

ABSORPSI GAS CO₂ MENGGUNAKAN MONOETANOLAMINE

ABSORPTION CO₂ GAS USING MONOETHANOLAMINE

Endang Srihari^{1)*}, Ricky Priambodo²⁾, Sylvia Purnomo³⁾, Hermawan Sutanto⁴⁾, Wentalia Widjajanti⁵⁾

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya

Jl. Raya Kalirungkut · Surabaya 60292, Telp. 031-2981158

Email : endang_srihari@yahoo.com

ABSTRAK

Udara pada daerah padat industri, memiliki tingkat polusi yang tinggi. Hal ini banyak disebabkan karena proses pembakaran yang dilakukan oleh sebagian besar industri, dimana pada proses pembakaran akan dihasilkan gas karbondioksida (CO₂) yang membahayakan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk menekan angka polusi akibat kandungan berlebih gas CO₂ dalam udara tersebut, salah satunya adalah dengan proses absorpsi. Proses absorpsi CO₂ menggunakan monoethanolamine (MEA) yang dilakukan dalam sebuah absorber packed column berisi packing berukuran 0,5 in bertujuan untuk mengetahui harga koefisien perpindahan massa volumetric overall fase gas (K_{G,a}) terhadap variable operasinya dan mengetahui nilai dari luas interfacial persatuan volume packing (a) dari harga koefisien perpindahan massa volumetriknya.. Gas CO₂ mengalir masuk dalam packed column dengan MEA sebagai pelarut. Hasil penelitian yang diperoleh adalah harga koefisien perpindahan massa volumetric overall fase gas, K_{G,a} akan semakin besar pada saat laju gas CO₂ konstan dan laju alir MEA nya semakin besar. Demikian juga pada kondisi yang sama, harga luas interfacial persatuan volume packingnya akan meningkat. Tetapi pada saat laju MEA konstan dengan semakin besarnya laju alir gas CO₂ akan menyebabkan harga koefisien perpindahan massa overall fase gas, K_{G,a} semakin menurun. Sedangkan pada konsentrasi larutan MEA semakin besar akan menyebabkan harga K_{G,a} nya juga meningkat. Untuk harga luas interfacial persatuan volume packing tidak terpengaruh dengan perubahan laju alir gas dan konsentrasi MEA.

Kata kunci : Absorpsi CO₂, Monoethanolamine, Koefisien perpindahan massa overall volumetric fase gas, Luas interfacial persatuan volume packing

ABSTRACT

The air on an area of solid industry, having a level pollution that high . it is much caused the process of combustion done by most of the industry , whereby on the process of combustion will be produced a gas of dioxide carbon (CO₂) that edangers . Hence , required a method to depress figures pollution resulting from the womb overgrowth CO₂ in the air the , one of them is with the process of absorption .CO₂ absorption process using monoethanolamine (MEA) performed in a packed column absorber aims to determine the price of overall volumetric mass transfer coefficient of the gas phase to the variable operation and know the value of the interfacial area per unit volume packing (a) of the price of the coefficient volumetric mass transfer. CO₂ gas flowing to the packed column using MEA as a solvent. The results are overall volumetric mass transfer coefficient of the gas phase, K_{G,a} the greater the rate of CO₂ gas at a constant flow rate of MEA and its getting bigger. Likewise, under the same conditions, the price of interfacial area per unit volume will increase packing. But at a constant rate of MEA with greater gas flow rate of CO₂ will cause the overall mass transfer coefficient of the gas phase, K_{G,a} decreases. While at the greater concentration of MEA solution will cause the K_{G,a} is increasing. The interfacial area per unit volume packing is not affected by changes in gas flow rate and concentration of MEA.

