

Submitted : 9 November 2016

Revised : 1 February 2017

Accepted : 21 March 2017

SIMULASI ABSORPSI GAS CO₂ DENGAN PELARUT DIETANOLAMINA (DEA) MENGUNAKAN SIMULATOR ASPEN HYSYS

Yansen Hartanto^{1*}, Aditya Putranto¹, Stephanie Cynthia¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jalan Ciumbuleuit No. 94 Bandung 40141

*Email: yansen_hartanto@unpar.ac.id

Abstrak

Gas alam mengandung beberapa kontaminan yang harus dibersihkan terlebih dahulu. Kontaminan yang paling banyak dijumpai yaitu gas karbondioksida (CO₂). Gas CO₂ harus dihilangkan karena dapat menyebabkan korosi pada bagian perpipaan dan memperkecil nilai kalor dari gas alam. Salah satu teknologi penghilangan gas CO₂ yang paling banyak digunakan adalah proses absorpsi dengan menggunakan pelarut alkanolamina. Dalam penelitian ini pelarut yang dikaji yaitu dietanolamina (DEA). Proses absorpsi kimia ini banyak terdapat dalam simulator komersial seperti Aspen Hysys. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi model kesetimbangan gas-cair yang terdapat dalam simulator, yaitu model Kent-Eisenberg dan elektrolit NRTL. Penelitian ini juga dilanjutkan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi pelarut dan temperature pelarut terhadap *loading* CO₂ dan komposisi CO₂ pada *sweet gas*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model elektrolit NRTL merupakan model kesetimbangan gas-cair yang lebih baik untuk simulasi absorpsi gas CO₂ dengan pelarut DEA. Semakin tinggi temperature operasi maka *loading* CO₂ makin tinggi sedangkan komposisi CO₂ di *sweet gas* makin rendah. Semakin tinggi konsentrasi DEA maka *loading* CO₂ dan komposisi CO₂ di *sweet gas* makin rendah.

Kata Kunci: CO₂, Dietanolamina, Kesetimbangan, Simulator

Abstract

Natural gas contains several contaminants that must be cleaned, especially carbon dioxide (CO₂). This contaminant must be removed because it can lead to corrosion of the pipeline and reduce the heating value of natural gas. The most widely used technology to remove CO₂ from natural gas is absorption using chemical solvent such as alkanolamine. In this study focused on studying the diethanolamine (DEA) as a solvent. This chemical absorption process is widely available in commercial simulators such as Aspen Hysys. This goal of this study was to determine the level of accuracy of gas-liquid equilibrium models contained in the simulator, such as Kent-Eisenberg and electrolyte NRTL and to determine the effect of solvent concentration and temperature of the solvent on CO₂ loading in rich amine and CO₂ composition in sweet gas. The results showed that the electrolyte NRTL model gave the more accurate result for CO₂ absorption using DEA solvent. Higher temperature increased CO₂ loading and reduce CO₂ in the sweet gas. Higher solvent concentration reduced the loading of CO₂ in rich amine and CO₂ composition in sweet gas.

Keywords: CO₂, Diethanolamine, Equilibrium, Simulator

1. PENDAHULUAN

Gas alam merupakan salah satu jenis bahan bakar yang paling banyak digunakan. Akan tetapi pada gas alam ini terkandung berbagai kontaminan seperti H₂S dan CO₂. Kandungan CO₂ pada gas alam ini dapat mengakibatkan gangguan dalam pemanfaatan gas alam. Gas CO₂ bisa membentuk asam jika bercampur dengan air yang biasa mengakibatkan korosi pada sistem perpipaan. Selain itu CO₂ juga dapat membeku pada suhu rendah serta menurunkan nilai kalor gas alam (Faulkner, 2006).

Terdapat beberapa teknologi pemisahan gas CO₂ seperti absorpsi fisika, absorpsi kimia, dan membran. Dari berbagai teknologi tersebut, absorpsi dengan pelarut kimia telah dipelajari lebih lanjut dan terbukti merupakan teknologi yang paling efektif dan cocok untuk pemisahan gas CO₂ (Astaritadkk, 1983, Yudkk, 2012).

