

## ABSORPSI GAS KARBONDIOKSID DENGAN LARUTAN SODA API DALAM KOLOM UNGGUN TETAP

Andri Cahyo Kumoro dan Hadiyanto \*

### ABSTRACT

Absorption is one of mass transfer processes to separate a specific gas from its mixture using suitable absorbent. Absorption of  $\text{CO}_2$  from its mixture is usually done using Na OH, MEA or  $\text{K}_2\text{CO}_3$  solution. In this research, a gas mixture contains  $\text{CO}_2$  was contacted with NaOH solution as absorbent in a fixed bed column. This research also studied the effect of NaOH solution flow rates at the range of 0.026 to 0.042 L/s to the absorption rates. On the other hand, operating pressure, gas flow rates, type and packing size, and  $\text{CO}_2$  initial concentration were maintained at constant value.

Physico-chemical analysis was developed as a mathematics model to determine combined gas-liquid mass transfer coefficient at gas side ( $K_g a$ ) and reaction rate constant. All coefficients were determined for absorption column design data which are accurate and suitable to be applied in industry.

Experimental research result shows that determined gas-liquid mass transfer coefficient ( $K_g a$ ) of  $\text{CO}_2$  - NaOH absorption system were affected by liquid flow rates. The higher value of Na OH solution flow rates gave higher value of  $K_g a$ . The  $K_g a$  was in the range of  $1.1775 \cdot 10^{-1}$  to  $3.4748 \cdot 10^{-1}$  (1/second) at liquid flow rate 0.026 - 0.042 L/s.. The calculated reaction rate constant was at constant value  $1.002 \times 10^{-1}$  (mL/mol.second). The volumetric gas-liquid mass transfer coefficients at gas side found from the experiments can be written in term of Sherwood and Reynolds number as follows:  $S_h = 4.0777 R_e^{1.4003} \cdot S_c^{1/3}$ , with average relative error of 1.5391 %. The equation is valid for Reynolds number at the range of 13.2347 to 21.3789.

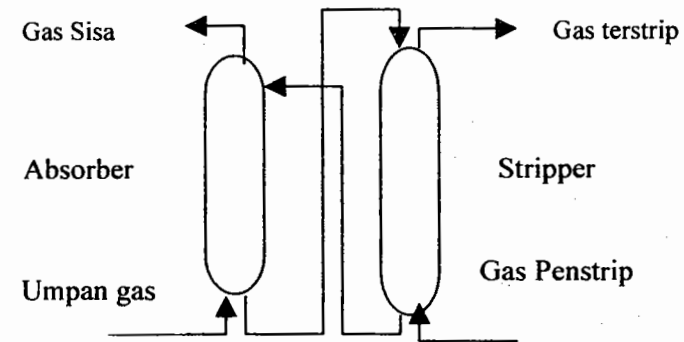
**Key words** : Absorption,  $K_g a$ , reaction rate constant

### PENDAHULUAN

Absorpsi merupakan salah satu operasi pemisahan dalam industri kimia di mana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap yang sesuai, sehingga satu atau lebih komponen dalam campuran gas larut dalam cairan penyerap. Absorpsi

dapat berlangsung dalam dua macam proses, yaitu absorpsi fisik atau absorpsi kimia (Treyball, 1981).

Absorpsi fisik merupakan absorpsi di mana gas terlarut dalam cairan penyerap tanpa disertai dengan reaksi kimia. Absorpsi gas  $\text{H}_2\text{S}$  dengan air, metanol, atau propilen karbonat merupakan contoh yang baik untuk peristiwa ini yang sering dijumpai di industri kimia. Penyerapan gas oleh pelarut terjadi karena adanya interaksi fisik. Absorpsi kimia merupakan absorpsi di mana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan reaksi kimia. Peristiwa absorpsi ini dapat dipelajari pada absorpsi gas  $\text{CO}_2$  dengan larutan MEA, NaOH,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dan sebagainya. Aplikasi absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas  $\text{CO}_2$  pada pabrik Amonia. Absorpsi kimia dalam fase cair sering digunakan untuk mengeluarkan zat terlarut dengan lebih sempurna dari campuran gasnya. Suatu keuntungan dalam absorpsi kimia adalah dengan adanya reaksi kimia, maka nilai koefisien perpindahan massa ( $K_g a$ ) menjadi lebih besar dibandingkan absorpsi tanpa reaksi kimia (Meldon, 1999). Peristiwa absorpsi biasanya diikuti dengan peristiwa stripping untuk melepaskan kembali gas yang terserap. Konfigurasi antara peristiwa absorpsi dengan stripping dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Konfigurasi absorber-stripper pada pabrik Amonia

