

Solubilitas Gas CO₂ dalam Larutan Potassium Karbonat

Kuswandi, Khoirul Anam dan Yan Provinta Laksana

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri ITS

Kampus ITS Keputih-Sukolilo, Surabaya

Email: kuswandi@chem-eng.its.ac.id

Abstrak

Karbon dioksida (CO₂) adalah suatu gas yang dihasilkan dari sumber alam khususnya pada gas alam. Absorpsi dengan larutan potassium karbonat merupakan salah satu metode pengurangan kadar CO₂ pada industri. Oleh karena itu diperlukan suatu data kesetimbangan atau solubilitas CO₂ dalam larutan potassium karbonat untuk meningkatkan kinerja proses absorpsi. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen dengan menggunakan wetted wall column sebagai absorber dari berbagai konsentrasi potassium karbonat: 10, 15, 20, 25 dan 30 %massa dan suhu operasi 30, 40, 50 dan 60 °C. Analisa dilakukan dengan menggunakan pH meter dan titrasi. Perhitungan estimasi menggunakan persamaan kesetimbangan uap-cair dan reaksi kimia dengan model ENRTL. Hasil penelitian menunjukkan penurunan jumlah mol CO₂ yang terlarut dengan naiknya suhu dan konsentrasi larutan potassium karbonat. Perbandingan hasil estimasi dengan hasil eksperimen menunjukkan sedikit perbedaan dan profilnya cenderung sama.

Kata Kunci : solubilitas CO₂, kesetimbangan uap-cair, model ENRTL

Abstract

The Carbon dioxide (CO₂) gas is the product from nature source as specially from nature gas. Once methode for CO₂ concentration reduction is absorption with potassium carbonate solution. This research is experimental study for performances increase in absorption process and wetted wall column as absorber concentration potassium carbonate varied in the range 10-30% (weight) and temperature varied in the range 30-60°C. Estimation calculation with vapor-liquid equilibrium and chemical reaction with ENRTI model. The result show that the value of mol CO reduction is with temperature increasse and Potassium Carbonate concentration increase. Compare estimation result with experimental show small different.

Key word : Solubility CO₂, gas-liquid equilibrium, ENRTL model

Pendahuluan

Gas CO₂ sangat luas pemakaiannya dalam industri dan merupakan salah satu bahan baku dalam industri pupuk. Berbagai proses telah dikembangkan untuk mereduksi kandungan CO₂ dari aliran gas antara lain metode membran, proses kriogenik, proses adsorpsi dan yang paling umum adalah proses absorpsi dengan larutan kimia. Penggunaan membran mem-butuhkan aliran gas yang sangat murni, terbebas dari partikel pengotor. Sementara proses kriogenik dapat dipakai untuk tekanan parsial CO₂ yang besar namun dengan adanya proses

pendinginan biaya yang dikeluarkan tidak sedikit. Bila digunakan untuk kandungan gas CO₂ yang rendah metode ini tidak efektif dari segi ekonomi, biasanya hanya digunakan pada aliran gas dengan kandungan CO₂ yang sangat besar. Proses adsorpsi telah diterapkan namun kapasitas dan selektivitas yang rendah tidak berpotensi untuk pengambilan CO₂ dari aliran gas dengan baik.

Metode pemisahan dengan absorpsi dikenal cukup ekonomis untuk memisahkan CO₂ dari aliran gas. Absorpsi CO₂ dengan larutan kimia atau fisika adalah teknologi

yang sedang dikembangkan dan tengah diaplikasikan pada sejumlah proses komersial, termasuk pemurnian gas dan produksi amonia. Banyak penelitian yang telah dan tengah dikembangkan pada teknologi ini, khususnya pada pengembangan pengetahuan terhadap spesifikasi dan karakteristis dari jenis pelarut dan data kesetimbangan dari gas CO₂ dan pelarutnya. Salah satu proses absorpsi/stripping yang banyak dipakai dan dikembangkan adalah dengan sirkulasi larutan kimia. Proses semacam ini banyak dipakai pada produksi amoniak dan pemurnian gas alam.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data-data kesetimbangan uap-cair dan kelarutan CO₂ dalam larutan K₂CO₃ untuk berbagai konsentrasi K₂CO₃ dan suhu pada tekanan atmosferik dengan eksperimen dan estimasi menggunakan model ENRTL.