Key words: Absorption of CO₂, Monoethanolamine, overall volumetric mass transfer coefficient of gas phase, interfacial area per unit volume packing

PENDAHULUAN

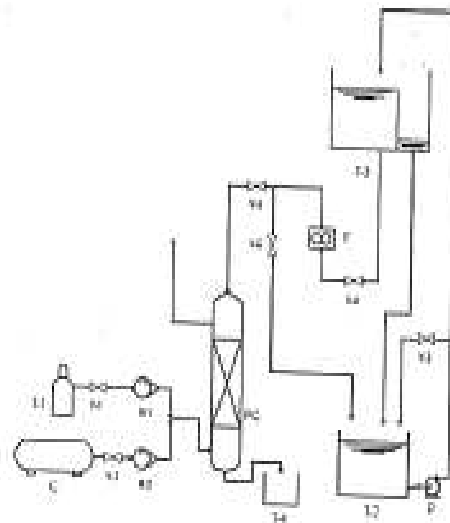
Udara pada daerah padat industri, memiliki tingkat polusi yang tinggi. Hal ini banyak disebabkan karena proses pembakaran yang dilakukan oleh sebagian besar industri, dimana pada proses pembakaran akan dihasilkan gas karbondioksida (CO_2) yang membahayakan. Kandungan berlebih gas CO_2 dalam udara akan menyebabkan efek *greenhouse*. Efek *greenhouse* ini akan meningkatkan suhu atmosfer sehingga menimbulkan efek pemanasan global. Selain itu, dalam konsentrasi yang tinggi CO_2 akan menyebabkan kelumpuhan pusat pernafasan, tetapi pada konsentrasi gas CO_2 dalam udara yang kurang dari 1,5% volume tidak akan membahayakan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk menekan angka polusi akibat kandungan berlebih gas CO_2 dalam udara tersebut, salah satunya adalah dengan proses absorpsi. Untuk memahami proses absorpsi, penting sekali mengetahui fenomena perpindahan massa yang terjadi di dalamnya. Solvent yang dapat dipakai untuk menyerap gas CO_2 dalam udara adalah cairan KOH dan Monoethanolamine (MEA).

Penelitian Aboudheir (1998) memberikan gambaran tentang proses absorpsi CO_2 dalam larutan MEA yang sangat pekat ($3-9 \text{ kmol/m}^3$). Penelitian dilakukan untuk melihat efek dari *range* kondisi operasi yang lebar terhadap efisiensi removal untuk proses absorpsi ini. Kondisi operasi yang digunakan meliputi konsentrasi solvent yang sangat tinggi, tipe packing, laju alir gas dan liquid, komposisi gas masuk, dan loading larutan CO_2 . Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa kapasitas absorpsi larutan amina akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasinya. Selain itu, dapat disimpulkan bahwa seiring dengan peningkatan laju alir liquid, maka efisiensi penghilangan dari CO_2 juga akan meningkat. Kenaikan kapasitas absorpsi dapat dilihat dari kenaikan harga koefisien perpindahan massa, serta luas interfacialnya. Penelitian Gary T dkk (1998) tentang sifat kelarutan dan laju absorpsi dari CO_2 pada monoethanolamine/Piperazine/Water dengan menggunakan Wetted Wall Column (WWC). Dimana konsentrasi amine divariasikan dengan menggunakan MEA yang telah ditambahkan konsentrasi Piperazine, dikemukakan bahwa permodelan dari laju absorpsi tersebut tersusun dari dua tahanan yaitu tahanan gas dan tahanan liquid, yang kemudian harganya dapat diestimasi dengan menggunakan reaksi *pseudo first order* dan *instantaneous enhancement factor* (E). Laju absorpsi CO_2 yang didapat dengan menggunakan larutan MEA dan Piperazine lebih besar. Pada penelitian Gary T dkk (2003), dikatakan bahwa proses absorpsi dalam packed kolom dikontrol oleh difusi dengan reaksi kimia cepat di liquid film. Sedangkan dalam tray kolom dikontrol oleh absorpsi secara fisik.

