

## PENGARUH MODEL ALIRAN TERHADAP RECOVERY CO<sub>2</sub> PADA ABSORPSI GAS CO<sub>2</sub> OLEH LARUTAN K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> DIDALAM PACKED COLUMN DENGAN KONDISI NON-ISOTHERMAL

Kusnarjo, Kuswandi, Susianto dan Ali Altway<sup>\*)</sup>

Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS  
Kampus ITS Jl. Arief Rachman Hakim Surabaya Telp. (031)5946240

<sup>\*)</sup>Penulis korespondensi: alimohad@chem-eng.its.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh model aliran terhadap recovery gas pada absorpsi gas CO<sub>2</sub> menggunakan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang di kontakkan secara berlawanan arah (counter current) didalam packed column menggunakan packing jenis raschig ring. Penelitian dilakukan menggunakan kolom berdiameter 10 cm dan tinggi 150 cm. Packing dibuat dari logam aluminium berdiameter 1,0 cm dan tinggi 2,0 cm yang mengisi bagian kolom setinggi 100 cm. Variabel penelitian ini adalah konsentrasi CO<sub>2</sub> 20% volume, dengan laju alir 10 sampai 35 l/menit dan konsentrasi K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 1M dan 1,5M dengan laju alir 3 sampai 7,5 l/menit. Dari hasil penelitian absorpsi gas CO<sub>2</sub> 20% volume menggunakan larutan Benfield dengan model aliran non-ideal besar % recovery gas CO<sub>2</sub> dengan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 1,5M, jumlahnya lebih besar dibandingkan dengan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 1M, sedangkan absorpsi CO<sub>2</sub> dengan campuran udara 80% volume dengan model aliran non-ideal ( $D/uL=0,1$ ), jumlah % recovery gas CO<sub>2</sub> lebih kecil dibandingkan dengan aliran ideal ( $D/uL=0,2$ ). Validasi antara simulasi dengan eksperimen dengan cara membandingkan kesalahan hasil penelitian menunjukkan bahwa besar % recovery CO<sub>2</sub> secara eksperimen lebih rendah dibandingkan dengan cara simulasi. Hasil perhitungan % recovery gas CO<sub>2</sub> menggunakan jenis aliran tidak ideal mendekati data eksperimen dengan error 6,52%.

**Kata kunci:** absorpsi, bilangan dispersi, packed column, raschig ring, recovery

### Abstract

The research aims to study the influence of flow pattern on gas recovery in CO<sub>2</sub> absorption with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> of counter current gas-liquid contact in 10 cm diameter and 150 cm. high raschig ring packed column. Packing is made from 1.0 cm diameter and 2 cm high aluminum alloy which filled in column 100 cm high. In this research CO<sub>2</sub> flowed from bottom and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution flowed counter currently from top column. The inlet gas consists of mixture of CO<sub>2</sub> and air containing 20% mole CO<sub>2</sub>. The gas flow rate was varied from 10 to 35 l/minute, and the liquid flow rate was varied from 5 to 7.5 l/minute. The concentration of K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in liquid inlet was varied 1 M and 1.5 M. The research result showing relation between CO<sub>2</sub> flow rate with percent CO<sub>2</sub> recovery are presented graphically. The research result showed that on 20% CO<sub>2</sub> on non-ideal pattern ( $D/uL=0.1$ ) percent recovery CO<sub>2</sub> smaller than on ideal pattern. Simulation and experiment validation showed that percent recovery CO<sub>2</sub> simulation larger than experiment. Increasing K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> concentration and flow rate of gas and liquid will increase CO<sub>2</sub> recovery. % recovery with non-ideal pattern estimated value is smaller 6.52 % than experiment.

**Key words:** packed column, raschig ring, absorption, dispersion number and recovery

### PENDAHULUAN

Keuntungan absorpsi dengan reaksi kimia adalah memperbesar harga koefisien transfer massa. Hal ini karena keefektifan interfacial area yang lebih besar, dimana dapat menggantikan bagian yang stagnant. Jika liquid film resistance lebih dominan seperti pada absorpsi CO<sub>2</sub> maka reaksi kimia yang

cepat dalam liquid dapat memberikan penambahan harga koefisien perpindahan massa. Dalam proses dimana ada gas terlarut yang terabsorpsi akan bereaksi dengan liquid, ataupun dengan komponen liquida, maka reaksi itu akan menghilangkan solute gas. Laju kehilangan ini sangat tergantung pada jenis aliran, konsentrasi gas yang terabsorpsi, jenis reaksi, serta

orde reaksinya. Hal inilah yang mempengaruhi besarnya recovery gas CO<sub>2</sub>.