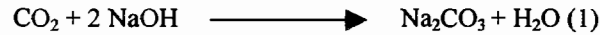
Dalam rangka memperluas permukaan kontak antar fase gas-cair, digunakan kolom berisi packing (*packed coloumn*). Pemilihan *packing* dilakukan dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut (Perry and Green, 1984):

1. Memiliki luas permukaan terbasahi tiap unit volum yang besar..
2. Memiliki ruang kosong yang cukup besar sehingga kehilangan tekanan kecil.
3. Karakteristik pembasahan baik.
4. Densitas kecil agar berat kolom keseluruhan kecil.
5. Tahan korosi dan ekonomis.

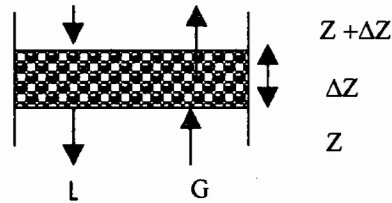
Beberapa jenis packing yang sering digunakan antara lain *rasching ring*, *intalox saddle*, dan *pall ring*.

LANDASAN TEORI

Reaksi antara gas CO<sub>2</sub> dengan larutan NaOH mengikuti persamaan (Meldon, 1999):



Reaksi dianggap merupakan reaksi satu arah dan berorde 2 (Danckwerts, 1970). Pada absorpsi gas oleh cairan yang dilakukan dalam kolom yang berisi unggun tetap dan berlangsung isothermal, maka elemen volum kolom yang ditinjau sebesar ( $\pi D^2 \Delta Z$ ) dapat disajikan dalam bentuk gambar 2 berikut ini :



Gambar 2. Elemen volum bidang kontak antar fase gas-cair

Apabila peristiwa absorpsi gas karbondioksida dalam larutan soda api dianggap berlangsung di fase cair, maka dapat disusun model matematis untuk mewakili peristiwa tersebut. Model matematik disusun dengan anggapan sebagai berikut :

1. Aliran gas dan cairan mengikuti pola aliran sumbat.
2. Sifat fisis gas dan cairan tetap.
3. Gas mengikuti hukum gas ideal.
4. Reaksi berlangsung di fase cair.
5. Proses berlangsung pada keadaan tunak.

Neraca massa gas karbondioksida (A) di fase gas :

$$\frac{dC_{Ag}}{dZ} = \frac{K_g a}{G} (C_{Ag} - C_{Ag}^*) \frac{\pi D^2}{4} \quad (2)$$

Neraca massa A pada fase cair di sepanjang elemen volum kolom A Δz, menghasilkan persamaan :

$$\frac{d(C_{AL})}{dZ} = \frac{\pi D^2}{4L} \left\{ K_g a (C_{Ag} - C_{Ag}^*) - k C_{AL} C_{BL} \right\} \quad (3)$$

Neraca massa soda api (B) pada fase cair pada elemen volum yang sama, menghasilkan persamaan :

$$d(C_{BL}) = -2. \pi D^2 L C_{AL} C_{BL} \quad (4)$$

dengan keadaan batas :

Pada Z = 0, maka C<sub>Ag</sub> = C<sub>Agout</sub>; C<sub>Al</sub> = C<sub>ALin</sub>; C<sub>BL</sub> = C<sub>BLin</sub>

Pada Z = L, maka C<sub>Ag</sub> = C<sub>Agin</sub>; C<sub>AL</sub> = C<sub>ALout</sub>; C<sub>BL</sub> = C<sub>BLout</sub>

Kesetimbangan fase gas dengan cairan adalah :

$$C_{Ag}^* = H \cdot C_{AL} \quad (5)$$

Persamaan (2) hingga (4) yang berupa persamaan diferensial ordiner dan persamaan (5) diselesaikan secara serentak dengan metode Runge Kutta. Sedangkan nilai K<sub>g</sub>a dan k dicari dengan metode Hooke-Jeeves untuk memperoleh nilai K<sub>g</sub>a dan k yang optimum. Optimasi dilakukan dengan meminimasi jumlah selisih kuadrat antara nilai C<sub>Ag</sub>, C<sub>AL</sub>, dan C<sub>BL</sub> yang diperoleh dari percobaan dengan C<sub>Ag</sub>, C<sub>AL</sub>, dan C<sub>BL</sub> yang dihitung dengan simulasi (Sediawan dan Prasetya, 1997).

