

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Telah dilakukan kajian teoritis untuk generalisasi fenomena parameter-parameter yang terkait dengan kinerja absorber dengan mengembangkan model matematik. Pengembangan model dilaksanakan menggunakan pendekatan difusi multikomponen *Maxwell-Stefan*. Kajian teoritis ini difokuskan pada proses absorpsi reaktif multikomponen gas asam kedalam larutan  $K_2CO_3$  dengan promotor kondisi *isothermal* dan *non isothermal*. Model yang digunakan adalah model *rate-based* dua-film. Sebagai pembandingan dilakukan pula pengembangan model menggunakan pendekatan *enhancement factor*.

Program simulasi memerlukan data parameter model, seperti data kinetika, data kesetimbangan reaksi, kesetimbangan fasa, dan data perpindahan massa. Sebagian data tersebut belum tersedia pada literatur, untuk itu telah dilakukan eksperimen untuk menentukan data kinetika sistim larutan  $K_2CO_3$  dengan promotor MDEA dan promotor asam borat. Data kesetimbangan yang telah ditentukan adalah data kesetimbangan untuk sistim larutan  $K_2CO_3$  dengan promotor MDEA. Eksperimen absorpsi pada *Packed Column* juga telah dilakukan menggunakan sistim larutan  $K_2CO_3$  dengan promotor MDEA. Campuran gas terdiri dari  $CO_2$ ,  $H_2S$  dan  $N_2$ . Data dari hasil eksperimen ini digunakan untuk validasi program dari model yang dikembangkan.

#### 6.1.1 Penelitian eksperimen

##### a. Laju absorpsi dan kinetika reaksi

Telah dilakukan penelitian eksperimen untuk menentukan data kinetika reaksi absorpsi  $CO_2$  dengan pelarut  $K_2CO_3$  dan promotor MDEA atau asam borat menggunakan peralatan *WWC*. Sistim larutan  $K_2CO_3$  30% dengan penambahan promotor MDEA atau promotor asam borat meningkatkan laju absorpsi secara signifikan. Laju absorpsi  $CO_2$  dalam larutan  $K_2CO_3$  30% dengan promotor MDEA lebih besar dari pada dengan promotor asam borat.

Konstanta laju reaksi  $k_{2,MDEA}$  dan  $k_{2, asam\ borat}$  sebagai fungsi temperatur dan konsentrasi promotor yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah:

Model-1 (MDEA):

$$k_{2MDEA} = 1,00 \times 10^{20} \exp\left(\frac{-(9,019 \times 10^7 - 3,946 \times 10^7) C_{MDEA}}{RT}\right) \text{ (m}^3/\text{kmol,s)}$$

Model-2 (MDEA):

$$k'_{2MDEA} = 2,005 \times 10^{21} \exp\left(\frac{-8,04 \times 10^7}{RT}\right) (C_{MDEA})^{3,257} \text{ (1/s)}$$

Model-1 (asam borat):

$$k_{2\ asam\ borat} = 1,00 \times 10^{20} \exp\left(\frac{-(9,23 \times 10^7 - 1,42 \times 10^7) C_{KBO_2}}{RT}\right) \text{ (m}^3/\text{kmol,s)}$$

Model-2 (asam borat):

$$k'_{2\ asam\ borat} = 6,2325 \times 10^{20} \exp\left(\frac{-1,2729}{RT}\right) (C_{KBO_2})^{2,397} \text{ (1/s)}$$

Deviasi antara hasil eksperimen dan hasil perhitungan menggunakan persamaan korelasi diatas kurang dari 15 %.

#### **b. Keseimbangan larutan CO<sub>2</sub> dalam larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan promotor MDEA**

Telah dilakukan penelitian eksperimen untuk menentukan data keseimbangan larutan fasa gas-cair sistim elektrolit untuk CO<sub>2</sub>- K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-MDEA-H<sub>2</sub>O. Pengaruh penambahan promotor MDEA dengan komposisi 2-10% dalam larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dapat meningkatkan CO<sub>2</sub> loading sebesar 21,28% (untuk 2% MDEA); 53,17% (untuk 5% MDEA); 81,06% (untuk 8% MDEA); dan 102,34% (untuk 10% MDEA). Selain itu, penambahan promotor MDEA dapat menurunkan tekanan parsial gas CO<sub>2</sub> sebesar 15,77% (untuk 2% MDEA); 41,13% (untuk 5% MDEA); 57,06% (untuk 8% MDEA); dan 70,43% (untuk 10% MDEA).

#### **c. Removal CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S.**

Telah dilakukan penelitian eksperimen untuk menentukan % removal CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S pada absorpsi dengan pelarut K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan promotor MDEA menggunakan peralatan *Packed Column*. Pengaruh penambahan promotor pada

pelarut  $K_2CO_3$  telah diteliti. Penambahan promotor MDEA pada larutan  $K_2CO_3$  dapat meningkatkan persen *removal*  $CO_2$  dan  $H_2S$ .