Pada *packed column* suatu *response* yang *ideal* menyebar dalam suatu liquid sehingga untuk menandai penyebaran *response* tersebut diperkirakan terlebih dahulu sebagai aliran *plug flow*. Apabila laju alir gas dinaikkan akan menimbulkan gangguan pada aliran *plug flow* sehingga terjadi turbulensi atau *intermixing* yang menyebabkan fluktuasi pola aliran menjadi *mixed flow* atau jenis alirannya adalah *ideal*. Untuk menghasilkan aliran yang non-ideal maka harga bilangan dispersi tidak boleh nol atau tipe alirannya *plug flow* tetapi harganya mendekati nol karena adanya fluktuasi aliran *plug flow* menjadi *mixed flow*.

Dari beberapa hasil penelitian terdahulu dapat digunakan untuk mengawali penelitian ini. Astarita (1963), dalam penelitiannya meninjau persamaan-persamaan yang dijabarkan dari teori yang tersedia untuk absorpsi kimiawi dalam *packed column*. Chen-Jung H. *et al* (1965), mempelajari perpindahan massa dengan reaksi *reversible* dengan teori penetrasi film. Onda *et al* (1968), menyatakan semakin besar konsentrasi CMC, akan semakin besar pula tahanan yang terjadi sehingga mempengaruhi difusifitas dan power input sehingga harga koefisien perpindahan massa akan semakin besar. Menurut Onda *et al* (1970), sifat-sifat dari larutan ideal dan non ideal sangatlah berbeda ketika gas bereaksi di dalam suatu larutan. Galsscock dan Rochelle (1993), menyatakan bahwa MCFLUX (Modified Combined Flux) dapat digunakan dalam mencari enhancement factor dan selectivitas reaksi nonequilibrium dengan cara membandingkan simulasi absorpsi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> ke dalam campuran alkanolamine dengan methyl-diethanolamine dan diethanolamine. Sanyal *et al* (1988) menyatakan bahwa pada absorpsi CO<sub>2</sub> menggunakan larutan amine dengan *promoted* K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dapat memprediksi distribusi aliran, temperatur dan konsentrasi dengan metode simulasi. Linek *et al* (1990) menggunakan pengembangan model untuk memprediksi tinggi packing di dalam kolom. Basil H. Al-Ubaidi *et al* (1990) mempelajari pengaruh reaksi orde dua pada kondisi *non-isothermal* di sisi mikronya. David A. Glasscock *et al* (1993) membandingkan metode *rigorous* dan metode *approximation*. Linek *et al* (1994) juga menyatakan *rate absorpsi* dengan reaksi kimia *reversible* dapat diprediksi menggunakan metode simulasi. Vas Bhat *et al* (1997) menyatakan bahwa *enchancement factor* sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter sehingga sulit untuk diselesaikan secara matematis sehingga kenaikan efisiensi reaksi sulit diselesaikan. Gonzalo Vazquest *et al* (1997) dalam penelitiannya menggunakan metode *wetted wall column* menggunakan larutan organik 0,5M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/0,5NaHCO<sub>3</sub> buffer dan penambahan Arsenit. Hasilnya dengan penambahan 0,5M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/0,5NaHCO<sub>3</sub> buffer maupun penambahan arsenit menunjukkan absorpsi CO<sub>2</sub> meningkat. Bishnoi *et al* (2000) yang melakukan penelitian kelarutan secara fisika CO<sub>2</sub> ke dalam larutan methyl-diethyl-amine (MDEA), menyatakan kelarutan

fisika akan naik dengan naiknya kekuatan ion (*ionic strength*). Penelitian Shijie Liu (2001) dibangun berdasar pada volume dan waktu rata-rata aliran *multiphase* dalam *packed columns*. Kedua inerti dan *interaksi inter phase* diperoleh dari persamaan Navier Stokes. Pembentukan persamaan diselesaikan untuk *fully-developed axisymmetric single* dan gas liquid dua fase dalam *packed tower*. Simulasi numerik dapat menunjukkan bahwa persamaan volume dan waktu rata-rata (Navier Stokes) dapat memprediksi kecepatan, fase hold up, pressure drop secara tepat untuk aliran fluida secara *counter-current*. Yuniar Tania S., dkk (2001) menyatakan recovery gas CO<sub>2</sub> dalam absorpsi disertai reaksi kimia *irreversible* didalam *packed column* dapat dihitung menggunakan metode simulasi. Kerr (2002) menyatakan bahwa unjuk kerja absorber tipe *packed column* dapat diprediksi dengan cara simulasi maupun dengan eksperimen menggunakan metode numerik untuk sistim beberapa reaksi dengan beberapa orde dan *reversible*. Novi Ajeng, dkk (2006) menyatakan dengan bertambahnya laju alir liquid dan gas akan menyebabkan *pressure drop* semakin besar sedangkan gas *holdup* semakin kecil sehingga mempengaruhi model aliran.