Pada penelitian ini, proses absorpsi gas CO_2 dalam udara menggunakan cairan solvent MEA dalam sebuah *packed column*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui harga koefisien perpindahan massa overall volumetric fase gas, $K_G a$ terhadap variabel operasinya kemudian dihitung harga luas interfacial persatuan volume packing dalam penelitian ini. Diharapkan dari data $K_G a$ dan luas interfacial persatuan volume packing (a) dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam merancang peralatan proses absorpsi gas yang lain dengan jenis dan ukuran packing yang sama.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan gas CO_2 dalam campuran dengan udara dan sebagai pelarutnya dipakai larutan MEA dengan konsentrasi 0,028 N hingga 0,091 N. Sebagai variabel percobaan adalah laju alir MEA, konsentrasi MEA yang digunakan dan laju alir campuran gas CO_2 dan udara masuk absorber yang berisi packing berukuran 0,5 in. Peralatan yang dipakai adalah seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat percobaan

Keterangan gambar :

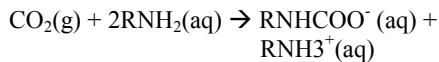
- T-1 : Tangki penyimpanan gas CO_2
- C : Kompresor
- V-1 : Valve bukaan gas CO_2
- V-2 : Valve bukaan udara
- R-1 : Rotameter gas CO_2
- R-2 : rotameter udara
- T-2 : Tangki feed larutan MEA
- P : Pompa
- V-3: Valve bypass
- T-3 : Tangki overflow larutan MEA

V-4: Valve keluaran tangki overflow
 F : flowmeter
 V-5: Valve bypass larutan MEA
 V-6: Valve larutan MEA menuju packed column
 PC : Packed Column
 T-4 : Tangki penampungan cairan keluar kolom

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian absorpsi gas CO₂ menggunakan larutan MEA merupakan proses absorpsi yang disertai reaksi kimia. Dari hasil perhitungan diperoleh harga Modulus Hatta (M_H) sebesar 43,81 yang lebih besar dari 2, dan hal ini menunjukkan bahwa reaksi ini terjadi dalam waktu yang sangat cepat sehingga proses absorpsi hanya dipengaruhi oleh perpindahan massa (Danckwertz, P.V,). Reaksi yang terjadi di liquid film menandakan bahwa tahanan individual di liquid.

Proses absorpsi CO₂ menggunakan MEA sebagai pelarut merupakan absorpsi yang disertai dengan reaksi. Adapun reaksi kimia antara CO₂ dengan MEA adalah (David W):



Dengan R = MEA = HOCH₂CH₂- dan dengan persamaan laju reaksi :

$$R = k C_{\text{CO}_2} C_{\text{MEA}}$$

Dalam hal ini terdapat tiga tahanan yang mempengaruhi perpindahan massa dan reaksi kimia yaitu : tahanan pada film gas, pada film liquid dan tahanan pada badan cairan. Persamaan laju reaksi dalam proses absorpsi tergantung dari nilai konstanta laju reaksi serta perbandingan konsentrasi reaktan yaitu $\frac{P_{\text{CO}_2}}{C_{\text{MEA}}}$ dan konstanta Henry (He).

Reaksi kimia antara CO₂ dan MEA merupakan reaksi irreversible dimana gas CO₂ berdifusi dalam cairan MEA, langsung habis bereaksi menjadi produk. Reaksi ini terjadi di interface di lapisan film liquid dalam waktu yang sangat cepat sehingga hanya terjadi perpindahan massa. Tahanan perpindahan massa yang dilalui berdasarkan overall fase gasnya dapat dilihat dari persamaan :

$$\frac{1}{K_{Ga}} = \frac{1}{K_{Ga}} + \frac{He}{K_L a \cdot E} \quad (1)$$

Reaksi yang terjadi di liquid film menandakan bahwa tahanan individual di liquid film sangat kecil. Disamping itu, karena CO₂ merupakan gas dengan kelarutan yang tinggi dalam MEA maka tahanan film gas yang mengontrol (Levenspiel O,) Untuk tahanan film gas yang mengontrol maka nilai $\frac{He}{K_{LaE}} \leq \frac{1}{K_{Ga}}$ sehingga koefisien perpindahan massa

volumetric overall fase gas akan sama dengan koefisien perpindahan massa individual volumetric fase gas. Oleh karena itu koefisien perpindahan massa yang dibahas dalam penelitian ini adalah koefisien perpindahan massa overall volumetrik fase gas. Untuk fase gas yang mengontrol, jumlah CO₂ yang terabsorpsi dapat ditentukan dengan persamaan :

