BABI

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Reaksi kimia yang diterapkan dalam industri kimia dapat melibatkan bahan baku yang berbeda wujudnya, baik berupa padatan, gas maupun cairan. Oleh karena itu, reaksi kimia dalam suatu industri dapat terjadi dalam fase ganda atau heterogen, misalnya biner atau bahkan tersier (Coulson. 1996). Sebelum reaksi kimia berlangsung, salah satu atau lebih bahan baku (reaktan) akan berpindah dari aliran utamanya menuju ke lapisan antarfase / batas atau menuju aliran utama bahan baku yang lain yang berada di fase yang berbeda.

Absorpsi gas-cair merupakan proses heterogen yang melibatkan perpindahan komponen gas yang dapat larut menuju penyerap yang biasanya berupa cairan yang tidak mudah menguap (Franks, 1967). Reaksi kimia dalam proses absorpsi dapat terjadi di lapisan gas, lapisan antarfase, lapisan cairan atau bahkan badan utama cairan, tergantung pada konsentrasi dan reaktifitas bahan-bahan yang direaksikan. Untuk memfasilitasi berlangsungnya tahapantahapan proses tersebut, biasanya proses absorpsi dijalankan dalam reaktor tangki berpengaduk bersparger, kolom gelembung (bubble column) atau kolom yang berisi tumpukan partikel inert (packed bed column). Proses absorpsi gas-cair dapat diterapkan pada pemurnian gas sintesis yang masih bermanfaat dalam gas buang atau bahkan pada industri yang melibatkan pelarutan gas dalam cairan. seperti H₂SO₄, HCl, HNO₃, formadehid dll (Coulson, 1996). Absorpsi gas CO₂ dengan larutan hidroksid yang kuat merupakan proses absorpsi yang disertai dengan reaksi kimia order 2 antara CO₂ dan ion OH⁻ membentuk ion CO₃²⁻ dan H₂O.Sedangkan reaksi antara CO₂ dengan CO₃²⁻ membentuk ion HCO₃⁻ biasanya diabaikan (Danckwerts. 1970; Juvekardan Sharma. 1972). Namun. menurut Rehm et al. (1963) proses ini juga biasa dianggap mengikuti reaksi order 1 jika konsentrasi larutan NaOH cukup rendah (encer).

Perancangan reaktor kimia dilakukan berdasarkan pada permodelan hidrodinamika reaktor dan reaksi kimia yang terjadi di dalamnya. Suatu model matematika merupakan bentuk penyederhanaan dari proses sesungguhnya di dalam sebuah reaktor yang biasanya sangat rumit (Levenspiel, 1972). Reaksi kimia biasanya dikaji dalam suatu proses batch berskala laboratorium dengan mempertimbangkan kebutuhan reaktan, kemudahan pengendalian reaksi, peralatan, kemudahan menjalankan reaksi dan analisis, serta ketelitian.

1.2 Perumusan Masalah

- 1. Bagaimana pengaruh peubah operasi terhadap jumlah CO2 yang terserap pada berbagai waktu reaksi ?
- 2. Bagaimana pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO₂ fase gas (*kga*)?
- 3. Bagaimana pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO₂ fase cair (*kLa*)?
- 4. Bagaimana pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan reaksi antara CO2 dan NaOH (*k*2)?

1.3 Tujuan Percobaan

Setelah melakukan percobaan ini mahasiswa mampu menjelaskan mengenai beberapa hal berikut :

- 1. Pengaruh peubah operasi terhadap jumlah CO₂ yang terserap pada berbagai waktu reaksi.
- 2. Pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO₂ fasa gas (*kga*).
- 3. Pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO₂ fasa cair (*kla*).
- 4. Pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan reaksi antara CO2 dan NaOH (*k*2) dan membandingkannya dengan data tetapan reaksi di literatur.

1.4 Manfaat Percobaan

Mahasiswa dapat memahami reaksi yang terjadi pada reaktan yang berupa gas dan cair (heterogen) dan menerapkannya dalam penelitian perancangan reactor dan alat proses yang terkait.

