan oleh meningkatnya difusivitas dan kinetika reaksi. Namun pada temperatur yang lebih tinggi penghilangan CO₂ mengalami penurunan. Pada temperatur larutan yang lebih tinggi, kelarutan gas mengalami penurunan dan menunjukkan pengaruhnya lebih dominan dibandingkan dengan difusivitas dan kinetika reaksinya yang berakibat pada penurunan laju penyerapan. Berdasarkan kondisi diatas, pada suhu larutan yang lebih rendah, penghilangan CO₂ dipengaruhi oleh difusivitas dan kinetika reaksi, sedangkan pada suhu yang lebih tinggi penghilangan CO₂ dikontrol oleh kelarutan gas. Penghilangan H₂S dalam rentang temperatur larutan tertentu, mengalami sedikit peningkatan, namun pada suhu larutan yang lebih tinggi penghilangan H₂S mengalami penurunan yang secara signifikan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Seperti pada penghilangan CO₂, kenaikan penghilangan H₂S disebabkan oleh meningkatnya difusivitas dan kinetika reaksi.

Pada temperatur larutan yang lebih tinggi, meskipun pada tekanan operasi yang lebih tinggi, penghilangan H₂S mengalami penurunan secara signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa kelarutan gas H₂S sangat dipengaruhi oleh temperatur larutan, sehingga lebih dominan mempengaruhi penghilangan H₂S dibandingkan dengan difusivitas dan kinetika reaksinya yang berakibat pada penurunan laju penyerapan. Pada temperatur larutan 100°C dan tekanan 32 atm, persen penghilangan gas CO₂ tertinggi yaitu sebesar 99.14%, persen penghilangan H₂S tertinggi adalah 99.06%.

Pengaruh perubahan laju alir larutan terhadap absorpsi CO₂ dan H₂S untuk berbagai temperatur larutan ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Berdasarkan gambar tersebut, perubahan laju alir larutan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penghilangan CO₂ dan H₂S. Hal ini menunjukkan bahwa tahanan sisi cair memiliki pengaruh yang cukup terhadap proses penyerapan CO₂ dan H₂S ke dalam larutan K₂CO₃. Kenaikan laju alir dari 1900 m³/jam sampai 5900 m³/jam menaikkan persen penghilangan gas CO₂ dari 98.16% sampai 98.76%. Kenaikan laju alir larutan, meningkatkan turbulensi, konsentrasi pelarut dan kelarutan gas yang mempengaruhi laju absorpsi sehingga penghilangan gas CO₂ mengalami peningkatan. Sebaliknya, temperatur pelarut

Gambar 4. Pengaruh laju alir larutan terhadap persen penghilangan CO_2 pada $G= 308.000 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan $P= 30 \text{ atm}$

Gambar 5. Pengaruh laju alir larutan terhadap persen penghilangan H_2S pada $G= 308.000 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan $P= 30 \text{ atm}$

yang lebih tinggi, penghilangan CO_2 dan H_2S lebih rendah, hal ini karena faktor kelarutan gas mempengaruhi proses absorpsi.

Pengaruh laju alir pelarut terhadap penghilangan CO_2 dan H_2S dengan variasi tekanan diberikan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Pada temperatur larutan 100°C dan tekanan 24 atm diperoleh persen penghilangan CO_2 sebesar 98.21% dan pada

tekanan 32 atm diperoleh persen penghilangan CO_2 sebesar 98.61% . Dalam rentang tekanan 24 atm dan 32 atm , penghilangan CO_2 dan H_2S memiliki kecenderungan yang sama yaitu mengalami peningkatan. Pada tekanan tinggi, kelarutan H_2S lebih besar dibandingkan kelarutan CO_2 dan harga *selectivity* yang dimiliki H_2S lebih tinggi dari pada CO_2 terhadap sistem larutan

Gambar 6. Pengaruh laju alir larutan terhadap persen penghilangan CO₂ pada G = 308.000 m³/jam dan T = 100 °C