Pelarut yang paling banyak digunakan dalam absorpsi CO₂ ini yaitu pelarut alkanolamina seperti monoetanolamina (MEA), dietanolamina (DEA), dan metildietanolamina (MDEA). DEA memiliki laju absorpsi yang lebih cepat dari pada MDEA dan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengabsorb CO₂ dibandingkan dengan MEA serta tidak korosif seperti MEA (Astaritadkk, 1983, Yudkk, 2012).

Proses absorpsi gas CO₂ menggunakan alkanolamina ini telah banyak digunakan di dalam berbagai simulator komersial seperti Aspen Hysys. Pada simulator tersebut diterapkan berbagai model kesetimbangan gas-cair yang berbeda-beda seperti model Kent-Eisenberg dan elektrolit NRTL. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dari model-model tersebut pada kondisi operasi tertentu dengan membandingkan data hasil simulasi untuk setiap model dengan hasil eksperimen.

Pada penelitian ini juga dilaksanakan analisis sensitivitas untuk mengetahui pengaruh berbagai variabel proses, seperti temperatur operasi dan konsentrasi pelarut terhadap proses absorpsi. Variabel yang diamati yaitu konsentrasi CO₂ di aliran gas keluaran absorber (*sweet gas*) serta loading CO₂ (rasio molar antara CO₂ dan amina) pada aliran cair keluaran absorber (*rich amine*).

2. METODOLOGI PENELITIAN

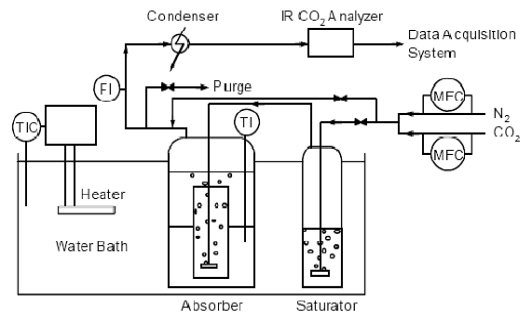
Penelitian ini terdiri dari 2 tahap, yaitu evaluasi model kesetimbangan dan analisis sensitivitas pada proses absorpsi CO₂.

2.1 Evaluasi Model Kesetimbangan

Model yang dikaji pada penelitian ini terdiri dari 2 model, yaitu model Kent-Eisenberg dan elektrolit NRTL. Evaluasi model dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi untuk setiap model yang dikaji dengan data eksperimen yang diperoleh dari literatur. Data yang dibandingkan pada evaluasi model ini yaitu kurva kesetimbangan absorpsi yang menggambarkan hubungan antara komposisi CO₂ di fasa gas yang dinyatakan dengan

tekanan parsial CO₂ dengan konsentrasi CO₂ di fasa cairan yang dinyatakan oleh *loading* CO₂.

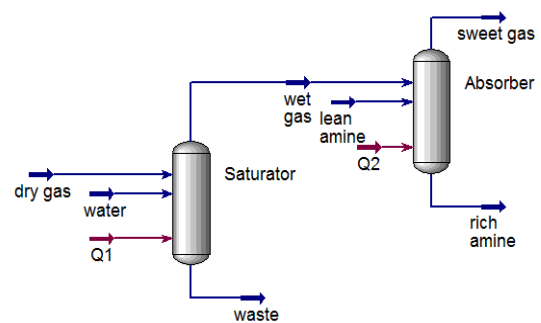
Data kesetimbangan yang diperoleh dari eksperimen menggunakan peralatan yang disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skematik Peralatan Penentuan Kesetimbangan CO₂ (Austgen, dkk, 1991)

Umpan (*dry gas*) yang merupakan campuran gas CO₂ dan gas inert (N₂) dengan komposisi 50%-mol CO₂ dan sisanya N₂ mula-mula dimasukkan ke dalam saturator untuk menjenuhkan gas tersebut dengan air. Hal ini dimaksudkan agar kandungan air pada pelarut amina tidak ikut terbawa aliran gas sehingga konsentrasinya konstan. Gas yang telah jenuh dengan air ini memasuki absorber yang telah berisi larutan DEA (*lean amine*) dalam air (49%-berat DEA). Tekanan parsial CO₂ pada gas keluaran (*sweet gas*) serta konsentrasi CO₂ pada cairan (*rich amine*) akan dianalisis sehingga diperoleh kurva kesetimbangan gas-cair. Saturator dan absorber dijaga agar kondisinya isothermal 25°C.