Kesetimbangan Fase

Kesetimbangan fase seperti kesetimbangan uap-cair (VLE), berhubungan dengan suatu sistem pada saat mana fase cair berada dalam kesetimbangan dengan fasa uapnya. [Smith et al. 2001]. Karakteristik dari kesetimbangan fase dalam termodinamika adalah adanya kesamaan tekanan, suhu dan fugasitas dari masing-masing komponen dalam semua fase yang berada dalam kesetimbangan, yaitu :

$$\hat{f}_i^V = \hat{f}_i^L \quad (1)$$

Aturan Lewis/Randall memberikan definisi bahwa fugasitas dalam larutan ideal merupakan fungsi dari konsentrasi :

$$\hat{f}_i^{ideal} = x_i f_i \quad (2)$$

dimana x_i adalah fraksi mol spesies i . Apabila larutan merupakan larutan yang tidak ideal maka faktor koreksi digunakan untuk menyatakan koefisien aktifitas, γ .

$$\gamma_i = \frac{\hat{f}_i}{\hat{f}_i^{ideal}} = \frac{\hat{f}_i}{x_i f_i}$$

(3)

Kondisi kesetimbangan dinyatakan dengan energi Gibbs (G) yang dimiliki sistem tersebut, perubahan energi Gibbs yang terjadi untuk semua proses irreversibel dinyatakan :

$$dG^{Tot} \leq 0 \quad (4)$$

Pertidaksamaan ini menyatakan bahwa dalam sistem tertutup pada tekanan dan temperatur tetap, apabila perubahan properti terjadi maka energi Gibbs total akan menurun. Dengan kata lain energi Gibbs akan minimal pada kondisi kesetimbangan.

Energi Gibbs total memberikan kondisi umum suatu kesetimbangan, untuk larutan digunakan term energi Gibbs eksek yang merpresentasikan penyimpangan dari larutan ideal, secara matematis dapat dinyatakan :

$$G_i^{ex} = G_i - G_i^{ideal} \quad (5)$$

dimana G_i merupakan energi Gibbs molar parsial untuk spesies i :

$$G_i = \Gamma(T) + RT \ln \hat{f}_i \quad (6)$$

$\Gamma(T)$ adalah konstanta integrasi. Substitusi Pers. (6) kedalam Pers. (5) dan menggabungkan dengan aturan Lewis/Randall, diperoleh :

$$G_i^{ex} = RT \ln \frac{\hat{f}_i}{x_i f_i} = RT \ln \gamma_i \quad (7)$$

Persamaan kesetimbangan uap-cair pada tekanan rendah, yaitu aplikasi dari Pers. (1) dengan menganggap fase uap sebagai model gas ideal dan dapat dinyatakan sebagai

$$y_i P = x_i \gamma_i P_i^S \quad (8)$$

Untuk sistem CO₂-K₂CO₃-H₂O dengan CO₂ sebagai solute, digunakan pendekatan hukum Henry untuk perhitungan koefisien aktifitas CO₂, yaitu

$$p_{CO_2} = H_{CO_2} \gamma_{CO_2}^* x_{CO_2} \quad (9)$$

Estimasi konstanta Henry untuk solute dalam larutan elektrolit diberikan oleh Krevelen dan Hoftijzer (1948) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\log \frac{H}{H^o} = hI \quad (10)$$

dimana H^o adalah konstanta Henry dalam air dan I adalah kekuatan ion dari larutan sedang-kan h diberikan oleh persamaan

$$h = h_+ + h_- + h_G \quad (11)$$

dimana harga-harga h_+ , h_- dan h_G diambil dari Barret (1966). Konstanta Henry CO_2 dalam air diberikan oleh persamaan korelasi dari Versteeg dan van swaaij (1988)

$$H_{CO_2} = 1,7107 \times 10^7 \exp\left(\frac{-1886,1}{T}\right) \quad (12)$$

Kesetimbangan Kimia

Permasalahan dalam menentukan komposisi kesetimbangan pada sistem reaktif membutuh-kan sebuah kondisi dan informasi spesifik mengenai komponen yang ada dalam sistem tertutup. Konstanta kesetimbangan untuk tiap-tiap reaksi dalam sistem tertutup diberikan oleh Smith et al. (2001) sebagai berikut :

$$K = \prod_i (\gamma_i x_i)^{v_i} = \exp\left(\frac{-\Delta G^o}{RT}\right) \quad (13)$$