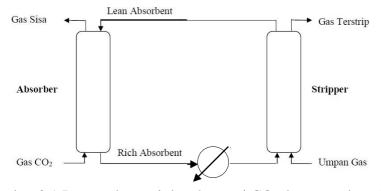
BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Absorpsi

Absorpsi merupakan salah satu proses separasi dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap sehingga satu atau lebih komponen gas tersebut larut dalam cairan. Absorpsi dapat terjadi melalui dua mekanisme, yaitu absorpsi fisik dan absorpsi kimia.

Absorpsi fisik merupakan suatu proses yang melibatkan peristiwa pelarutan gas dalam larutan penyerap, namun tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh proses ini adalah absorpsi gas H₂S dengan air, methanol, propilen karbonase. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik. Mekanisme proses absorpsi fisik dapat dijelaskan dengan beberapa model. yaitu: teori dua lapisan (two films theory) oleh Whiteman (1923), teori penetrasi oleh Dankcwerts dan teori permukaan terbaharui.

Absorpsi kimia merupakan suatu proses yang melibatkan peristiwa pelarutan gas dalam larutan penyerap yang disertai dengan reaksi kimia. Contoh peristiwa ini adalah absorpsi gas CO₂ dengan larutan MEA, NaOH, K₂CO₃ dan sebagainya. Aplikasi dari absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO₂ pada pabrik Amonia seperti yang terlihat pada Gambar 2.1

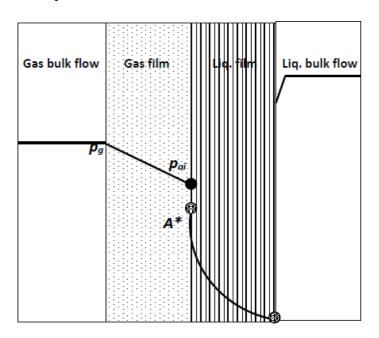


Gambar 2.1 Proses absorpsi dan desorpsi CO2 dengan pelarut MEA di pabrik Amonia

Proses absorpsi dapat dilakukan dalam tangki berpengaduk yang dilengkapi dengan sparger, kolom gelembung (*bubble column*), atau dengan kolom yang berisi packing yang inert (*packed column*) atau piringan (*tray column*). Pemilihan peralatan proses absorpsi biasanya didasarkan pada reaktifitas reaktan (gas dan cairan), suhu, tekanan, kapasitas, dan ekonomi.

2.2 Analisis Perpindahan Massa dan Reaksi dalam Proses Absorpsi Gas Oleh Cairan

Secara umum, proses absorpsi gas CO₂ ke dalam larutan NaOH yang disertai reaksi kimia berlangsung melalui empat tahap, yaitu perpindahan massa CO₂ melalui lapisan gas menuju lapisan antarfase gas-cairan, kesetimbangan antara CO₂ dalam fase gas dan dalam fase larutan, perpindahan massa CO₂ dari lapisan gas ke badan utama larutan NaOH dan reaksi antara CO₂ terlarut dengan gugus hidroksil (OH). Skema proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar2.2. Mekanisme absorpsi gas CO2 dalam larutan NaOH Laju perpindahan massa CO2 melalui lapisan gas:

$$Ra = kga (pg - pai) \tag{1}$$

Kesetimbangan antara CO2 dalam fase gas dan dalam fase larutan :

$$A^* = h. (2)$$

dengan H pada suhu 30° C = $2.88 \cdot 10^{-5}$ g mole/cm³. atm.

