

PENGARUH LAJU ALIR GAS DAN CAIRAN PADA ABSORBSI GAS CO₂ OLEH H₂O DALAM *PACKED COLUMN*

Muhammad Hanif dan M. Harun Al Rasid

Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia
E-mail: m222000@gmail.com

ABSTRAK

Jika suatu gas dikontakkan dengan suatu cairan, maka akan terjadi proses difusi, yaitu massa gas akan berpindah kedalam massa cairan begitupun sebaliknya sebagai akibat adanya gradien konsentrasi. Proses berdifusinya fase gas ke dalam fase cair seringkali dikenal sebagai absorpsi gas. Dalam dunia industri, absorpsi dijalankan dalam suatu kolom berupa pelat (*plate column*) atau dalam bentuk kolom isian (*packed column*) yang di dalamnya gas dan cairan dialirkan dalam arah berlawanan (*counter current flow*). Dalam hal ini, absorpsi dilangsungkan dalam suatu *packed column* dengan isian jenis *raschig ring* berbahan dasar *polyethylene*. Absorpsi gas oleh cairan pada kolom absorber dipengaruhi beberapa faktor salah satu diantaranya adalah laju alir gas dan cairan. Analisis terhadap laju alir gas dan cairan pada absorpsi di dalam *packed column* dilakukan untuk mengetahui pengaruh laju alir gas dan cairan terhadap laju penyerapan dalam *packed column* disamping itu juga untuk mendapatkan korelasi empiris antara laju absorpsi (N_A) terhadap laju alir massa cairan (L) gas (G). Untuk mempelajari pengaruh laju alir gas dan cairan pada proses absorpsi fisika ini digunakan gas CO₂ sebagai zat yang diserap (*solute*) dan H₂O sebagai cairan penyerap (*solvent*). Dari data yang diperoleh dihasilkan korelasi empiris antara besaran laju penyerapan gas CO₂ terhadap laju alir gas CO₂ dan H₂O dalam hubungan $N_A = 379 L^{0,118} G^{0,626}$. Pangkat laju alir gas yang lebih besar sekitar 6 kali dibandingkan pangkat laju alir cairan menunjukkan bahwa laju absorpsi gas lebih dipengaruhi oleh besarnya laju aliran gas ke dalam *packed column*.

Kata Kunci: *packed column*, absorber, *raschig ring*, absorpsi gas.

1. PENDAHULUAN

Absorpsi merupakan operasi teknik kimia yang secara luas digunakan dalam industri kimia dan petroleum yang bertujuan untuk pemisahan atau pemurnian gas dari campuran gasnya. Prinsip utama dari absorpsi adalah berkontakannya gas dengan cairan, gas tersebut mempunyai kelarutan terhadap cairan sehingga gas tersebut akan berdifusi ke dalam cairan. Peristiwa ini dipengaruhi oleh laju alir, tekanan gas dan luas antar fase antara gas dan cairan. Absorpsi dalam industri salah satunya diaplikasikan dalam bentuk *packed column*. Alat ini berupa kolom yang berisi isian tempat berkontakannya gas dan cairan serta dilengkapi distributor cairan.

Analisis terhadap laju alir gas dan cairan pada absorpsi di dalam *packed column* dilakukan untuk mengetahui pengaruh laju alir gas dan cairan terhadap laju penyerapan dalam *packed column* disamping itu juga untuk mendapatkan korelasi empiris antara laju absorpsi (N_A) terhadap laju alir massa cairan (L) gas (G).

Packed column merupakan peralatan yang sederhana yang terdiri dari *shell silinder* sebagai kolom berisi isian (*packing*) yang

ditopang oleh *packing support* serta dilengkapi distributor untuk mendistribusikan cairan (Mc Cabe, 1987).

Column shell dapat dibuat dari bahan-bahan seperti logam, *chemical stoneware*, gelas, plastik, atau bahan-bahan lain yang tahan korosi. Untuk keamanan dan kekuatan konstruksinya pada umumnya penampang tower shell berbentuk silinder (Treybal., R.E, 1968).