Gambar 7. Pengaruh laju alir larutan terhadap persen penghilangan H₂S pada G = 308.000 m³/jam dan T=100 °C

K₂CO₃+ MDEA yang mengakibatkan pada laju alir cairan semakin tinggi persen penghilangan H₂S naik. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa semakin tinggi tekanan, maka kelarutan CO₂ dan H₂S dalam larutan K₂CO₃ juga akan semakin besar yang berpengaruh pada kesetimbangan fasa gas-cair. Meskipun kenaikan tekanan dapat menurunkan difusivitas gas, tetapi penghilangan CO₂ dan H₂S mengalami

peningkatan, hal ini menunjukkan difusivitas pengaruhnya kecil terhadap proses absorpsi dibandingkan dengan kelarutan gas.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dikembangkan model matematik untuk penghilangan CO₂ dan H₂S dengan absorben K₂CO₃ dan katalis MDEA dalam *packed column*. Berdasarkan model yang telah

dikembangkan dengan variabel proses laju alir absorben, tekanan operasi kolom absorpsi dan temperatur diperoleh bahwa semakin tinggi tekanan persen penghilangan CO₂ dan H₂S semakin besar. Mengenai pengaruh suhu, hasil penelitian menunjukkan adanya suhu optimum dimana dibawah suhu optimum tersebut kenaikan suhu menyebabkan kenaikan persen penghilangan sedangkan diatas suhu optimum kenaikan suhu menurunkan persen penghilangan. Kenaikan laju alir pelarut dari 1900 m³/jam menjadi 5900 m³/jam masih meningkatkan persen penyisihan CO₂ dari 98,16 sampai 98,76%, sedangkan untuk H₂S kenaikannya adalah dari 98 sampai dengan 99,5%. Untuk absorpsi gas CO₂ kedalam larutan K₂CO₃ 30% dengan promotor MDEA pada packed column dengan diameter 3 m dan tinggi 30 m yang diisi dengan packing IMPT 7 cm diperoleh bahwa penghilangan CO₂ tertinggi adalah 99,947 pada kondisi laju alir larutan 5900 m³/jam, temperatur 100°C, laju alir gas 308000 m³/jam serta tekanan gas 32 atm.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih pada P2PM DIKTI sebagai penyandang dana melalui program Hibah Disertasi Doktor.

Daftar Notasi

a	Spekifik area, m ⁻¹
A _c	Cross section area pada kolom, m ²
C _{Ae}	Konsentrasi gas A di badan liquid pada kesetimbangan reaksi, kmol.m ⁻³
C _{Ai}	Konsentrasi gas A pada <i>interface</i> , kmol.m ⁻³
C _B	Konsentrasi reaktan B, kmol.m ⁻³
C _B ⁰	Konsentrasi reaktan B pada bulk fasa liquid, kmol.m ⁻³
C _{BIN}	Konsentrasi reaktan B masuk, kmol.m ⁻³
C _{CO₂,i}	Konsentrasi CO ₂ pada <i>interface</i> , kmol.m ⁻³
C _{CO₂,e}	Konsentrasi CO ₂ di badan liquid pada kesetimbangan reaksi, kmol.m ⁻³
C _k ⁰	Konsentrasi komponen k didalam bulk fasa liquid, kmol.m ⁻³
C _{k,IN}	Konsentrasi komponen k didalam cairan masuk kolom, kmol.m ⁻³
C _{MDEA}	Konsentrasi promotor MDEA, kmol.m ⁻³
C _P	Konsentrasi produk reaksi P, kmol.m ⁻³