Sedangkan hubungan ΔG^o dan ΔH^o deberikan oleh persamaan

$$\Delta H^o = -RT^2 \frac{d(\Delta G^o / RT)}{dT} \quad (14)$$

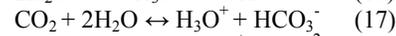
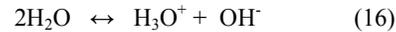
dimana ΔH^o merupakan perubahan enthalpi reaksi standar.

Kombinasi Pers. (13) dan Pers. (14) didapatkan

$$\int d(\ln K) = \int \frac{\Delta H^o}{RT^2} dT \quad (15)$$

Metode penyelesaian non-stoikiometri digunakan untuk mencari komposisi kesetimbangan pada larutan dari properti total sistem (total K_2CO_3 , CO_2 dan temperatur). Dengan mencari nilai koefisien aktivitas dan konstanta kesetimbangan melalui model *Electrolyte Non-Random Two Liquid* (ENRTL), energi Gibbs larutan dapat dihitung. Dalam algoritma per-hitungan, energi Gibbs diminimalisasi dengan melibatkan persamaan neraca komponen.

Dalam sistem larutan K_2CO_3 , dan CO_2 terjadi kesetimbangan fase dan kesetimbangan reaksi-reaksi yang *independent* (Hilliard, 2005), reaksi-reaksi itu adalah :



Dari reaksi-reaksi di atas dapat dituliskan per-samaan konstanta kesetimbangan reaksi sebagai berikut

$$K_w = \frac{a_{H_3O^+} \cdot a_{OH^-}}{a_{H_2O}^2} \quad (19)$$

$$K_{HCO_3^-} = \frac{a_{HCO_3^-} \cdot a_{H_3O^+}}{a_{CO_2} \cdot a_{H_2O}^2} \quad (20)$$

$$K_{CO_3^{2-}} = \frac{a_{H_3O^+} \cdot a_{CO_3^{2-}}}{a_{HCO_3^-} \cdot a_{H_2O}} \quad (21)$$

Nilai konstanta untuk masing-masing reaksi dipengaruhi oleh suhu, dan masing-masing konstanta direpresentasikan dalam bentuk persamaan yang diajukan oleh Posey (1996) :

$$\ln K = \frac{C_1}{T} + C_2 / T + C_3 \ln T + C_4 T$$

K	C ₁	C ₂	C ₃	reaksi
K_w	132.9	-13446	-22.46	(16)
$K_{HCO_3^-}$	231.4	-12092	-36.78	(17)
$K_{CO_3^{2-}}$	216.0	-12432	-35.48	(18)

Dari reaksi diatas dapat dicari neraca massa untuk tiap-tiap unsur H, C, dan O:

$$2n_{H_2O} + n_{HCO_3^-} + n_{OH^-} + 3n_{H_3O^+} = n_{H,Tot}$$

$$n_{CO_2} + n_{CO_3^{2-}} + n_{HCO_3^-} = n_{C,Tot} \quad (23)$$

$$n_{H_2O} + 2n_{CO_2} + 3n_{CO_3^{2-}} + 3n_{HCO_3^-} + n_{OH^-} + n_{H_3O^+} = n_{o,Tot}$$

Dan persamaan *elektroneutrality balance* :

$$-2n_{CO_3^{2-}} - n_{HCO_3^-} - n_{OH^-} + n_{H_3O^+} + n_{K^+} = 0 \quad (24)$$