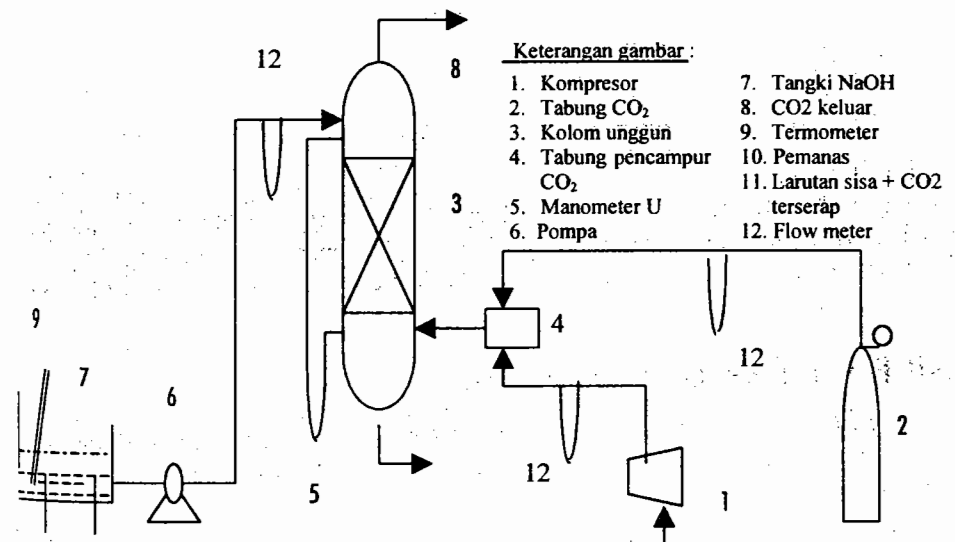
CARA PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan adalah larutan NaOH 0,1 N, dan campuran antara gas CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi awal CO<sub>2</sub> 56,8 % dengan laju alir 0,526 L/detik dan udara dengan laju alir 0,4 L/detik.

Alat

Rangkaian alat percobaan absorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan larutan Na OH dapat dilihat pada gambar 3.



- Keterangan gambar :
- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1. Kompresor                        | 7. Tangki NaOH                              |
| 2. Tabung CO <sub>2</sub>           | 8. CO <sub>2</sub> keluar                   |
| 3. Kolom unggun                     | 9. Termometer                               |
| 4. Tabung pencampur CO <sub>2</sub> | 10. Pemanas                                 |
| 5. Manometer U                      | 11. Larutan sisa + CO <sub>2</sub> terserap |
| 6. Pompa                            | 12. Flow meter                              |

Gambar 3. Rangkaian alat percobaan absorpsi CO<sub>2</sub>

Packing yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk silinder dari kaca dengan panjang 1 cm, diameter luar 0,5 cm dan diameter dalam 0,45 cm. Packing disusun di dalam kolom setinggi 30 cm hingga terbentuk unggun tetap dengan porositas 0,4. Kolom absorpsi berupa pipa kaca yang mempunyai diameter 4 cm dan panjangnya 45 cm.

Pada penelitian ini variabel yang dipelajari adalah sebagai berikut :

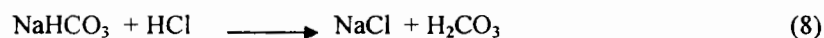
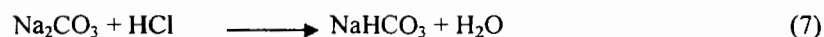
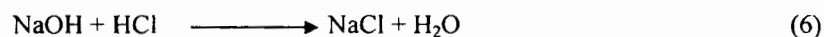
Laju alir NaOH (liter/detik) = 0,026; 0,031; 0,036; 0,039; 0,042

Suhu percobaan = 40 °C

## PELAKSANAAN PENELITIAN

Sebelum percobaan utama dilakukan, semua alat ukur aliran dikalibrasi untuk mengetahui keseksamaannya. Hal yang sama juga dilakukan pada alat pengukur suhu pada tangki penampung larutan NaOH yang dipasang pemanas.