Dari hasil penelitian terdahulu tersebut menunjukkan masih kurangnya studi pengaruh ketidak-idealitas aliran terhadap perpindahan massa dan perpindahan antar fasa kondisi *non-isothermal* untuk reaksi *reversible* pada absorpsi CO<sub>2</sub> dengan larutan Benfield dalam *packed column*. Dengan demikian perlu dipelajari pengaruh ketidakidealitas aliran dan perpindahan massa pada absorpsi CO<sub>2</sub> dalam *packed column* untuk reaksi *reversible* pada kondisi *non-isothermal* terhadap recovery gas CO<sub>2</sub>.

### Landasan Teori

Banyak pola alir dianggap sebagai aliran *ideal* padahal sesungguhnya aliran tidak secara murni mengikuti pola aliran *plug flow* maupun *mixed flow*. Biasanya pola aliran akan mengikuti pola campuran *plug flow* dan *mixed flow* yang disebut dengan aliran non ideal. Untuk itu diperlukan suatu model untuk menjelaskan kurva RTD (*Residence Time Distribution*). Salah satu model yang sering digunakan adalah dispersion model dengan metode *stimulus response*. Metoda *Stimulus response* merupakan metode dengan penginjeksian *tracer* dalam aliran masuk yang selanjutnya dianalisa konsentrasinya setiap saat. Waktu yang diperoleh menunjukkan waktu penyebaran *tracer* yang disebut *Residence Time Distribution* atau RTD. Untuk analisa bilangan dispersi dapat dilakukan dengan dua sistim yaitu : *Closed Vessel* dan *Open vessel* dan untuk *packed column* digunakan persamaan *Closed Vessel* seperti yang terlihat pada persamaan (1).

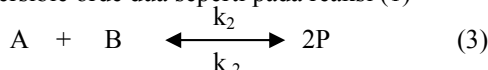
$$\sigma_0^2 = \frac{\sigma^2}{t^2} = 2 \left( \frac{D}{ul} \right) - 2 \left( \frac{D}{ul} \right)^2 \left( 1 - e^{-u/D} \right) \quad (1)$$

Dengan metoda *closed vessel* apabila harga  $(D/ul) > 0,01$  maka pola alirannya menunjukkan aliran *non-ideal* Levenspiel (2003).

Tipe aliran biasanya akan mempengaruhi terhadap banyaknya gas CO<sub>2</sub> yang terabsorpsi. Untuk aliran mixed flow CO<sub>2</sub> yang terabsorpsi akan semakin banyak karena adanya proses pengadukan yang mendorong reaksi menjadi lebih efektif. Dengan diketahuinya konsentrasi gas masuk dan keluar % *recovery* gas CO<sub>2</sub> dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

$$\% \text{ recovery} = \frac{\left[ \frac{C_{Ab-in}}{1 - C_{Ab-in}} \right] - \left[ \frac{C_{Ab-out}}{1 - C_{Ab-out}} \right]}{\left[ \frac{C_{Ab-in}}{1 - C_{Ab-in}} \right]} \quad (2)$$

Untuk perhitungan konsentrasi gas yang keluar *column* dapat juga diprediksi dengan cara simulasi mengikuti reaksi reversible orde dua seperti pada reaksi (1)



$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{(C_P)^2}{(C_A C_B)} \quad (4)$$

Dengan berdasarkan pada persamaan (3) dan (4) pada proses absorpsi ini secara matematis neraca massa dan neraca panas untuk A, B dan P dapat dihitung. Selanjutnya penyelesaian persamaan yang dihasilkan digunakan metoda kollokasi orthogonal yang selanjutnya diselesaikan secara numerik dengan menggunakan iterasi Gaus Jordan.

Dari simulasi dapat diketahui prediksi distribusi temperatur gas dan larutan menggunakan persamaan (5) dan (6) sehingga dapat diketahui juga apakah kondisi prosesnya isothermal atau non-isothermal.

$$-\frac{dT_L}{d\xi} = \frac{h_L a}{(Q_L/S)C_P} (T_G - T_L) - \quad (5)$$

$$\frac{k_2 \Delta H_R \lambda}{(Q_L/S)C_P} \left( C_{Ab} C_{Bb} - \frac{C_{Pb}^2}{K} \right)$$

$$\frac{dT_G}{d\xi} = \sigma_G (T_G - T_L) \quad (6)$$

Sedangkan prediksi distribusi konsentrasi gas dan larutan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (7) dan (8).

$$\frac{dx_{Ab}}{d\xi} - \left( \frac{D}{\mu \lambda} \frac{dx_{Ab}^2}{d^2 \xi} \right) = - \left( \begin{array}{l} E_{non} * NTG * R * \\ \text{slope}(j)(x_A^* - x_{Ab}) - \\ \varepsilon_L * \psi * NTG * \text{slope}(j) \\ \left( x_{Ab} - x_{Bb} - \frac{x_{Pb}^2}{K} \right) \end{array} \right) \quad (7)$$

$$\frac{dy_{Ab}}{d\xi} = -\gamma * NTG * He / P (y_{Ab} - y_A^*) \quad (8)$$

Agar prediksi sesuai dengan yang diharapkan maka kondisi batas ditetapkan sebagai berikut :