Simulasi dilakukan dengan memodelkan eksperimen di atas menggunakan simulator Aspen Hysys. Pada simulasi ini digunakan 2 buah separator untuk memodelkan saturator dan absorber. Gas yang digunakan juga identik dengan data di literatur (campuran CO₂ dan N₂). Simulasi yang dilakukan untuk evaluasi model ini disajikan dalam Gambar 2.



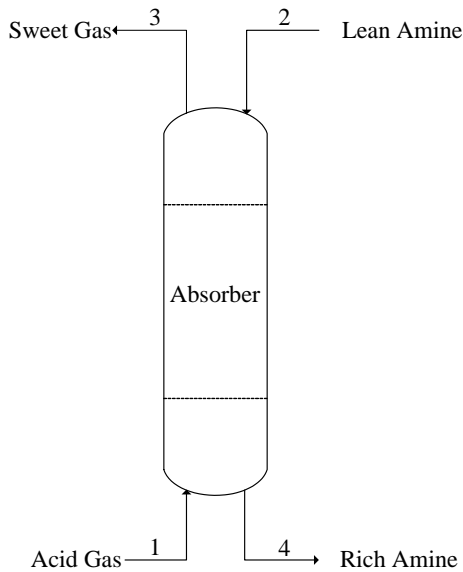
Gambar 2. Simulasi pada Evaluasi Model

2.2 Analisis Sensitivitas Proses Absorpsi CO₂

Setelah model yang paling baik diketahui, penelitian dilanjutkan dengan simulasi absorpsi gas CO₂ dengan melakukan variasi variabel proses seperti temperatur (25 °C hingga 85 °C) dan konsentrasi pelarut (fraksi massa DEA 0,4 hingga 0,6). Simulasi absorpsi CO₂ ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada kolom absorber, gas asam (*acid gas*) memasuki kolom dari bawah (aliran 1). Sedangkan pelarut alkanolamina (*lean amine*) memasuki kolom dari atas (aliran 2). Keluaran kolom absorber berupa

sweet gas pada bagian atas kolom (aliran 3) dan pelarut alkanolamina (*rich amine*) pada bagian bawah kolom (aliran 4). Variabel yang diamati yaitu konsentrasi CO₂ di gas keluaran (*sweet gas*) dan loading CO₂ di *rich amine*.

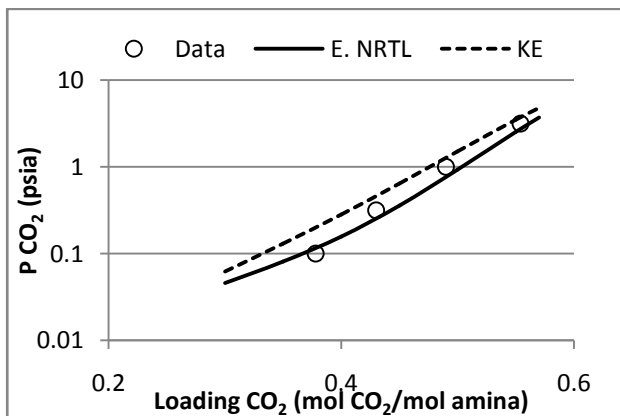


Gambar 3 Simulasi Absorpsi pada Kolom Absorber

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Evaluasi Model Kesetimbangan

Kurva kesetimbangan hasil perhitungan model Kent-Eisenberg dan elektrolit NRTL dibandingkan dengan hasil eksperimen yang diperoleh dari literatur (Lawson, 1976). Perbandingan kurva kesetimbangan tersebut disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4 Perbandingan Kurva Kesetimbangan Gas Cair pada Sistem CO₂ – DEA (5 N, 25°C)