Mula-mula larutan NaOH 0,1 dialirkan dari tangki penampung NaOH menuju kolom absorpsi melalui puncak kolom sesuai dengan laju alir yang diinginkan hingga alirannya mantap. Kemudian, campuran gas yang terdiri dari gas CO<sub>2</sub> dan udara dialirkan dari bawah kolom. Campuran gas diperoleh dengan mencampur kedua gas dengan laju alir gas CO<sub>2</sub> 0,526 L/detik dan udara dengan laju alir 0,4 L/detik. Absorpsi dibiarkan terus berlangsung sampai dicapai keadaan tunak. Keadaan tunak dikatakan telah tercapai jika jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap larutan NaOH telah mencapai nilai yang konstan. Keadaan tersebut ditandai dengan konsentrasi larutan NaOH sisa yang keluar dari kolom absorpsi sudah konstan. Konsentrasi NaOH bebas dalam cairan yang keluar kolom absorpsi ditentukan secara volumetri menggunakan larutan asam klorid standar. Selama titrasi akan terjadi reaksi-reaksi berikut (Griffin, 1955) :



Titik ekuivalen untuk reaksi (6) dan (7) ditentukan dengan bantuan indikator fenolftalin, sedangkan reaksi (8) ditentukan titik ekuivalennya dengan bantuan indikator metil jingga. Jika jumlah HCl yang dibutuhkan pada reaksi (6) dan (7) sebanyak x mol dan HCl yang dibutuhkan untuk reaksi (8) adalah y mol, maka jumlah NaOH bebas adalah (2x - y) mol.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

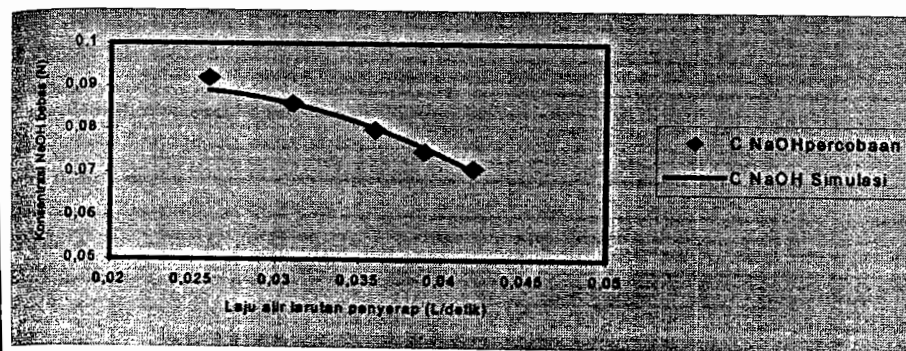
Berdasarkan data-data percobaan yang diperoleh dan dilakukan perhitungan simulasi dengan bantuan komputer, maka hasil penelitian ini dapat disajikan sebagai berikut :

1. Hubungan antara laju alir larutan penyerap dengan konsentrasi NaOH bebas pada keadaan tunak

Daftar 1. Konsentrasi NaOH bebas dalam larutan keluar kolom absorpsi pada keadaan tunak

Laju alir Larutan penyerap (L/detik)	C <sub>NaOH</sub> percobaan (N)	C <sub>NaOH</sub> simulasi (N)
0,026	0,0920	0,0893
0,031	0,0860	0,0850
0,036	0,0800	0,0821
0,039	0,0750	0,0746
0,042	0,0710	0,0708

Selanjutnya, hasil percobaan dan hasil perhitungan dengan simulasi juga ditampilkan dalam gambar 4 berikut :



Gambar 4. Konsentrasi NaOH bebas dalam larutan keluar absorber pada berbagai laju alir larutan penyerap.