$$d(N_A) = d(G \cdot y) \quad (2)$$

Sedangkan laju absorpsi solute A dapat dinyatakan dengan persamaan ;

$$d(N_A) = \frac{K_y' a}{((1-y')_{LM})(y-y')} dA \quad (3)$$

dA merupakan luas interfacial yang lebih sering dinyatakan sebagai :

$$dA = a \cdot S \cdot dz \quad (4)$$

Maka persamaan (3) dapat dinyatakan sebagai :

$$d(N_A) = \frac{K_y' a}{((1-y')_{LM})(y-y^*)} S dz \quad (5)$$

Jumlah gas yang tidak terabsorpsi (G') adalah tetap yaitu sebesar :

$$G' = G(1-y) \quad (6)$$

Substitusi persamaan (2),(6) ke dalam persamaan (5) dan bila di integralkan dengan batas kondisi 1 pada bagian bawah menara dan kondisi 2 pada bagian atas menara, maka diperoleh persamaan :

$$K_G \cdot a = \frac{N_A}{Z \cdot S \cdot P (y - y^*)_{LM}} \quad (7)$$

Dengan :

$$(y - y^*)_{LM} = \frac{(y_2 - y_2^*) - (y_1 - y_1^*)}{\ln \frac{(y_2 - y_2^*)}{(y_1 - y_1^*)}}$$

Persamaan empiris untuk menentukan koefisien perpindahan massa di liquid film dapat dihitung menggunakan persamaan Sherwood dan Holloway sebagai berikut :

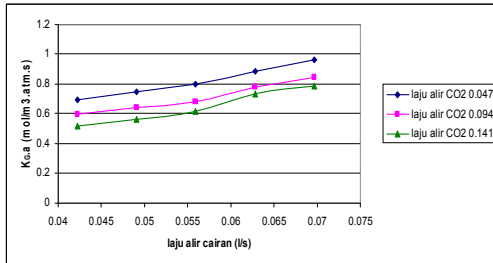
$$\frac{k_L a}{D_{AB}} = \alpha (L / \mu) (1 - \eta) (\mu / \rho D_{AB})^{0,5} \quad (8)$$

Packing dengan diameter yang sama tetapi design yang sedikit berbeda, kemungkinan akan memiliki densitas yang berbeda sehingga akan menghasilkan nilai luas interfacial persatuan volume packing, a yang berbeda pula. Oleh karena itu, Onda et al (1968b) memberikan suatu persamaan untuk menentukan nilai a spt pada persamaan (9) berikut :

$$\frac{a}{a_i} = 1 - \exp \left[-1,45x \left(\frac{\sigma_L}{\sigma} \right)^{0,75} \left(\frac{L}{a_i x \mu} \right)^{0,1} \left(\frac{L^2 x a_i}{\rho_g^2} \right)^{-0,05} \left(\frac{L^2}{\sigma, \rho, a_i} \right)^{0,2} \right] \quad (9)$$

Untuk system liquida air dengan ceramic packing digunakan harga $\frac{\sigma}{\rho_c} = 0,85$

Hasil perhitungan pengaruh laju alir cairan dan laju alir gas dan laju alir gas terhadap besarnya koefisien perpindahan massa volumetric overall fase gas ($K_{G,a}$) dapat dilihat pada Gambar 2.

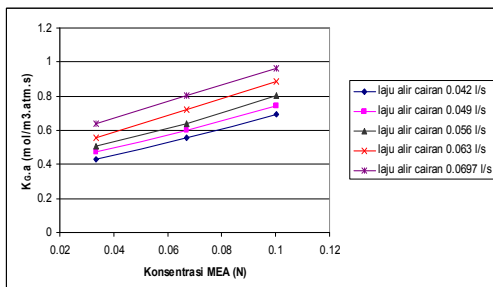


Gambar 2. $K_{G,a}$ vs Laju alir cairan pada konsentrasi MEA 0,091 N

Meningkatnya laju alir gas CO_2 akan menyebabkan harga $K_{G,a}$ akan semakin kecil, namun pada peningkatan laju alir cairan pada laju gas tetap akan menyebabkan harga $K_{G,a}$ meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh dari analisis dimensi yang telah dilakukan mengenai hubungan antara laju lair MEA dengan laju alir gas CO_2 terhadap harga $K_{G,a}$ pada masing_masing konsentrasi MEA. Untuk konsentrasi MEA 0,091 N, diperoleh hubungan :