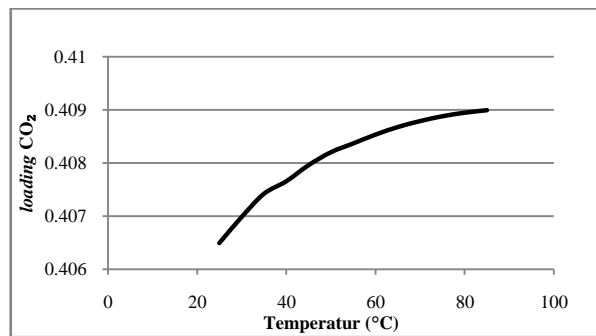
Dari kurva kesetimbangan di atas dapat terlihat bahwa model Kent-Eisenberg dan elektrolit NRTL sudah dapat merepresentasikan kesetimbangan gas cair untuk sistem CO₂-DEA. Untuk evaluasi kedua model tersebut dihitung %-error yang merupakan selisih antara data literature dengan perhitungan simulator dibagi dengan data literatur. Untuk model Kent-Eisenberg memiliki %-error sebesar 47,46 % sedangkan elektrolit NRTL memiliki error sebesar 17,32%.

3.1 Analisis Sensitivitas Proses Absorpsi CO₂

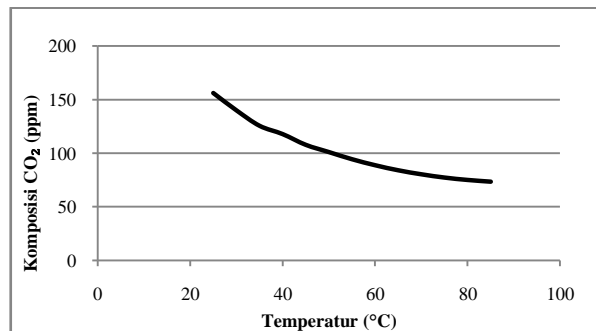
Variabel proses yang dianalisis yaitu temperature dan konsentrasi pelarut. Data yang diamati yaitu komposisi CO₂ (ppm) pada aliran *sweet gas* dan loading CO₂ (mol CO₂/molamine) pada aliran *rich amine*. Pada proses absorpsi ini diharapkan konsentrasi CO₂ pada *sweet gas* serendah mungkin sedangkan loading CO₂ pada *rich amine* sebesar mungkin.

Temperatur operasi divariasikan dari 25°C hingga 85°C, sedangkan konsentrasi pelarut DEA (fraksi massa DEA) divariasikan dari 0,4, hingga 0,6.

Analisis sensitivitas temperature terhadap absorpsi disajikan dalam Gambar 5 dan Gambar 6.