Berdasarkan daftar 1 dan gambar 4, dapat diketahui bahwa nilai konsentrasi NaOH bebas dalam larutan keluar absorber hasil simulasi sangat dekat dengan nilai konsentrasi NaOH bebas dalam larutan keluar absorber yang diperoleh dari percobaan. Hal ini menunjukkan bahwa model matematik yang diusulkan dapat mewakili peristiwa reaksi gas karbondioksida dengan larutan NaOH dalam kolom bahan isian dengan baik.

Hubungan antara koefisien perpindahan massa gas-cair dengan laju alir penyerap Hasil perhitungan koefisien perpindahan massa antar fase gas-cair yang diperoleh pada penelitian ini tertera pada daftar 2.

**Daftar 2.** Hubungan koefisien perpindahan massa gas-cair dengan laju alir penyerap pada suhu 40°C

Laju alir (L/detik)	K <sub>ga</sub> (1/detik)
0,026	0,1775
0,031	0,2240
0,036	0,2754
0,039	0,3117
0,042	0,3474

Pada daftar 2 dapat dilihat bahwa pada suhu tetap, kenaikan laju alir larutan penyerap (NaOH) dapat meningkatkan koefisien perpindahan massa antar fase gas-cair (K<sub>ga</sub>). Hal ini dapat terjadi, karena dengan semakin tinggi laju alir cairan, maka kontak fase antara gas dengan cairan semakin baik. Dengan demikian, maka jumlah gas yang dapat berpindah dari fase gas menuju fase cair juga semakin besar. Jika keadaan keseimbangan telah tercapai, maka perpindahan massa gas menuju cairan akan berhenti. Kemampuan gas untuk berpindah dari fase gas menuju cairan dibatasi oleh daya larut maksimum gas tersebut dalam cairan yang berkontak dengannya. Namun, nilai koefisien perpindahan massa gas-cair juga dipengaruhi oleh reaksi kimia yang terjadi. Semakin cepat reaksi kimia terjadi, maka jumlah gas yang ditransfer dari gas ke cairan harus juga semakin besar.

3. Hubungan antara laju alir larutan Na OH dengan tetapan laju reaksi

Nilai tetapan laju reaksi gas CO<sub>2</sub> dengan larutan NaOH dengan menganggap reaksi merupakan order 2, tersaji pada daftar 3.

**Daftar 3.** Hubungan antara laju alir larutan NaOH dengan tetapan laju reaksi (k)

Laju alir (L/detik)	k x 10 <sup>-4</sup> , (mL/ mol.detik)
0,026	1,0002
0,031	1,0002
0,036	1,0002
0,039	1,0002
0,042	1,0002

Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai tetapan laju reaksi tidak dipengaruhi oleh laju alir larutan NaOH. Hal ini menegaskan bahwa perbandingan jumlah pereaksi ternyata tidak mempengaruhi tetapan laju reaksi. Menurut Hill (1981), tetapan laju reaksi hanya dipengaruhi oleh suhu reaksi, faktor frekuensi tumbukan, dan konsentrasi katalis.

4. Hubungan antara koefisien perpindahan massa gas-cair (K<sub>ga</sub>) dengan laju alir larutan penyerap dalam bentuk bilangan tak berdimensi.

Karakteristik aliran cairan di dalam unggun berbeda dengan karakteristik aliran melalui partikel tunggal, maka bilangan Reynolds yang dipakai dalam aliran melalui unggun juga berbeda dengan bilangan Reynolds untuk aliran melalui partikel tunggal. Di dalam unggun, partikel-partikel bahan isian saling berhimpitan dan membentuk rongga. Akibatnya, luas permukaan efektif masing-masing partikel mengalami perubahan. Oleh karena itu, Mackowiak (1991) menyarankan pemakaian luas permukaan spesifik partikel dalam kolom bahan isian untuk menyatakan bilangan Reynolds. Dengan demikian, bilangan Reynolds dinyatakan dengan  $Re = (\rho \cdot L / \mu \cdot a)$ . Jika dilakukan analisis dimensi untuk menyatakan hubungan antara koefisien perpindahan massa gas-cair (K<sub>ga</sub>) dengan laju alir larutan penyerap secara empiris, maka diperoleh persamaan  $Sh = 4,0777 Re^{1,4003} \cdot Sc^{1/3}$ . Hasil perhitungan K<sub>ga</sub> hasil simulasi dan K<sub>ga</sub> hasil hitungan dengan persamaan empiris tertera pada daftar 4.