Pengaruh perubahan parameter proses seperti laju alir pelarut dan laju alir gas juga telah diteliti. Semakin besar laju alir pelarut maka semakin meningkat laju absorpsi  $CO_2$  dan  $H_2S$ . Dari hasil eksperimen absorpsi  $CO_2$  dan  $H_2S$  ke dalam larutan  $K_2CO_3$  30 % dengan promotor MDEA 3% diperoleh nilai persen *removal*  $CO_2$  terbesar adalah 85,1% dan *removal*  $H_2S$  adalah 99,2%. *Performance* penyerapan  $H_2S$  lebih mudah terserap dibanding dengan gas  $CO_2$ .

### 6.1.2 Penelitian pemodelan dan simulasi

Penelitian pemodelan dan simulasi ini telah menggunakan *rate-based* model film dengan teori difusi multikomponen *Maxwell-Stefan* pendekatan *rigorous* dan pendekatan *enhancement factor* (sebagai perbandingan). Kajian teoritis ini difokuskan pada proses absorpsi reaktif multikomponen gas asam ke dalam larutan  $K_2CO_3$  dengan promotor MDEA kondisi *isothermal* dan *non isothermal*. Selain memprediksi % *removal*  $CO_2$ , penelitian ini juga memprediksi konsentrasi komponen rata-rata dalam fasa likuida dan gas.

Diperoleh hasil, dibandingkan dengan data eksperimen dan data riil di salah satu industri pupuk di Indonesia, perhitungan *removal*  $CO_2$  menggunakan pendekatan difusi multikomponen *Maxwell-Stefan* lebih kecil *error* nya dari pada perhitungan dengan pendekatan *enhancement factor*.

Berdasarkan pemodelan dan simulasi, disimpulkan beberapa hal berikut :

1. Fluks absorpsi  $CO_2$  yang dihitung menggunakan pendekatan difusi *Maxwell-Stefan*, peningkatan konsentrasi  $CO_2$  (peningkatan *driving force* sisi gas) tidak signifikan mempengaruhi fluks  $CO_2$  karena tahanan sisi gas juga meningkat, berbeda dengan fluks absorpsi  $CO_2$  yang dihitung dengan menggunakan pendekatan *enhancement factor* secara signifikan dipengaruhi oleh konsentrasi  $CO_2$ .
2. Pada distribusi konsentrasi komponen pada film likuida, menunjukkan reaksi terjadi di film. Hasil prediksi distribusi konsentrasi pada *Packed Column*, pada posisi atas kolom pengaruh tahanan sisi gas lebih dominan dibandingkan tahanan sisi likuida, pada posisi bawah kolom, terjadi

phenomena yang berlawanan. Absorpsi reaktif menimbulkan panas akibat reaksi eksotermis yang dapat mempengaruhi proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S.

3. Beberapa variabel operasi telah dikaji pengaruhnya terhadap kinerja kolom dan diperoleh hal-hal berikut:

- Laju alir larutan dan temperatur larutan serta tekanan memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap persen *removal* CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S.
- Laju absorpsi meningkat tergantung pada pengaruh relatif temperatur pada konstanta kecepatan reaksi, difusivitas dan kelarutan gas.
- Pengaruh perubahan temperatur larutan terhadap *removal* gas CO<sub>2</sub> menggunakan pendekatan difusi *Maxwell-Stefan* memberikan informasi adanya kondisi optimal, namun dengan menggunakan pendekatan *enhancement factor*, kondisi optimal terhadap perubahan temperatur larutan belum diperoleh.
- Pada model kondisi *non isothermal* memberikan hasil *removal* gas CO<sub>2</sub> lebih besar dari pada model kondisi *isothermal*. Pada sistim larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 30% dengan promotor MDEA diperoleh *removal* CO<sub>2</sub> tertinggi adalah 99,95 % terjadi pada kondisi laju alir larutan 1900 m<sup>3</sup>/jam, temperatur 100°C dan laju alir gas 308.000 m<sup>3</sup>/jam, temperatur gas masuk 125°C serta tekanan operasi 28 atm.

## 6.2 Saran

Beberapa saran agar lebih memperdalam kajian teoritis absorpsi multikomponen gas asam dalam larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan promotor adalah:

- Kolom absorber yang digunakan memperhatikan kondisi riil di industri terutama terkait dengan geometri kolom absorber.
- Dalam model yang telah dikembangkan, menganggap aliran adalah *plug flow* oleh karena itu, pengaruh hidrodinamika aliran larutan dan aliran gas perlu dikaji untuk pengembangan model lebih lanjut.
- Melanjutkan pemodelan untuk regenerasi gas CO<sub>2</sub> yang terserap pada *Stripping*.