1. Pada X = 0 (bidang batas antara film gas dan film liquid),  $C_A = C_{Ai}$

$$a. C_A = C_{Ai}, A = \frac{C_A}{C_{Ab}} = \frac{C_{Ai}}{C_{Ab}}; A = e^{\varepsilon_s \left( \frac{\theta}{1+\theta} \right)}$$

$$b. \frac{dB}{dx} = 0,$$

$$c. \frac{dP}{dx} = 0 \text{ karena B dan P non volatile}$$

$$d. \beta_s e^{\varepsilon_{DA} \left( \frac{\theta}{1+\theta} \right)} \frac{dA}{dx} = \frac{d\theta}{dx}$$

2. Pada X = 1 (bidang batas antara film liquid dengan badan liquid)

$$a. A = Ae \quad b. B = 1 \quad c. P = \frac{C_{Po}}{C_{Bo}}$$

$$d. \left( \frac{\delta_H}{\delta_M} - 1 \right) \frac{\partial \theta}{\partial X} + \theta = 0 \text{ jika } \partial_H = \partial_M \text{ maka } \theta = 0$$

Sama halnya dengan cara eksperimen % *recovery* gas CO<sub>2</sub> menggunakan program simulasi dihitung menggunakan persamaan (2).

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini terlebih dahulu disiapkan peralatan penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 1. *Stimulus response* diamati dengan cara mengalirkan air dan gas CO<sub>2</sub> kedalam *column* pada laju alir tertentu sehingga terjadi aliran *steady state*. NaCl sebagai *tracer* diinjeksikan dengan cepat pada aliran air masuk. *Tracer* yang keluar bersama air diukur konsentrasi pada setiap saat dengan menggunakan *Conductivity meter*. Selanjutnya bilangan dispersi dihitung dengan anggapan sebagai *closed vessel* menggunakan persamaan (1).

Kondisi non-isothermal di dalam *packed column*, diamati dengan cara simulasi distribusi temperatur gas dan liquid menggunakan persamaan matematis seperti yang terlihat pada persamaan (5) dan (6).

Secara eksperimen penelitian *recovery* gas CO<sub>2</sub> ini menggunakan gas CO<sub>2</sub> konsentrasi 20% volume. Sebagai absorben untuk gas CO<sub>2</sub> murni digunakan larutan *benfield* atau K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan konsentrasi 1 M dan 1,5 M. Sesuai dengan variabel percobaan gas CO<sub>2</sub> dengan laju alir tertentu dialirkan dari bagian bawah *packed column* sampai aliran konstan. Demikian juga larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pada konsentrasi tertentu dengan laju alir tertentu dialirkan dari bagian atas *packed column* sehingga mengabsorpsi gas CO<sub>2</sub> yang masuk dari bagian bawah kolom. Larutan yang keluar dari bagian bawah *packed column* ditampung dalam tangki penampung dan diusahakan tidak mengalami kontak dengan udara dan kemudian dianalisa konsentrasi KHCO<sub>3</sub> dengan cara titerasi.

Untuk mencari *recovery* gas CO<sub>2</sub> Secara simulasi terlebih dulu dicari konsentrasi gas CO<sub>2</sub> keluar menggunakan persamaan (7) dan (8) dengan

kondisi batas seperti yang telah ditetapkan. Besar *recovery* gas CO<sub>2</sub> dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan hasilnya dievaluasi dan divalidasi dengan hasil penelitian sebelumnya.

**Variabel Penelitian**

Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah:

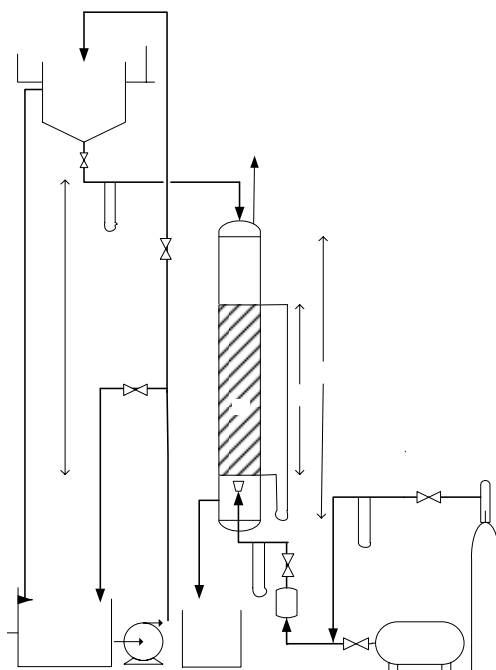
- a. Campuran Gas CO<sub>2</sub> dan Udara 1 : 4 volume pada temperatur 27°C dengan laju alir antara 5 sampai 35 l/menit
- b. Larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan konsentrasi 1 M dan 1,5 M, pada temperatur 27°C dengan laju alir antara: 3 sampai 7,5 l/menit