$$K_{G,a} = 4,9 G^{-0,221} L^{0,751}$$

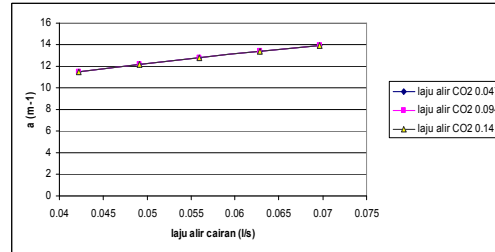
dengan semakin tingginya konsentrasi MEA yang digunakan maka akan semakin banyak pula jumlah MEA yang dapat menyerap gas CO_2 , sehingga gas CO_2 yang terabsorpsi akan semakin banyak dan perpindahan massa yang terjadi semakin besar. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya koefisien perpindahan volumetric overall fase gas, $K_{G,a}$. Sehingga dengan demikian kenaikan konsentrasi MEA akan meningkatkan nilai $K_{G,a}$ seperti terlihat pada Gambar 3.



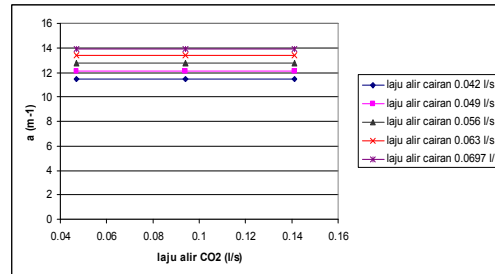
Gambar 3. $K_{G,a}$ vs konsentrasi MEA pada laju alir CO_2 0,047 l/s

Luas interfacial persatuan volume packing a , akan meningkat dengan meningkatnya laju alir cairan MEA seperti pada Gambar 4. Sedangkan laju alir

gas tidak mempengaruhi harga luas interfacial persatuan volume packing seperti terlihat pada Gambar 5. Sedangkan dari perhitungan terlihat bahwa harga a tidak juga dipengaruhi oleh konsentrasi MEA yang dipakai. Hal ini terlihat dari persamaan (9) bahwa harga a hanya dipengaruhi oleh laju alir cairan.



Gambar 4. a vs laju alir cairan pada konsentrasi MEA 0,091 N



Gambar 5. a vs laju alir gas pada konsentrasi MEA 0,091 N

SIMPULAN

Absorpsi CO_2 ke dalam MEA merupakan absorpsi disertai dengan reaksi kimia yang cepat dan terjadi di lapisan film liquid. Penurunan $K_{G,a}$ terjadi ketika laju alir gas CO_2 ditingkatkan.

Semakin tinggi konsentrasi MEA menyebabkan harga $K_{G,a}$ meningkat dan luas interfacial persatuan volume packing nya juga meningkat. Laju alir gas dan konsentrasi MEA tidak berpengaruh terhadap harga luas interfacial persatuan volume packing.

DAFTAR NOTASI

- ρ_{air} = densitas air (kg/m^3)
- ρ_{CO_2} = densitas CO_2 (kg/m^3)
- ρ_{udara} = densitas udara (kg/m^3)
- Z = panjang kolom (m)
- D = diameter kolom (m)
- D_p = diameter packing (m)
- μ = viskositas cairan ($kg/m.s$)
- $P_{percobaan}$ = tekanan pada saat percobaan (atm)
- $P_{lingkungan}$ = tekanan ruang percobaan (atm)
- P_{STP} = tekanan keadaan standar (atm)
- $T_{lingkungan}$ = suhu ruang percobaan ($^{\circ}C$)