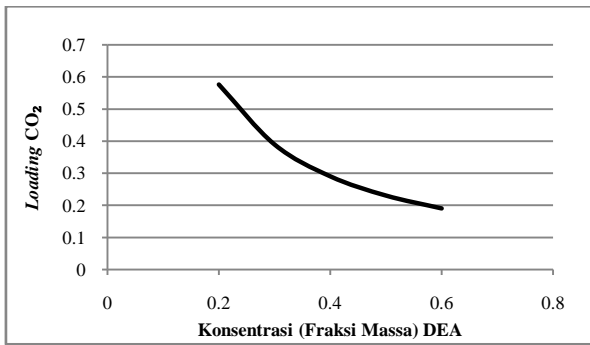


Gambar 5 Pengaruh Temperatur terhadap Loading CO₂ di Rich Amine

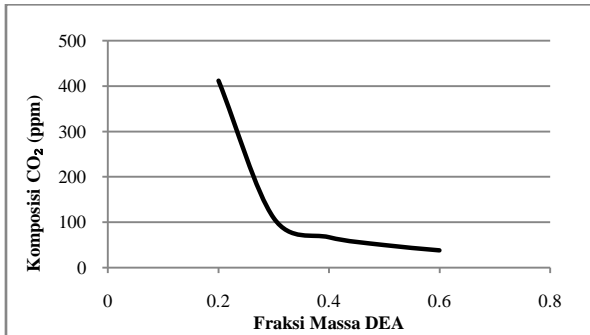


Gambar 6 Pengaruh Temperatur terhadap Komposisi CO₂ di Sweet Gas

Dari Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa semakin tinggi temperature operasi maka semakin kecil komposisi CO₂ pada *sweet gas* dan semakin tinggi loading CO₂ yang diperoleh. Hal ini terjadi akibat kinetika absorpsi yang semakin cepat apabila temperature dinaikkan. Semakin kecil komposisi CO₂ yang terdapat di *sweet gas* menunjukkan bahwa semakin banyak CO₂ yang bereaksi dengan pelarut DEA di aliran *rich amine* sehingga semakin besar loading CO₂ yang dihasilkan. Analisis sensitivitas konsentrasi pelarut disajikan dalam Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7 Pengaruh Konsentrasi DEA terhadap Loading CO₂ di Rich Amine



Gambar 8 Pengaruh Fraksi Massa DEA terhadap Komposisi CO₂ di Sweet gas

Dari Gambar 7 dan Gambar 8 dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi DEA yang digunakan maka semakin kecil komposisi CO₂ di sweet gas dan loading CO₂ pada rich amine yang diperoleh. Semakin besar konsentrasi pelarut maka jumlah CO₂ yang terabsorpsi menjadi semakin banyak sehingga komposisi CO₂ pada sweet gas menjadi semakin rendah. Akan tetapi kenaikan CO₂ pada aliran rich amine ini tidak sebanding dengan kenaikan konsentrasi DEA sehingga menyebabkan loading CO₂ (rasio mol CO₂ dan mol DEA) yang diperoleh semakin kecil.

4. KESIMPULAN

Model elektrolit NRTL pada Aspen Hysys memberikan hasil yang lebih baik daripada model

Kent-Eisenberg walaupun kedua model tersebut memiliki akurasi yang cukup baik untuk sistem CO₂ dan DEA. Pada analisis sensitivitas kolom absorber terlihat bahwa kenaikan temperature mampu meningkatkan laju absorpsi CO₂ yang ditandai oleh menurunnya kandungan CO₂ pada gas keluaran (*sweet gas*) serta naiknya loading CO₂. Untuk kenaikan konsentrasi pelarut juga menyebabkan turunnya konsentrasi CO₂ pada gas keluaran tetapi menyebabkan turunnya loading CO₂ pada aliran rich amine.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Austgen, D.M.; Rochelle, G.T.; Chau-Chyun, Chen, Model of Vapor-Liquid Equilibria for Aqueous Acid Gas-Alkanolamine Systems. 2.Representation of H₂S and CO₂ Solubility in Aqueous MDEA and CO₂ Solubility in Aqueous Mixture of MDEA with MEA or DEA, Industrial and Engineering Chemistry Research, 1991, 30, 543-555.
- Austgen, D.M.; Rochelle G.T.; Xiao Peng; Chau-Chyun Chen, Model of Vapor-Liquid Equilibria for Aqueous Acid Gas-Alkanolamine Systems Using the Electrolyte-NRTL Equation, Industrial and Engineering Chemistry Research, 28, 1989, 1060-1073.
- Faulkner, L.L., Fundamentals of Natural Gas Processing, CRC Press, New York, 2006. (ada)
- Giovani Astarita; David Savage; Attilio Bisio, Gas Treating with Chemical Solvents, John Wiley & Sons, New York, 1983.
- Lawson, J.D.; Garst, A.W., Gas Sweetening Data: Equilibrium Solubility of Hydrogen Sulfide and Carbon Dioxide in Aqueous Monoethanolamine and Aqueous Diethanolamine Solutions, Journal of Chemical & Engineering Data 21, 1976, 20-30. (ada)
- Yu, C.-H., Huang, C.-H.; Tan, C.-S., A Review of CO₂ Capture by Absorption and Adsorption. Aerosol and Air Quality Research, 2012, 12, 745-769.