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

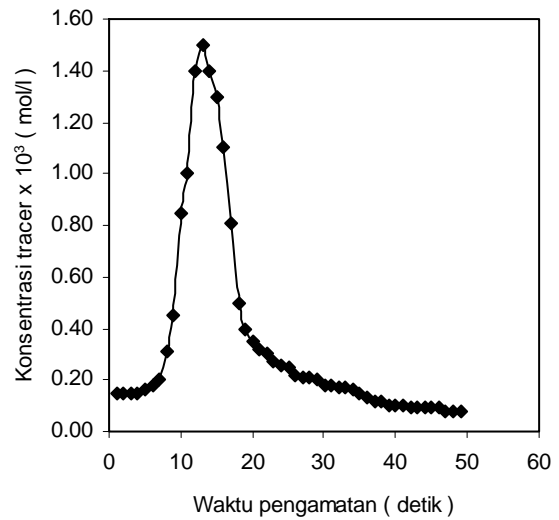
Dari hasil eksperimen gas CO<sub>2</sub> pada laju alir 20 l/menit dengan laju alir air 7 l/menit menunjukkan aliran non-ideal karena grafik penyebaran yang dihasilkan menunjukkan bukan *plug-flow* maupun *mixed-flow* seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Selain itu hasil perhitungan menunjukkan juga bahwa bilangan dispersi D/uL mempunyai harga antara 0,082 sampai 0,1 lebih besar dari 0,01 sehingga jenis alirannya adalah non-ideal. Untuk harga D/uL lebih besar dari 0,1 dianggap sebagai aliran ideal. Dengan menggunakan metode Least-Square dan soft-ware Excel didapatkan korelasi bilangan dispersi hasil eksperimen dengan parameter bilangan tidak berdimensi NRe seperti pada persamaan (9) dengan kesalahan sebesar 5,86%.

$$\frac{D}{uL} = 0.587 (N Re)^{-0.284} \left( \frac{V_G}{V_L} \right)^{0.386} \quad (9)$$



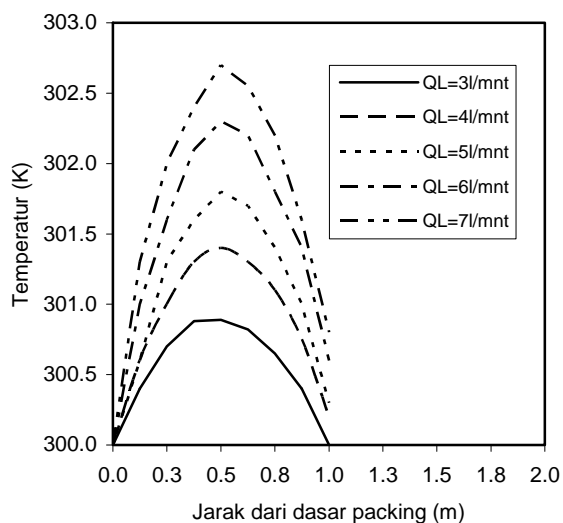
Gambar 1. Skema peralatan percobaan



Gambar 2. Pola alir untuk laju alir gas CO<sub>2</sub> 20 l/menit dan laju alir air 7 l/menit.

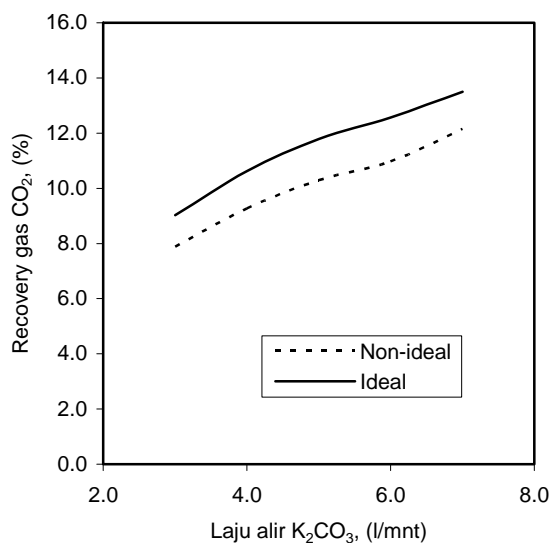
Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi temperatur menurut sumbu axial baik gas maupun larutan menunjukkan kenaikan walaupun tidak terlalu besar yaitu sekitar 0,8 sampai 2,7°C, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Dapat diambil kesimpulan bahwa pada laju alir gas CO<sub>2</sub> maupun larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang telah dilakukan menunjukkan tipe aliran non-ideal dan temperatur *non-isothermal*.