T_{STP}	= suhu pada keadaan standar ($^{\circ}C$)
D_A	= difusivitas CO_2 (m^2/s)
D_B	= difusivitas MEA (m^2/s)
D_{AB}	= difusivitas CO_2 dalam MEA (m^2/s)
k	= koefisien difusivitas ($m^3/mol.s$)
σ	= Interfacial Tension atau tegangan permukaan (dyne/cm)
N	= normalitas (N)
M_H	= Modulus Hatta
k_L	= koefisien perpindahan massa fase cair individual (m/s)
a	= luas interfacial per satuan volume packing (m^{-1})
k_G	= koefisien perpindahan massa fase gas individual ($mol/m^2.atm.s$)
$K_{G,a}$	= koefisien perpindahan massa volumetrik overall ($mol/m^3.atm.s$)
K_G	= koefisien perpindahan massa overall ($mol/m^2.atm.s$)
N_A	= laju molar CO_2 (mol/s)
S	= luas permukaan perpind massa (m^2)
L_2	= laju mol cairan masuk (mol/s)
L_1	= laju mol cairan keluar (mol/s)
G_1	= laju alir gas masuk (mol/s)
G_2	= laju alir gas keluar (mol/s)
x_{a2}	= fraksi mol CO_2 dalam cairan masuk
x_{a1}	= fraksi mol CO_2 dalam cairan keluar
y_{a1}	= fraksi mol CO_2 dalam gas masuk
y_{a2}	= fraksi mol CO_2 dalam gas keluar
He	= konstanta Henry (atm/mol frac.)
E	= Enhancement Factor

DAFTAR PUSTAKA

- Aboudheir, D. deMontigny, P. Tontiwachwuthikul, A. Chakma . (1998). *“Important Factors Affecting Carbon Dioxide Removal Efficiency By Using Extra high Concentrated Monoethanolamine Solutions and High-Capacity Packings”*, Process Systems Laboratory, Faculty of Engineering, University of Regina, Regina, Saskatchewan, Canada S4S 0A2, Society of petroleum Engineers, Inc.
- Adisorn Aroonwilas, Paitoon Tontiwachwuthikul *, Amit Chakma. (2003). *“Effects of operating and design parameters on CO_2 absorption in columns with structured packings”*, Process Systems Laboratory, Faculty of Engineering, University of Regina, 3737 Wascana Parkway, Regina, Sask., Canada S 4S 0A2, Separation and Purification Technology, vol.24., hal 403-411.
- Chia-Chang Lin, Wen-Tzong Liu, and Chung-Sung Tan. (2003). *“Removal of Carbon Dioxide by Absorption in a Rotating Packed Bed”*, Union Chemical Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Hsinchu, Taiwan, 300 R.O.C., and Department of Chemical Engineering, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan, 300 R.O.C., Industrial & Engineering Industry, ACS Publications.
- Danckwertz, P.V David W. Agar. (2003., *“Gas Liquid Reaction”*, McGraw – Hill Book Company *“Gas-Liquid Reaction Engineering”*, Chemical Engineering Department IISc Bangalore, University of Dortmund, Short Course.
- Gary T. Rochelle, Manuel A. Pacheco. (1998). *“Rate-Based Modeling of Reactive Absorption of CO_2 and H_2S into Aqueous Methyl-diethanolamine ”*, Departement of Chemical Engineering, The University of Texas at Austin, Ind.Eng.Chem.Res., 37(10), hal 4107-4117.
- Gary T. Rochelle, H-Y. Dang. (2003). *“Carbon Dioxide Absorption Rate and Solubility in Monoethanolamine/Piperazine/Water”*, M S Thesis, The University of Texas at Austin, Separation Science and Technology, Vol.38.
- Geankoplis, Christie J. (1993). *“Transport Processes and Unit Operations”*. Third Edition. Prentice Hal, Inc.
- Levenspiel, O. (1999). *“Chemical Reaction Engineering”*, 3rd ed, John Willey & Sons.
- Perry.H., Don Green. (1976). *“Chemical Engineering Handbook”*, 6th edition, Mc Graw Hill, New York.
- Welty James R., Wicks Charles E., Wilson Robert E. (1984). *“Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer”*, 3rd edition, John Wiley and Inc., Canada.