Dengan menggunakan metode eliminasi gauss, diperoleh empat buah persamaan mol komponen utama. Pengali Lagrange digunakan untuk tiap elemen maka potensial kimia untuk masing-masing komponen dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mu_{H_2O} + 2\lambda_H + \lambda_o &= 0 \\ \mu_{CO_2} + \lambda_C + 2\lambda_o &= 0 \\ \mu_{CO_3^{2-}} + \lambda_C + 3\lambda_o &= 0 \quad (25) \\ \mu_{HCO_3^-} + \lambda_H + \lambda_C + 3\lambda_o &= 0 \\ \mu_{H_3O^+} + 3\lambda_H + \lambda_o &= 0 \\ \mu_{OH^-} + \lambda_H + \lambda_o &= 0 \\ \mu_{K^+} + \lambda_k &= 0 \end{aligned}$$

Persamaan ini sebanyak tujuh buah (Culinane, 2005) tergantung pada nilai potensial kimia, yang dapat dipecahkan secara simultan. Potensial kimia diminimalisasi dan komposisi kesetimbangan dapat diketahui. Penjelasan mengenai metode non-stoikiometri secara mendalam dapat ditemukan di Austgen (1989).

Model *Electrolyte Non-Random Two-Liquid* (ENRTL)

Model Termodinamika yang digunakan untuk larutan elektrolit didasarkan pada teori *Electrolyte Non-Random Two-Liquid* (ENRTL) yang pertama kali dikembangkan oleh Chen *et al* (1982) sebagai pengembangan dari teori yang ada untuk larutan elektrolit yang encer. Model NRTL memprediksi kelakuan larutan elektrolit dan dapat diaplikasikan secara luas dalam industri untuk simulasi proses perlakuan gas. Diasumsikan bahwa dalam larutan encer, molekul-molekul zat terlarut saling berjauhan antara satu sama lain, dan pengaruh pada energi Gibbs eksese didominasi oleh gaya *long-range* (LR).

Dalam larutan yang pekat, jarak molekul zat terlarut saling berdekatan dan berinteraksi satu sama lain dan model NRTL mengasumsikan pengaruh dominan dari interaksi *short-range* (SR). Model ENRTL telah diterapkan oleh Austgen (1989) dan Posey (1996) pada system MEA dan DEA dalam larutan dengan MDEA, serta Bhisnoi dan Rochelle (2000) untuk campuran PZ/MDEA.

Pengaruh total terhadap energi Gibbs eksese adalah sebagai berikut :

$$\frac{G_i^{ex}}{RT} = \frac{G_{LR,i}^{ex}}{RT} + \frac{G_{SR,k}^{ex}}{RT} = \left(\frac{G_{PDH,i}^{ex}}{RT} + \frac{G_{Born,i}^{ex}}{RT} \right) + \frac{G_{NRTL,i}^{ex}}{RT} \quad (26) \text{ atau}$$

$$\ln \gamma_i = (\ln \gamma_{PDH,i} + \ln \gamma_{Born,i}) + \ln \gamma_{NRTL,i} \quad (27)$$

dimana

$$g_{PDH}^{ex} = -RT \left(\sum_k x_k \right) \left(\frac{1000}{MW} \right)^{0.5} \left(\frac{4A_\phi I_x}{\rho} \right) \ln(1 + \rho I_x^{0.5}) \quad (28)$$

$$g_{Born}^{ex} = RT \left(\frac{e^2}{2kT} \right) \left(\sum_i \frac{x_i z_i^2}{r_i} \right) \left(\frac{1}{D_m} - \frac{1}{D_w} \right)$$