- F-1 : tangki penyimpan larutan potassium karbonat
- F-2 : tangki *overflow*
- F-3 : tangki penampung larutan hasil absorpsi
- F-4 : tangki gas CO<sub>2</sub>
- F-5 : Tangki saturator
- F-5 : kompresor
- V-1 : valve aliran larutan by pass
- V-2 : valve aliran larutan ke tangki *overflow*
- V-3 : valve aliran larutan ke kolom absorpsi
- V-4 : valve gas CO<sub>2</sub> keluar
- V-5 : valve udara dari kompresor
- V-6 : valve campuran CO<sub>2</sub> ke kolom
- P-1 : Pompa
- D-1 : Packed kolom
- PA : Packing
- M-1 : manometer larutan ke kolom
- M-2 : manometer gas CO<sub>2</sub>
- M-3 : manometer campuran CO<sub>2</sub> ke kolom

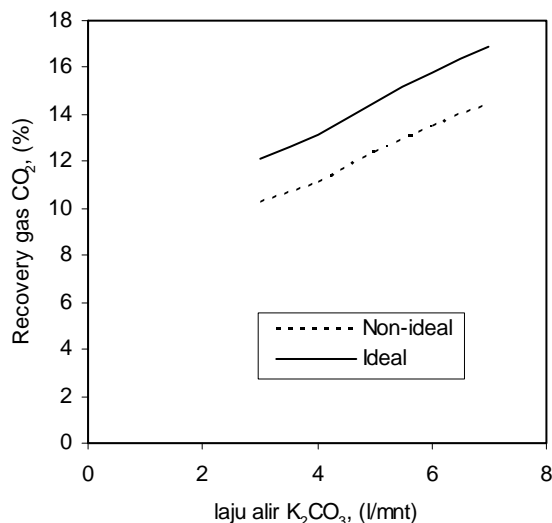


Gambar 3. Distribusi temperatur untuk berbagai laju alir  $K_2CO_3$  dengan konsentrasi 1 M untuk pola alir non-ideal.

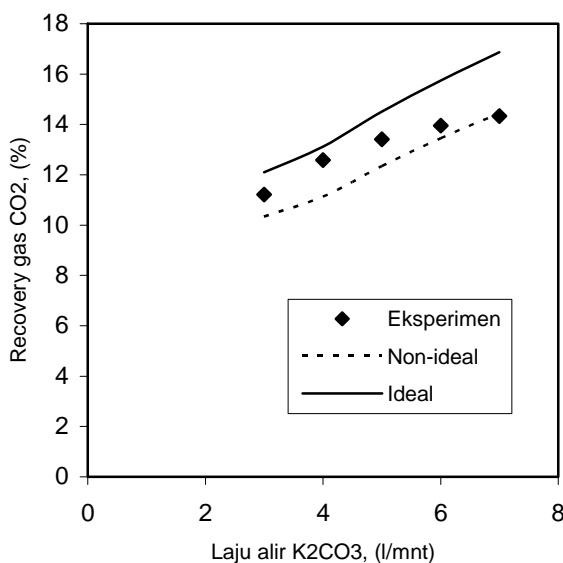
Dengan adanya udara yang mencapai 80% volume untuk aliran non-ideal ( $D/ul=0,1$ ), jumlah *recovery* gas  $CO_2$  lebih kecil dibandingkan dengan aliran *ideal*, seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Hal ini disebabkan dalam absorpsi dengan pola aliran ideal kemungkinan akan terjadi *mixing* sehingga waktu kontak antara *liquid* dan gas akan menjadi lebih lama sehingga produk reaksi yang terjadi semakin besar. Semakin besar laju  $K_2CO_3$  akan semakin besar pula laju absorpsi  $CO_2$  kedalam fase liquid sehingga akan memperbesar % *recovery*  $CO_2$ . Pada konsentrasi  $K_2CO_3$  semakin tinggi jumlah produk yang dihasilkan juga semakin besar sehingga terlihat pada konsentrasi  $K_2CO_3$  1,5 M % *recovery*  $CO_2$  lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi  $K_2CO_3$  1 M.



Gambar 4. Hubungan *recovery* gas dengan laju alir larutan  $K_2CO_3$  konsentrasi 1 M, pada pola alir ideal dan non-ideal



Gambar 5. Hubungan *recovery* gas dengan laju alir larutan  $K_2CO_3$  konsentrasi 1,5 M, pada pola alir ideal dan non-ideal



Gambar 6. Validasi antara hasil simulasi dengan eksperimen pada *recovery* gas pada pola alir ideal dan non-ideal

Dari Gambar 5 dan Gambar 6, menunjukkan bahwa pada konsentrasi  $K_2CO_3$  1 M *recovery*  $CO_2$  naik dari 7,5 sampai 13,5%. sedangkan pada konsentrasi  $K_2CO_3$  1,5 M *recovery*  $CO_2$  naik dari 10 sampai 15%.