Laju perpindahan massa CO₂ dari lapisan gas ke badan utama larutan NaOH dan reaksi antara CO₂ terlarut dengan gugus hidroksil :

$$Ra = [A^*]a\sqrt{D_A k_2 \cdot [OH^-]}$$
 (3)

Keadaan batas:

(a)
$$\frac{\sqrt{D_A k_2 \cdot [OH^-]}}{k_L} > > 1$$

(b)
$$\frac{\sqrt{D_A k_2 \cdot [OH^-]}}{k_I} < < < \frac{[OH^-]}{z \cdot A^*} \sqrt{\frac{D_A}{D_B}}$$

dengan z adalah koefisien reaksi kimia antara CO₂ dan [OH⁻], yaitu = 2. Di fase cair, reaksi antara CO₂ dengan larutan NaOH terjadi melalui beberapa tahapan proses :

NaOH (s)
$$\longrightarrow Na^{+}(l) + OH^{-}(l)$$
 (a)

$$CO_2(g)$$
 \longleftrightarrow $CO_2(l)$ (b)

$$HCO_3^-(l) + OH^-(l)$$
 \longleftarrow $H_2O(l) + CO_3^{2-}(l)$ (d)

$$CO_3^{2-} + Na^+ (1)$$
 \longrightarrow $Na_2CO_3 (1)$ (e)

Langkah d dan e biasanya berlangsung dengan sangat cepat, sehingga proses absorpsi biasanya dikendalikan oleh peristiwa pelarutan CO₂ ke dalam larutan NaOH terutama jika CO₂ diumpankan dalam bentuk campuran dengan gas lain atau dikendalikan bersama-sama dengan reaksi kimia pada langkah c (Juvekar dan Sharma, 1973).

Eliminasi *A** dari persamaan 1. 2 dan 3 menghasilkan :

$$Ra = \frac{a.H.pg.\sqrt{D_{A} k_{2}.[OH^{-}]}}{1 + \frac{a.H.\sqrt{D_{A} k_{2}.[OH^{-}]}}{k_{Ga}}}$$
(4)

Jika nilai k_L sangat besar, maka: $\frac{\sqrt{D_A k_2 \cdot [OH^-]}}{k_L} \approx 1$, sehingga persamaan di atas menjadi :

$$Ra = \frac{a.H.pg.\sqrt{D_A k_2.[OH^-] + k_L^2}}{1 + \frac{a.H.\sqrt{D_A k_2.[OH^-] + k_L^2}}{k_{Ga}}}$$
(5)

Jika keadaan batas (b) tidak dipenuhi. berarti terjadi pelucutan [OH-] dalam larutan.Hal ini berakibat:

$$\frac{\sqrt{D_A k_2 \cdot [OH^-]}}{k_L} \approx \frac{[OH^-]}{z \cdot A^*} \sqrt{\frac{D_A}{D_B}}$$
(6)

Dengan demikian, maka laju absorpsi gas CO2 ke dalam larutan NaOH akan mengikuti persamaan:

$$Ra = \frac{a.H.pg.\phi k_L}{1 + \frac{a.H.\phi k_L}{k_{Ga}}}$$
(7)

Dengan ϕ adalah enhancement faktor yang merupakan rasio antara koefisien transfer massa CO2 pada fase cair jika absorpsi disertai reaksi kimia dan tidak disertai reaksi kimia seperti dirumuskan oleh Juvekar dan Sharma (1973):

$$\phi = \frac{\sqrt{D_A k_2 \cdot [OH^-]}}{k_L} \left[\frac{1 + \frac{[OH^-]}{z \cdot A^*} \frac{D_B}{D_A} \cdot \phi}{\frac{[OH^-]}{z \cdot A^*} \frac{D_B}{D_A}} \right]^{1/2}$$
(8)

Nilai diffusivitas efektif (DA) CO2 dalam larutan NaOH pada suhu 30°C adalah 2.1 x 10⁻⁵ cm²/det (Juvekardan Sharma, 1973).

Nilai k_{Ga} dapat dihitung berdasarkan pada absorpsi fisik dengan meninjau perpindahan massa total CO2 ke dalam larutan NaOH yang terjadi pada selang waktu tertentu di dalam alat absorpsi. Dalam bentuk bilangan tak berdimensi, k_{Ga} dapat dihitung menurut persamaan (Kumoro dan Hadiyanto. 2000):

$$\frac{k_{Ga}.dp^2}{D_A} = 4,0777 \times \left(\frac{\rho_{CO2}.Q_{CO2}}{\mu_{CO2}.a}\right)^{1,4003} \times \left(\frac{\mu_{CO2}}{\rho_{CO2}.D_A}\right)^{1/3}$$
Dengan $a = \frac{6(1-\varepsilon)}{dp} \operatorname{dan} \varepsilon = \frac{V \operatorname{void}}{V_T}$ (9)