C _{PIN}	Konsentrasi bikarbonat masuk, kmol.m ⁻³
D _A	Difusifitas zat A (gas) dalam cairan, m ² .s ⁻¹
D _p	Diameter packing, m
E	<i>Enhancement factor</i>
G _{IN}	Laju alir total molar gas pada saat masuk, kmol.s ⁻¹
G _T	Laju alir molar total gas, kmol.s ⁻¹
He	Konstanta Henry, Pa. m ³ . kmol ⁻¹
He ⁰	Konstanta Henry untuk sistem gas-air, Pa. m ³ . kmol ⁻¹
H _T	Tinggi unit transfer, m
k ₁	Konstanta laju reaksi order satu, s ⁻¹
k _{MDEA}	Konstanta laju reaksi untuk reaksi berkatalis MDEA, m ³ .kmol ⁻¹ .s ⁻¹
k _G	Koefisien perpindahan massa sisi gas, kmol.Pa ⁻¹ m ⁻² .s ⁻¹
k _L	Koefisien perpindahan massa sisi cair, m.s ⁻¹
k _{L,k}	Koefisien perpindahan massa sisi cair untuk komponen k, m.s ⁻¹
k _{OH}	Konstanta laju reaksi untuk reaksi CO ₂ dengan OH ⁻ , m ³ .kmol ⁻¹ .s ⁻¹
L	Laju alir cair, m ³ .s ⁻¹
M _H	Bilangan Hatta
n _i	Molar fluks komponen i, kmol.m ⁻² .s ⁻¹
P _A	Tekanan persial gas CO ₂ , Pa
r	Laju reaksi, kmol.m ⁻³ . s ⁻¹
V	Volume cair, m ³
y	Koefisien stoichiometri untuk produk P
y _k	Mole fraksi komponen k pada tiap titik dalam packed coloumn
Y _A	Mole A dalam kolom per mole gas masuk
Y _k	Mole k dalam kolom per mole gas masuk
z	Koefisien stoichiometri untuk reaktan B
Z _T	Tinggi kolom, m
Δz	Tinggi segmen, m

Huruf Latin

δ	Tebal film difusi, m
ξ	Posisi aksial tak berdimensi
ρ	Densitas, kg.m ⁻³

Daftar Pustaka

Astarita, G.; Savage, D. W., Simultaneous absorption with reversible instantaneous chemical reaction, *Chemical Engineering Science*, **1981**, 37(5), 677-686.

Augugliaro V.; Rizzuti L., Kinetics of carbon dioxide absorption into catalyzed potassium

carbonate solutions *Chemical Engineering Science*, **1987**, 42(10), 2339-2343.

Baniadam, M.; Fathikalaajhi, J.; Rahimpour, M. R., Comparison of separation performance of a structured packed column with a tray-type column for H₂S and CO₂, *Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFP.*, **2009**, 64(2), 179-190.

Danckwerts P. V., *Gas-Liquid Reactions*; McGraw-Hill: New York, 1970.

Huttenhuis, P. J. G.; Agrawal, N. J.; Hogendoorn, J. A.; Versteeg, G. F., Gas solubility of H₂S and CO₂ in aqueous solution of N-Methyldiethanolamine, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **2007**, 55(1-2), 122-134.

Lin, S. H.; Shyu, C. T., Performance characteristics and modeling of carbon dioxide absorption by amines in a packed

column, *Waste Management*, **1999**, 19(4), 255-262.

Rahimpour M. R.; Kashkool A. Z., Enhanced carbon dioxide removal by promoted hot potassium carbonate in a split-flow absorber, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, **2004**, 43(7), 857-865.

Saputro, E. A.; Febriana, D. R.; Wardani, R. B.; Pudjiastuti, L.; Altway, A.; Budhikarjono, K.; Susianto, *Kinetika reaksi absorpsi CO₂ menggunakan kalium karbonat (K₂CO₃) dengan promotor asam borat (H₃BO₃)*, Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-16, Yogyakarta, 27 Mei 2010.

Yih, S. M.; Sun, C. C., Simultaneous absorption of hydrogen sulphide and carbon dioxide into potassium carbonate solution with or without amine promoters, *The Chemical Engineering Journal*, **1987**, 34(2), 65-72.