Hasil validasi antara simulasi dengan eksperimen menunjukkan bahwa besar % *recovery*  $CO_2$  secara eksperimen lebih rendah dibandingkan dengan aliran ideal dan lebih besar dari aliran non-ideal. Dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ali Altway, dkk (2001) menunjukkan bahwa *recovery*  $CO_2$  hasil eksperimen 1/3 kali lebih

rendah. Kemungkinan hal ini disebabkan karena tinggi packing pada penelitian hanya 100 cm sedangkan pada penelitian Ali Altway dan kawan-kawan mulai dari 200 cm sampai 1350 cm dengan % recovery CO<sub>2</sub> antara 70-98%.

**KESIMPULAN**

Dari penelitian absorpsi CO<sub>2</sub> murni menggunakan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan model aliran *non-ideal* dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi dan laju alir K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> semakin tinggi pula besar % recovery gas CO<sub>2</sub>. Percent recovery gas CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 80% volume pada aliran non ideal jumlahnya lebih kecil dibandingkan dengan aliran *ideal*. Hasil validasi antara simulasi dengan eksperimen menunjukkan bahwa besar % recovery CO<sub>2</sub> secara eksperimen jumlahnya lebih kecil dibandingkan dengan model aliran *ideal* dan lebih besar dibandingkan dengan model aliran *non-ideal*. Hasil perhitungan % recovery gas CO<sub>2</sub> menggunakan jenis aliran *non-ideal* mendekati data eksperimen dengan error 6,52%.

**DAFTAR NOTASI**

a	Luas permukaan <i>interface</i> persatuan volume	cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>
B	konsentrasi tak berdimensi komponen B yang didefinisikan $B = C_B / C_B^0$	[-]
C <sub>A</sub>	konsentrasi spesies A	[mol/cm <sup>3</sup> ]
C <sub>Ai</sub>	konsentrasi spesies A di <i>interface</i>	[mol/cm <sup>3</sup> ]
C <sub>Ab</sub>	konsentrasi spesies A di badan <i>liquid</i>	[mol/cm <sup>3</sup> ]
C <sub>B</sub>	konsentrasi spesies B	[mol/cm <sup>3</sup> ]
C <sub>P</sub>	konsentrasi spesies P	[mol/cm <sup>3</sup> ]
C <sub>Ab</sub> <sup>in</sup>	konsentrasi CO <sub>2</sub> masuk	[kmol/m <sup>3</sup> ]
C <sub>Ab</sub> <sup>out</sup>	konsentrasi CO <sub>2</sub> keluar	[kmol/m <sup>3</sup> ]
C <sub>Bb</sub>	konsentrasi spesies B di badan <i>liquid</i>	[mol/cm <sup>3</sup> ]
C <sub>p</sub>	kapasitas panas	[cal/mol°C]
D	bilangan dispersi	[-]
He	konstanta Henry	[atm]
K	konstanta kesetimbangan	[-]
k <sub>2</sub>	konstanta reaksi orde 2 kearah kanan	[cm <sup>3</sup> /mol.s]
k <sub>-2</sub>	konstanta reaksi orde 2 kearah kiri	[cm <sup>3</sup> /mol.s]
l	panjang karakteristik	[m]
NRe	bilangan Reynold	[-]
NTG	Number of Transfer Unit	[-]
Q <sub>L</sub>	laju alir liquid	[l/mt]
R	perbandingan laju molar gas terhadap laju molar liquid	[-]
S	luas permukaan kolom	[cm <sup>2</sup> ]
t	waktu kontak	[s]
$\bar{t}$	waktu tinggal rata-rata	[s]

T <sub>L</sub>	temperatur liquid	[K]
T <sub>G</sub>	temperatur gas	[K]
u	kecepatan gas <i>superficial</i>	[m/s]
P	konsentrasi tak berdimensi komponen P yang didefinisikan $P = C_P / C_P^0$	[-]
V <sub>G</sub>	<i>superficial velocity</i> gas dalam kolom	[m/s]
V <sub>L</sub>	<i>superficial velocity</i> liquid dalam kolom	[m/s]
y <sub>A</sub> *	fraksi mol spesies A dalam kesetimbangan di badan liquid	[-]

**Huruf Latin**

σ <sup>2</sup>	varian (perbedaan) atau pengukuran yang terbesar pada kurva,	[-]
θ	waktu kontak	[sec]
δ <sub>H</sub>	tebal film untuk transfer panas	[m]
δ <sub>M</sub>	tebal film untuk transfer massa	[m]
ε <sub>L</sub>	hold up liquid didalam <i>packed column</i>	[-]
ξ	jarak tak berdimensi dalam <i>packed column</i>	[-]
λ	tinggi kolom tak berdimensi	[-]
ψ	bilangan tidak berdimensi yang didefinisikan sebagai $\psi = \frac{k_2 C \lambda}{u}$	[-]
γ	bilangan tidak berdimensi yang didefinisikan sebagai $\gamma = \frac{k_G P}{k_L C_B}$	[-]

**Indeks atas**

in	aliran masuk
out	aliran keluar

**DAFTAR PUSTAKA**

Alan E. Surosky and Barnett F. Dodge, (1950), Effect of Diffusivity on Gas-Film Absorption Coefficient in Packed Towers, *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol 42, No.19, Pp. 1112-1119.