Secara teoritik, nilai
$$kGa$$
 harus memenuhi persamaan:

$$k_{GA} = \frac{mol(CO_2, liq)}{A.Z.\varepsilon.p_{lm}} = \frac{mol(CO_3^{2-})}{A.Z.\varepsilon.p_{lm}}.$$
(10)

Jika tekanan operasi cukup rendah. maka p_{lm} dapat didekati dengan $\Delta p =$ pin-pout.

Sedangkan nilai kia dapat dihitung secara empirik dengan persamaan (Zheng dan and Xu, 1992):

$$\frac{k_{la}.dp}{D_A} = 0.2258 \times \left(\frac{\rho_{NaOH}.Q_{NaOH}}{\mu.a}\right)^{0.3} \times \left(\frac{\mu}{\rho.D_A}\right)^{0.5}$$
(11)

Jika laju reaksi pembentukan Na₂CO₃ jauh lebih besar dibandingkan dengan laju difusi CO2 ke dalam larutan NaOH, maka konsentrasi CO2 pada batas film cairan dengan badan cairan adalah nol. Hal ini disebabkan oleh konsumsi CO2 yang sangat cepat selama reaksi sepanjang film. Dengan demikian tebal film (x) dapat ditentukan persamaan :

$$x = \frac{D_A.(p_{in} - p_{out})}{mol(CO_3^{2-}).R.T}$$
(12)

BAB III

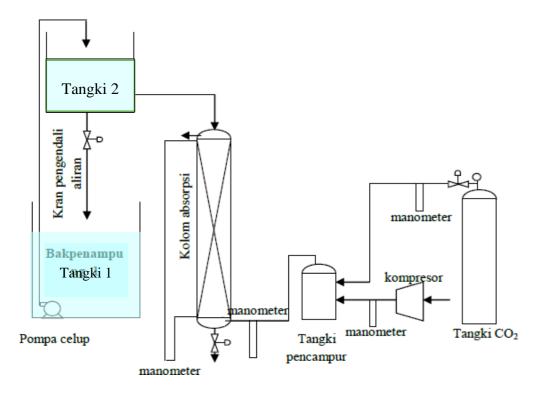
PELAKSANAAN PERCOBAAN

3.1 Bahan dan Alat yang Digunakan

- 1. Bahan yang digunakan
 - a. Kristal Natrium Hidroksida (NaOH)
 - b. Gas Karbondioksida (CO2) yang disimpan di tabung bertekanan
 - c. Udara
 - d. Aquadest (H2O)
 - e. Reagent untuk analisis yaitu larutan HCl, indikator PP, dan MO

2. Alat yang digunakan

Rangkaian alat praktikum absorpsi terlihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Rangkaian Alat Utama

3.2 Respon Uji Hasil

Konsentrasi ion CO₃²- dalam larutan sampel dan CO₂ yang terserap.

3.3 Prosedur Percobaan

1. Membuat larutan induk NaOH

Larutan NaOH dibuat dengan cara menimbang NaOH seberat . . .gram dan dilarutkan dalam aquadest 10 L, kemudian larutan NaOH ditampung dalam tangki untuk digunakan.

2. Menentukan fraksi ruang kosong pada kolom absorpsi

Pertama, kran di bawah kolom absorpsi dalam posisi tertutup. Setelah itu, mengalirkan larutan NaOH dari bak penampung 2 ke dalam kolom absorpsi. Selanjutnya, menghentikan aliran jika tinggi cairan di dalam kolom tepat setinggi tumpukan packing. Mengeluarkan aliran di dalam kolom dengan membuka kran di bawah kolom, cairan tersebut ditampung di dalam erlenmeyer atau gelas ukur, kemudian kran ditutup jika cairan dalam kolom tepat berada pada packing bagian paling bawah. Mencatat volume cairan sebagai volume ruang kosong dalam kolom absorpsi = Vvoid. Menentukan volume total kolom absorpsi, yaitu dengan mengukur diameter kolom (D) dan $V_T = \frac{\pi D^2 \cdot H}{4}$ tinggi tumpukan packing (H), Kemudian menghitung fraksi ruang kosong kolom absorpsi $\varepsilon = \frac{Vvoid}{V}$.