Packing adalah bahan yang diisikan kedalam tower yang bertujuan untuk memperluas permukaan kontak antara liquid dan gas. *Packing* yang akan dimasukkan ke dalam kolom harus memiliki karakteristik tertentu, yaitu :

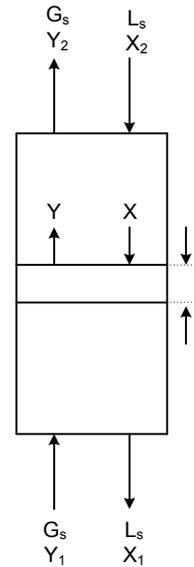
1. Menyediakan kontak luas permukaan yang luas antara gas dan cairan. Luas permukaan dari *packing* per volume dari ruang *packing* a_p haruslah besar tetapi tidak dalam skala mikro.
2. Hanya diperlukan sekali proses laju alir fluida.
3. Pressure drop kecil untuk gas.
4. Dapat digunakan bahan kimia inert untuk memproses fluida.
5. Harus mengandung cukup banyak laluan untuk kedua arus tanpa terlalu banyak

cairan yang terperangkap (*holdup*) atau menyebabkan penurunan tekanan terlalu tinggi.

6. mempunyai struktur yang kokoh, sehingga mempermudah penanganan dan instalasi.
7. Harga relatif murah.

Walaupun terdapat banyak jenis packing dan berbagai macam ukuran dan masing-masing memiliki karakteristik tertentu dalam pengontakan gas dan cairan, baik dari aspek biaya, regenerasi, *interface area*, *pressure drop*, berat dan ketahanan terhadap korosi. Secara umum packing dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *random packing* dan *regular packing*, perbedaan kedua packing ini terletak pada cara pengisiannya pada kolom. *Random packing* dimasukkan dengan cara mencurukannya kedalam kolom sehingga *packing* tersusun secara acak, sedangkan *regular packing* diisikan kedalam tower dengan disusun sedemikian rupa sehingga luas kontakannya besar. *Pall rings*, *intalox saddle*, *rasching ring*, adalah contoh-contoh *random packing* yang sering digunakan pada industri kimia, sedangkan jenis *regular packing* antara lain: *wood grid*, *drip-point grid*, *double spiral ring* dan masih banyak lagi. *Rasching ring* adalah *packing* yang berupa silinder tanpa tutup yang sederhana yang mana diameter luarnya sama dengan tingginya. Bahannya terbuat dari material yang inert, murah dan ringan seperti: porselin, *chemical stoneware*, karbon, plastik dan *metal alloy*. Ukurannya 0,25 sampai 3 inchi mempunyai luas kontak yang cukup besar dan *pressure drop* yang tidak terlalu tinggi (Treybal,R.E., 1968).

Pada penelitian ini digunakan jenis aliran *counter current*. Peristiwa penyerapan gas CO₂ oleh H₂O terjadi karena kontak antara permukaan gas dengan liquid yang terjadi didalam shell dan menggunakan bantuan packing sebagai tempat pengontakan yang membentuk lapisan film. Peristiwa absorpsi akan terjadi seiring dengan laju alir kedua fluida. Gambar 1. menunjukkan pola aliran yang terjadi dalam *packed column*.



Gambar 1. Skema aliran pada *packed column*

Keterangan :

L_s = laju alir cairan bebas *solute* (mol/s.m²)

G_s = laju alir gas bebas *solute* (mol/s.m²)

Y = mol gas *solute*/mol gas inert

X = mol gas *solute*/mol cairan inert

Kesetimbangan fisis menyatakan bahwa

$$L_s(X_2 - X_1) = G_s(Y_2 - Y_1) \tag{1}$$

Persyaratan kontak yang baik antara zat cair dan gas sangat sulit untuk dicapai, terutama pada *column* yang besar. Secara ideal, zat cair setelah didistribusikan mengalir dalam bentuk film tipis keseluruhan permukaan packing dan menuruni kolom. Sebetulnya film itu cenderung menebal pada beberapa tempat tertentu dan menipis pada bagian lain, sehingga zat cair itu mengumpul menjadi arus-arus kecil dan mengalir melalui lintasan-lintasan tertentu didalam packing. Lebih-lebih pada laju aliran rendah, sebagian besar permukaan packing kering. Efek ini disebut pengkalan (*channeling*) yang merupakan salah satu masalah dalam *packed column* (Mc Cabe., 1987).