Ali Altway and Yuniar L.W., (1999), Simulation Carbon Dioxide Absorption in to DEA Solution in Packed Column Using Combination Orthogonal Collocation on Definite Different method, *Proceeding ITB*, Vol 31, No. 2.

Ajeng K. Novi dan Susilowati Heasty, (2006), Studi Hidrodinamika Absorpsi Gas CO<sub>2</sub> kedalam Larutan Potassium Karbonat didalam Packed Column dengan menggunakan Packing Tipe Rashig Ring, *Skripsi*, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, Surabaya.

Astarita, G., (1963), Gas Absorption with Zero-Order Chemical Reaction, *I&EC Fundamentals*, Vol.2, No.4.

Basil H.AI-Ubaidi, M. Sami Salim and Abdullah A Shailah, (1990), Non Isothermal Gas Absorption

- Accompanied by a second order Irreversible Reaction, *AIChE Journal*, 36, 141-146.
- Chen-Jung Huang and Chiang-Hai Kuo, (1965), Mathematical Model for Mass Transfer Accompanied by Reversible Chemical Reaction, *AIChE Journal*, Vol.11 No.5, 901-910.
- Danckwartz F.R.S.P.V., (1970), *Gas Liquid Reaction*, McGraw Hill Book Company, New York, 18-20.
- Danckwerts F.R.S.P.V and A. M. Kennedy, (1954), Trans. Inst. Chem. Engrs, 32, S 40, *Eng. Chem. Res.*, Vol 36. 2353-2358.
- Gilbert F Froment and Kenneth B. Bischoff, (1990), *Chemical Reactor Analysis And Design*, John Wiley & Sons, Inc.
- Glasscock, D.A. and G.T. Rochelle, Approximate Simulation of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S Absorption into Aqueous Alkalineamine, *AIChE. Journal*, Vol.39, No.8, 1993.
- Gonzalo Vazquez, Francisco Chenlo, and Gerardo Pereira, (1997), *Enhancement Of The Absorption CO<sub>2</sub> In Alkaline Buffer Dengan Organic Solute: Relation With Degree Dissociation And Molekuler OH Density*, Ind.
- Kerr CR., (2002), A method for predicting the performance of packed columns operating with a reactive scrubbing liquid that control gaseous air pollutants, *Air Waste Management Association*, vol 52, No. 4, pp.396-399.
- Linek and Vaclav, (1990), Verification of The Design Methods for Industrial Carbon Dioxide-Triethanolamine Absorbers: Laboratory Differential Simulation and Computational Methods, *Ind.Eng.Res.*, Vol.29, No.9.
- Linek, Vaclav, Jiri Sinkule and Pavel Havelka, (1994), Empirical Design Methods of Industrial Carbon Dioxide-Mixed Solvent Absorbers with Axial Dispersion in Gas, *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol 33, pp. 2731-1737.
- Mc. Cabe, W.L., Smith J.C. and Harriot P., (1999), *Unit Operation of Chemical Engineering*, Fourth edition, McGraw Hill.
- Onda K., Sada E., Kobayashi, T. and Fujini M., (1970), Gas absorption accompanied by complex chemical reactions, *Chem.Eng. Sci.*, 25, 573 – 760.
- Onda K., Takeuchi H., and Okumoto Y., (1968), Mass Transfer Coefficient Between Gas and Liquid Phases in Packed Columns, *J. Chem.Eng., Jpn.*, I, 56.
- Sanjay Bishnoi, and Gary T. Rochelle, (2000), Physical and Chemical Solubility of Carbon- dioxide in aqueous methyl diethanolamine, Elsevier, *Fluid Phase Equilibria*, 168, 124-258.
- Sanyal Dipayan, Neeraj Vsishtha and Deoki N. Saraf, (1988), Modeling of Carbon Dioxide Absorber Using Hot Carbonate Process, *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol 27, pp. 2149-2156.
- Shijie Liu, (2001), A continuum Model for gas-liquid in packed tower, *Chemical Engineering Science*, Vol 56, 5945-5953.
- Vas Bhat R.D., W.P.M van Swaaij, N.E. Benes, J.A.M. Kuipers and G.F. Versteeg, (1997), *Non-Isothermal gas Absorption with Reversible Chemical Reaction*, Pergamon, PII:S009-2509(97)00250-9.
- Yuniar Tania S., Erlie S., dan Ali Altway, (2001), Simulasi Absorbs gas disertai reaksi kimia irreversible orde dua pada packed column dalam kondisi non-isothermal, *Prosiding Seminar Nasional Reayasa Kimia dan Proses*, UNDIP- Semarang.