3. Operasi Absorpsi

Operasi absorpsi dilakukan dengan memompa larutan NaOH sesuai variabel ke dalam kolom melalui bagian atas kolom dengan laju alir tertentu hingga keadaan mantap tercapai. Selanjutnya mengalirkan gas CO2 melalui bagian bawah kolom dan ukur beda ketinggian cairan dalam manometer. Kemudian mengambil 10 mL sampel cairan dari dasar kolom absorpsi tiap 1 menit selama 10 menit dan dianalisis kadar ion karbonat atau kandungan NaOH bebasnya.

4. Menganalisis sampel

Mula-mula mengambil 10 mL sampel cairan yang ditempatkan dalam erlenmeyer. Selanjutnya menambahkan indikator PP 3 tetes dan sampel dititrasi dengan larutan HCl sesuai variabel sampai warna merah hampir hilang (kebutuhan titran = a mL). Kemudian menambahkan 2-3 tetes indikator metil jingga (MO) dan titrasi dilanjutkan lagi sampai warna jingga berubah menjadi merah (kebutuhan titran=b mL).

3.4 Lembar Pengamatan

3.4.1 Variabel Operasi

a. Variabel tetap

1. Tekanan CO₂: 6,5 bar

2. Suhu: 30°C

3. Konsentrasi HCl:

b. Variabel berubah

	Konsentrasi NaOH:		
	Laju Alir NaOH:		
3.4.2	Data		
	- V void:		
	- ΔZ_1 :		

Variabel 1

t (menit)	Va (ml)	Vb (ml)
0		
1		
10		

- Δ Z₂:

- Δ Z₃:

Variabel 2

t (menit)	Va (ml)	Vb (ml)
0		
1		
•••		
10		

Variabel 3

	t (menit)	Va (ml)	Vb (ml)
\	0		
	1		
	•••		
	10		

DAFTAR PUSTAKA

- Coulson. J. M.. & Richardson. J. F. (1996). *Chemical Engineering: Volume 1:* Fluid flow. heat transfer and mass transfer (5th ed.). London: Butterworth Heinemann.
- Danckwerts. P. V. (1970). *Gas Liquid Reactions* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Book Company. Inc.
- Danckwerts. P. V.. & Kennedy. B. E. (1954). Kinetics of liquid-film process in gas absorption. Part I: Models of the absorption process. *Transaction of the Institution of Chemical Engineers*. 32. S49–S52.
- Franks. R. G. E. (1967). *Mathematical modeling in chemical engineering*. New York: John Wiley and Sons. Inc.
- Juvekar. V. A.. & Sharma. M. (1972). Absorption of CO. in suspension of lime.
 Chemical Engineering Science. 28. 825–837.
- Kumoro. & Hadiyanto. (2000). Absorpsi Gas Karbondioksid dengan Larutan Soda Api dalam Ungun Tetap. *24*(2). 186–195.
- Levenspiel. O. (1972). *Chemical Reaction Engineering. Chemical Engineering Science* (2nd ed., Vol. 19). New York: John Wiley and Sons. Inc. http://doi.org/10.1016/0009-2509(64)85017-X
- Rehm. T. R.. Moll. A. J.. & Babb. A. L. (1963). Unsteady State Absorption of Carbon Dioxide by Dilute Sodium Hydroxide Solutions. *American Institute of Chemical Engineers Journal*. *9*(5). 760–765.
- Zheng. Y. and Xu. X. (1992). Study on catalytic distillation processes. Part I. Mass transfer characteristics in catalyst bed within the column. *Transaction of the Institution of Chemical Engineers*. (Part A) 70. 459–464.