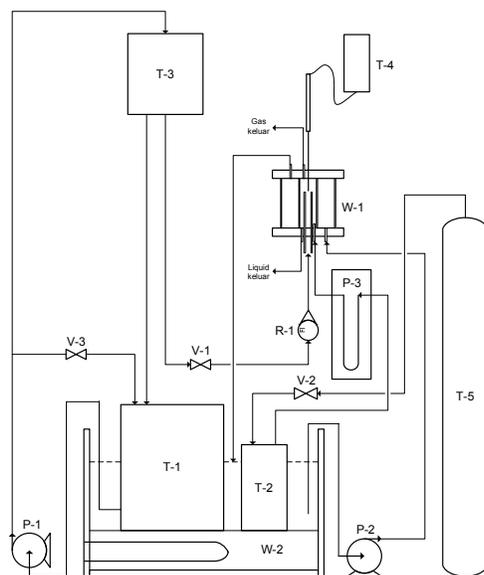
$$\begin{aligned} \frac{G_{NRTL}^{ex}}{RT} = & \sum_m \left(X_m \frac{\sum_j X_j G_{jm} \tau_{jm}}{\sum_k X_k G_{km}} \right) + \sum_c \left(X_c \frac{\sum_d \left(X_d \sum_j G_{jcd} \tau_{jcd} \right)}{\sum_{j'} X_{j'} \sum_k X_k G_{kcd}} \right) + \\ & \sum_a \left(X_a \frac{\sum_{c'} \left(X_{c'} \sum_j G_{jac'a} \tau_{jac'a} \right)}{\sum_{c''} X_{c''} \sum_k X_k G_{kac'a}} \right) \quad (30) \end{aligned}$$

Metodologi

Secara garis besar pada penelitian ini terlebih dahulu melakukan eksperimen absorpsi gas CO₂ dengan menggunakan larutan K₂CO₃ sebagai pelarut pada tekanan atmosferik dan suhu tertentu untuk mendapatkan data jumlah mol CO₂ yang terserap dengan reaksi kimia pada kondisi kesetimbangan. Selanjutnya melakukan estimasi komposisi kesetimbangan reaksi kimia dengan menggunakan persamaan ENRTL dan membandingkan hasilnya dengan data hasil eksperimen.

Pada tahap eksperimen, skema peralatannya dapat dilihat pada Gambar 1. Peralatan utama yang digunakan adalah sebuah kolom absorpsi tipe *wetted wall column* (WWC) yang mengacu pada peneliti sebelumnya di bidang perpindahan massa, termodinamika dan kinetika reaksi pada proses absorpsi gas CO_2 dengan larutan K_2CO_3 (Cullinane, 2002).

Pada penelitian ini, digunakan aliran gas karbondioksida murni dengan laju alir tetap yaitu 6 SLPM (Standart Liter Per Minute) memberikan sejumlah mol CO_2 dalam gas yang konstan, dan larutan K_2CO_3 dialirkan kedalam kolom sehingga berkontak secara *counter-current* dengan aliran gas. Larutan K_2CO_3 yang dipakai adalah 10, 15, 20, 25 dan 30 % sedangkan temperatur dijaga pada 30, 40, 50 dan 60 °C dengan mensirkulasikan air pemanas di bagian annulus.



Gambar 1. Skema Peralatan

Keterangan gambar:

P-1 : Pompa larutan K_2CO_3

T-4 : Termocouple

P-2 : Pompa air

T-5 : Tabung gas CO_2

P-3 : Pipa U

V-1 : Gate valve larutan

R-1 : Rotameter liquid

V-2 : Gate valve CO_2

T-1 : Tangki penampung

V-3 : Gate valve (by pass)

T-2 : Tangki saturator

W-1 : Wetted-wall column

T-3 : Tangki overflow

W-2 : Waterbath

Estimasi komposisi kesetimbangan dilakukan dengan algoritma yang disarankan oleh Smith dan Missen, dimana metode ini mengembangkan persamaan non-stoikiometri dengan menggunakan pengali Lagrange (Pers.25) untuk meminimalisasi energi Gibbs sistem dan menggabungkan persamaan neraca mol komponen yang bereaksi dalam sisten larutan (Pers. 23 dan Pers. 24). Persamaan ENRTL digunakan untuk mengevaluasi ketidakeidealan sistem larutan dengan menghitung koefisien aktivitas yang merupakan fungsi dari fraksi mol komponen netral maupun komponen ionik. Perhitungan dilakukan secara iteratif sedemikian hingga tercapai titik kesetimbangan reaksi.

Parameter biner yang digunakan adalah dari percobaan yang dilakukan oleh Cullinane (2005). Estimasi dilakukan untuk persen K_2CO_3 sebesar 10, 15, 20, 25 dan 30 % berat pada suhu 30, 40, 50 dan 60 °C.