Secara matematis, hubungan antara laju absorpsi dengan variabel – variabel yang mempengaruhinya merupakan fungsi dari kecepatan massa cairan, kecepatan massa gas, diameter kolom, diameter *packing*; densitas cairan dan gas, viskositas cairan dan gas, koefisien difusi; dan sebagainya.

$$N_A = f(L, G, D, n, \rho_G, \rho_L, \mu_G, \mu_L, D_{AB} \dots) \tag{2}$$

Persamaan (2) dapat diterjemahkan menjadi

$$N_A = f\left(\frac{L}{G}, \frac{D}{n}, \frac{\rho_G}{\rho_L}, \frac{\mu_G}{\mu_L}, \frac{D_{AB}}{\dots}\right) \tag{3}$$

Bila diambil asumsi :

1. D dan n tetap, karena besar kolom dan *packing* tidak berubah
2. $\rho_L, \rho_G, \mu_L, \mu_G, D_{AB}$ tetap, karena kondisi operasi tetap

Dengan asumsi-asumsi di atas, persamaan dapat disederhanakan menjadi

$$N_A = \frac{Q_L \rho_L}{BM_L} \quad (4)$$

Untuk menghitung kecepatan massa gas dan cairan digunakan persamaan

$$L = \frac{Q_L \rho_L}{BM_L} \quad (5)$$

$$G = \frac{Q_G \rho_G}{BM_G} \quad (6)$$

Keterangan :

- L = laju alir cairan (mol/s)
- G = laju alir gas (mol/s)
- ρ_L = densitas cairan (kg/m³)
- ρ_G = densitas gas (kg/m³)
- Q_L = debit cairan (L/menit)
- Q_G = debit gas (L/menit)
- BM_L = berat molekul cairan
- BM_G = berat molekul gas

Laju penyerapan gas ke dalam cairan dihitung dengan persamaan

$$N_A = k_L (C_i - C_o) \quad (7)$$

Koefisien transfer massa cairan (k_L) dihitung dengan persamaan

$$k_L = \left(\frac{3 D_{AB} \Gamma}{\pi \rho \delta} \right)^{1/2} \quad (8)$$

Koefisien difusi (D_{AB}) dihitung dengan persamaan *Chapman dan Enskog*

$$D_{AB} = \frac{0.001858 T^{3/2} \left[\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right]^{1/2}}{P \sigma_{AB}^2 \Omega_{\mu}} \quad (9)$$

Tebal film (δ) dan viskositas dihitung dengan persamaan

$$\delta = \left(\frac{3 \mu \Gamma}{\rho g} \right)^{1/3} \quad (10)$$

$$\mu = 2,6693 \times 10^{-6} \sqrt{\frac{M_A T}{\sigma^2 \Omega_{\mu}}} \quad (11)$$

Keterangan :

- N_A = flux massa (mol/m².s)
- D_{AB} = koefisien difusi (cm²/s)
- k_L = koefisien transfer massa (m/s)
- C = konsentrasi (mol/L)
- Γ = laju alir air/panjang kolom (kg/m.s)
- δ = tebal lapisan film (m)
- ρ = Densitas cairan (kg/m³)
- z = tinggi kolom (m)
- μ = viskositas cairan (kg/m.s)

- T = temperatur kolom (K)
- M_A = berat molekul cairan (H₂O)
- M_B = berat molekul gas (CO₂)
- P = tekanan dalam kolom (atm)

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini:

- a. *Packed column* berbahan dasar fiber.
- b. *Packin* tipe *raschig ring* berbahan dasar *polyethylene* dengan diameter 1/2 in.
- c. *Flowmeter* air dan gas, untuk mengukur laju alir air dan gas.
- d. *Conductivity meter*, sebagai alat untuk mengukur konduktivitas campuran.
- e. Statif dan klem, untuk menjaga agar kolom tetap stabil.
- f. Pompa, untuk mengalirkan air ke dalam kolom.
- g. Manometer, untuk mengukur beda tekanan (pressure drop) kolom.
- h. *Valve*, untuk mengatur laju alir air dan gas.
- i. *Regulator*, untuk mengatur pengeluaran gas.
- j. Selang penghubung.
- k. *Sensor probe*, untuk mengidentifikasi konduktivitas yang dihubungkan ke *conductivity meter*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian

- a. Gas CO₂ murni, sebagai absorbat.
- b. Air murni, sebagai adsorbent.
- c. Larutan Na₂CO₃, sebagai larutan standar, untuk mengukur konduktivitas dengan berbagai konsentrasi yang berbeda dari 0,01 M sampai dengan 0,1 M.