**Daftar 4.** Hubungan antara koefisien perpindahan massa gas-cair (K<sub>ga</sub>) dengan laju alir larutan penyerap dalam bentuk bilangan tak berdimensi.

Bilangan Reynold (Re)	K <sub>ga</sub> (1/detik) Hasil optimasi	K <sub>ga</sub> (1/detik) Hasil hitungan empiris	Ralat relatif, %
13,2347	0,1775	0,1763	0,6807
15,7799	0,2240	0,2130	5,1643
18,3251	0,2754	0,2780	0,9353
19,8520	0,3117	0,3110	0,2251
21,3789	0,3474	0,3450	0,6896

Persamaan tersebut mempunyai ralat relatif rata-rata sebesar 1,5391, dan berlaku untuk bilangan Reynold pada kisaran 13,2347 sampai 21,3789.

**Pembandingan Penelitian ini dengan Penelitian Sejenis Sebelumnya.**

Spector dan Dodge (1946) telah mengkaji peristiwa sejenis menggunakan raschig ring sebagai bahan isian, dan memperoleh K<sub>ga</sub> sekitar 2,1 - 2,8 (lbmol/j.ft<sup>3</sup>.atm) atau 8,6580 - 40,5844 (1/detik) pada laju alir larutan NaOH 800 - 5000 (lb/j.ft<sup>2</sup>). Sedangkan Leva (1955) memperoleh nilai K<sub>ga</sub> 1,2 - 1,76 (lbmol/j.ft<sup>3</sup>.atm) atau 14,2045 - 38,7397 (1/detik) pada laju alir NaOH 750 - 3000 (lb/j.ft<sup>2</sup>). Nilai luas permukaan spesifik raschig ring jauh lebih besar dibandingkan dengan potongan silinder kaca halus yang dipakai sebagai bahan isian pada penelitian ini. Selain itu, laju alir larutan NaOH 0,1 N yang dipakai sebagai penyerap pada kedua penelitian di atas juga jauh lebih besar dibandingkan dengan laju alir yang dipakai pada penelitian ini. Hal ini mengakibatkan nilai K<sub>ga</sub> pada kedua penelitian tersebut juga lebih besar dibandingkan dengan K<sub>ga</sub> yang diperoleh pada penelitian ini. Namun, kedua penelitian tersebut di atas tidak meninjau tetapan laju reaksi dan order reaksi antara gas karbondioksida dengan NaOH. Danckwerts (1970) menyatakan bahwa tetapan laju reaksi antara gas karbondioksida dengan NaOH

larutan NaOH pada suhu 40 °C dalam reaktor tangki berpengaduk yang dilengkapi dengan pengelembung gas adalah  $10^4$  (mL/mol.detik). Sedangkan pada penelitian ini diperoleh tetapan laju reaksi  $1,0002 \times 10^4$  (mL/mol.detik), dan menunjukkan bahwa nilai tetapan laju reaksi tidak dipengaruhi oleh jenis reaktor yang dipakai. Hal ini berarti bahwa penelitian ini memberikan nilai tambah bagi perancangan absorber untuk menghilangkan gas karbondioksida dengan diperolehnya tetapan laju reaksi, order reaksi, dan koefisien perpindahan massa volumetris antar fase gas-cair dalam kolom bahan isian.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai koefisien perpindahan massa antar fase gas-cair ( $K_{ga}$ ) pada sistem absorpsi  $\text{CO}_2$  - larutan NaOH berkisar antara 0,1775 sampai 0,3474 (1/ detik) pada kisaran bilangan Reynolds 13,2347 sampai 21,3789.
2. Nilai tetapan laju reaksi pada absorpsi  $\text{CO}_2$  oleh larutan NaOH tidak dipengaruhi oleh laju alir larutan NaOH, nilainya adalah  $1,0002 \cdot 10^4$  (mL/mol. detik) pada suhu 40 °C.
3. Pendekatan empiris untuk menyatakan hubungan antara koefisien perpindahan massa gas-cair dengan kecepatan linier aliran larutan NaOH dapat dituliskan dalam bentuk bilangan tak berdimensi sebagai berikut:

$$Sh = 4,0777 Re^{1,4003} \cdot Sc^{1/3}$$

dengan ralat relatif rata-rata 1,5391%. Persamaan di atas berlaku untuk bilangan Reynold pada kisaran 13,2347 sampai 21,3789.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program S-1 Ekstensi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dan Pimpinan Laboratorium Teknik Kimia II Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang telah membantu terlaksananya penelitian hingga makalah ini diterbitkan.

## DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

a	= luas bidang kontak tiap volum kolom, (cm <sup>-1</sup> ). = $\frac{6(1-\epsilon)}{dp}$
$C_{Ag}$	= konsentrasi $\text{CO}_2$ di badan utama gas, mol/mL
$C_{Ag}^*$	= konsentrasi $\text{CO}_2$ di badan utama gas yang setimbang dengan konsentrasi $\text{CO}_2$ di fase cair, mol/mL
$C_{Agin}$	= konsentrasi $\text{CO}_2$ di badan utama gas masuk absorber, mol/mL
$C_{Agout}$	= konsentrasi $\text{CO}_2$ di badan utama gas keluar absorber, mol/mL

$C_{ALin}$	= konsentrasi $\text{CO}_2$ di badan utama cairan masuk absorber, mol/mL
$C_{ALout}$	= konsentrasi $\text{CO}_2$ di badan utama cairan keluar absorber, mol/mL
$C_{BL}$	= konsentrasi NaOH di badan utama cairan, mol/mL
$C_{BLin}$	= konsentrasi Na OH di badan utama cairan masuk absorber, mol/mL
$C_{BLout}$	= konsentrasi Na OH di badan utama cairan keluar absorber, mol/mL
D	= diameter kolom, cm.
$D_{AB}$	= Difusivitas komponen A ke B, (cm <sup>2</sup> /s).
dp	= diameter partikel, cm.
G	= laju alir gas $\text{CO}_2$ , 1/detik
k	= tetapan laju reaksi, (mL/mol.detik)
$K_{ga}$	= koefisien perpindahan massa gas-cair, (1/detik).
L	= laju alir larutan NaOH, L/detik
$Re$	= Bilangan Reynolds, ( $\rho L/\mu a$ ).
$Sc$	= Bilangan Schmidt, ( $\mu/\rho DAB$ ).
$Sh$	= Bilangan Sherwood, ( $Kga dp^2/DAB$ ).
Z	= tinggi kolom, cm.
$\epsilon$	= porositas tumpukan packing.

## DAFTAR PUSTAKA

- Danckwerts, P.V., 1970, "Gas Liquid Reactions", 1<sup>st</sup> edition, p.p. 42-44, McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
- Griffin, R.C., 1955, "Technical Methods of Analysis", 2<sup>nd</sup> edition, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Hill, C.G., 1977, "An Introduction to Chemical Engineering Kinetics & Reactor Design", 1<sup>st</sup> edition, p. 27, John Wiley and Sons, New York.
- Leva, M., 1955, "Gas Absorption in Beds of Rings and Saddles", *A.I.Ch.E.J.*, 1, 2, 224.
- Mackowiak, J., 1991, "Pressure Drop in Irrigated Packed Bed Columns", *Chem.Eng. Process*, 29, 93-105.
- Meldon, J., 1999, "Simplify Calculations Chemical Reactions", *Hydrocarbon Processing*, 8, 87-91
- Perry, R.H. and Green, D.W., 1984, "Chemical Engineering Handbook", 6<sup>th</sup> edition, p.p. 14-31 - 14.36, Mc Graw-Hill Book Co., Singapore.
- Sediawan, W. B., dan Prasetya, A., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia", hal. 62-65, ANDI, Yogyakarta.
- Spector, N.A. and Dodge, B.F., 1946, "Removal of Carbon Dioxide from Atmospheric air", *Trans. Amer. Inst. Chem. Engrs.*, 42, 827.
- Treyball, R.E., 1980, "Mass Transfer Operation", 3<sup>rd</sup> edition, p.275, Mc Graw - Hill Book Co Ltd, New York.