2.2 Prosedur Penelitian

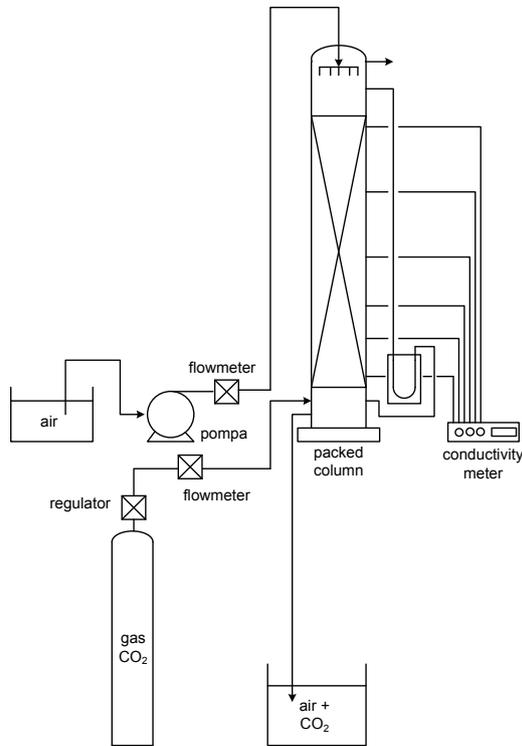
Kerja alat

1. Rangkai alat seperti Gambar 2.
2. Hidupkan pompa untuk mengalirkan air, atur aliran dengan memutar *valve* hingga diperoleh bacaan yang stabil pada *flowmeter*.
3. Alirkan gas CO₂ dengan memutar *valve* tabung gas, atur aliran dengan memutar *valve* hingga diperoleh bacaan yang stabil pada *flowmeter*.
4. Ulangi langkah di atas untuk aliran gas yang berbeda-beda.

Konversi konduktivitas ke konsentrasi

1. Siapkan larutan Na₂CO₃ pada berbagai konsentrasi 0,01 M sampai dengan 0,1 M.

- Ukur konduktivitas tiap konsentrasi larutan untuk setiap sensor probe dengan cara mencelupkan sensor probe kedalam larutan, kemudian catat nilai konduktivitasnya.
- Buatlah kurva hubungan antara konduktivitas dengan konsentrasi, lalu tentukanlah pensamaannya.



Gambar 2. Skema alat penelitian

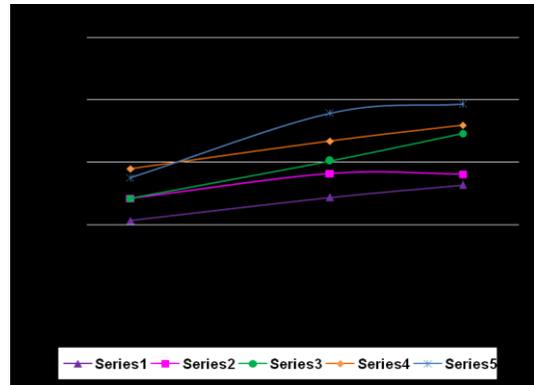
Langkah-langkah perhitungan

- Menghitung kecepatan massa gas (G) dan cairan (L)
- Konversi konduktivitas ke konsentrasi
- Menghitung laju absorpsi (N_A) pada tiap percobaan
- Membuat korelasi antara laju absorpsi (N_A) terhadap kecepatan massa gas (G) dan cairan (L)

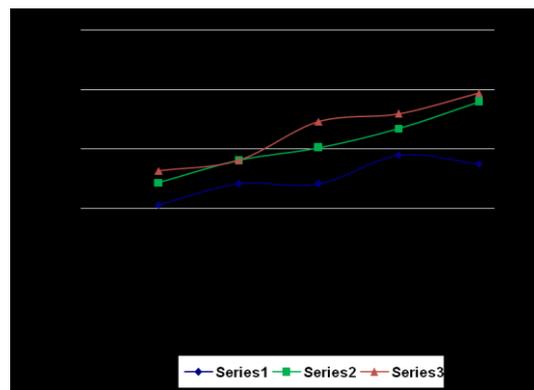
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan yang ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Gambar 4. Terlihat bahwa nilai N_A semakin besar seiring dengan meningkatnya laju alir cairan (L) yang memasuki kolom absorpsi untuk laju alir gas (G) tertentu. Namun besar laju alir cairan pada penelitian ini berada pada rentang $0,004615 \text{ kmol/s} \leq L \leq 0,009230 \text{ kmol/s}$, atau dalam satuan debit berada pada rentang $5 \text{ L/min} \leq L \leq 10 \text{ L/min}$. Laju alir cairan yang memasuki kolom absorber yang berlebih dapat menyebabkan terjadinya

flooding, melimpahnya liquid didalam kolom yang dapat membanjiri kolom. Hal ini tidak boleh terjadi, karena dapat mengganggu proses absorpsi. Untuk itulah batas laju alir yang dipilih berada pada rentang tersebut.



Gambar 3. Plot laju absorpsi N_A vs. laju alir cairan (L) untuk beberapa laju alir gas (G). Series 1, $G = 8,214 \text{ E-06 kmol/s}$, Series 2, $G = 1,1499 \text{ E-05 kmol/s}$, Series 3, $G = 1,4785 \text{ E-05 kmol/s}$, Series 4, $G = 1,8071 \text{ E-05 kmol/s}$, Series 5, $G = 2,1356 \text{ E-05 kmol/s}$



Gambar 4. Plot laju absorpsi N_A vs. laju alir gas (L) untuk beberapa laju alir cairan (L). Series 1, $L = 0,004615 \text{ kmol/s}$, Series 2, $L = 0,007384 \text{ kmol/s}$, Series 3, $L = 0,009230 \text{ kmol/s}$.

Dari hasil penelitian yang ditunjukkan oleh Gambar 3 terlihat bahwa nilai N_A semakin besar seiring dengan meningkatnya laju alir gas (G) pada laju alir cairan (L) tertentu. Akan tetapi besarnya kecepatan gas pada percobaan ini berada pada rentang $8,21404\text{E-06 kmol/s} \leq G \leq 2,13565\text{E-05 kmol/s}$, atau dalam satuan debit berada pada rentang $10 \text{ L/min} \leq G \leq 26 \text{ L/min}$. Kecepatan gas yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya *liquid hold up*. Laju alir gas yang besar akan menekan cairan ke atas, sehingga cairan yang seharusnya bergerak kebawah karena gaya gravitasi akan mendapat gaya keatas, hal inilah yang menyebabkan terjadinya *liquid holdup* yang

dapat mengganggu proses difusi gas oleh cairan.

Pengaruh laju alir cairan L dan laju alir gas G terhadap laju absorpsi dapat diperkirakan dengan membuat hubungan korelasi $N_A = k L^a G^b$. Dengan menggunakan regresi linier multivariabel diperoleh hubungan korelasi dalam bentuk persamaan $N_A = 379 L^{0,118} G^{0,626}$. Pangkat G yang lebih besar hampir 6 kali dibandingkan pangkat L menunjukkan bahwa untuk jenis serta ruang lingkup *packed column* ini pengaruh laju alir gas terhadap laju absorpsi lebih besar dibanding pengaruh laju alir cairan.

4. SIMPULAN

Dari percobaan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Hubungan anantara laju absorpsi terhadap laju alir gas CO₂ dan laju alir H₂O sebagai cairan penyerap dapat dituliskan dalam bentuk korelasi $N_A = 379 L^{0,118} G^{0,626}$.
2. Dari persamaan diatas dapat kita simpulkan bahwa laju alir gas terhadap laju absorpsi berpengaruh lebih besar dari pada laju alir cairan.
3. Laju alir gas yang terlalu besar dapat menyebabkan *liquid hold up* sedangkan laju alir cairan yang terlalu besar dapat menyebabkan *flooding*. Batasan yang diijinkan untuk laju alir gas dan cairan pada percobaan ini adalah $8,21404E-06 \text{ kmol/s} \leq G_s \leq 2,13565E-05 \text{ kmol/s}$ dan $0,004615 \text{ kmol/s} \leq L_s \leq 0.009230 \text{ kmol/s}$.

PUSTAKA

- Welty, J., R., Wicks, C., E., & Wilson, R., E., 1984. *Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer*, Third Edition, John Wiley & Sons, Canada.
- Geankoplis, C., J., 1983. *Transport Processes and Unit Operations*, Third Edition, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Treybal, Robert, E., 1968. *Mass-Transfer Operations*, Third edition, McGraw-Hill Book Company Inc, New York.
- Perry, R., H., & Green, D., W., 1984. *Perry's Chemical Engineers Handbook*, Sixth Edition, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Richardsons, J., F., Harker, J., H., Backhurst, J., R., 1991. *Practice Technology and Separation Processes*, Volume 2, Fourth edition, Butterworth Heinemann, Oxford.
- Bird, Byron, R., 1960. *Transport Phenomena*, John Wiley & Sons, New York.
- McCabe, Warren L., 1985. *Unit Operations of Chemical Engineering*, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.