Hasil dan Pembahasan

Dengan adanya kontak antara aliran gas CO_2 dan larutan K_2CO_3 didalam kolom absorber, maka pelarut akan mengabsorp dan sekaligus bereaksi dengan CO_2 membentuk ion-ion bikarbonat dan karbonat. Reaksi yang terjadi adalah reaksi reversibel (Pers. 16 – Pers. 18) dimana kesetimbangan reaksi dapat tercapai apabila komposisi larutan konstan setiap waktu.

Kesetimbangan reaksi kimia yang terjadi pada fase cair akan menentukan jumlah CO_2 terlarut, yang pada akhirnya berpengaruh pada kesetimbangan fase uap-cair, begitu juga sebaliknya. Jumlah CO_2 yang terlarut dan bereaksi dipengaruhi oleh konsentrasi awal K_2CO_3 atau disebut *loading*, yaitu banyaknya mol CO_2 yang terabsorpsi, baik itu yang bereaksi maupun

tidak bereaksi. Jumlah mol ekivalen K_2CO_3 (jumlah mol sebelum reaksi kimia terjadi) selalu berkesetimbangan dengan tekanan CO_2 dalam fase gas.

Untuk mengetahui apakah absorpsi CO_2 dalam kondisi kesetimbangan atau tidak maka diperlukan analisa untuk mengetahui bahwa komposisi sistem fase cair konstan setelah waktu tertentu, untuk itu dilakukan pengecekan perubahan komposisi selama absorpsi ber-langsung. Dalam hal ini pengukuran pH larutan adalah metode yang paling mudah untuk mengetahui kondisi kesetimbangan dimana pH larutan diukur pada selang waktu tertentu sedemikian hingga perubahan pH konstan selama absorpsi berlangsung.

Setelah kesetimbangan tercapai, larutan dianalisa untuk mengetahui jumlah CO_2 yang bereaksi dan jumlah ion-ion karbonat dan bikarbonat yang dihasilkan. Metode yang di-pakai adalah titrasi menggunakan larutan HCl dengan indikator pp dan mo.

Tabel 1 adalah besarnya pH pada saat kese-timbangan yang diperoleh dari analisa sampel larutan pada berbagai konsentrasi larutan dan suhu. Seperti terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi K_2CO_3 , pH kesetimbangan akan semakin tinggi. Demikian juga dengan kenaikan suhu menyebabkan kesetimbangan kimia akan bergeser kekiri, yang mengakibatkan jumlah CO_2 yang bereaksi berkurang dan larutan akan semakin bersifat basa.

Pada penelitian ini, analisa sampel dengan metode titrasi dilakukan hanya terbatas pada suhu lingkungan (sekitar $30^\circ C$), analisa sampel pada suhu tinggi sulit dilakukan, karena diperlukan suhu yang homogen dan konstan. Perubahan suhu pada larutan sampel yang dianalisa tidak diharapkan.

Tabel 1. pH larutan pada kondisi kesetimbangan

%berat K_2CO_3	$30^\circ C$	$40^\circ C$	$50^\circ C$	$60^\circ C$
10	7.95	8.04	8.10	8.21
15	8.00	8.21	8.36	8.38
20	8.2	8.32	8.51	8.7
25	8.44	8.46	8.66	8.76
30	8.45	8.48	8.67	9.04

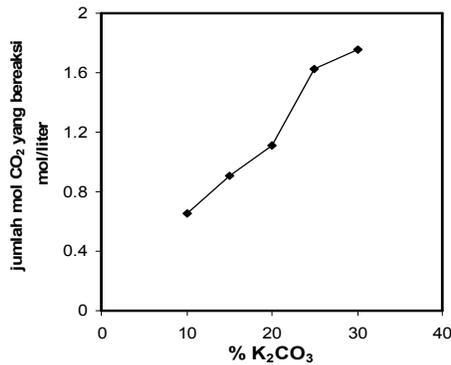
Tabel 2 menunjukkan konsentrasi ion-ion karbonat, bikarbonat dan karbondioksida yang bereaksi saat kesetimbangan pada suhu $30^\circ C$ untuk berbagai % larutan K_2CO_3 .

Tabel 2. Konsentrasi ion-ion dan CO_2 bereaksi pada suhu $30^\circ C$

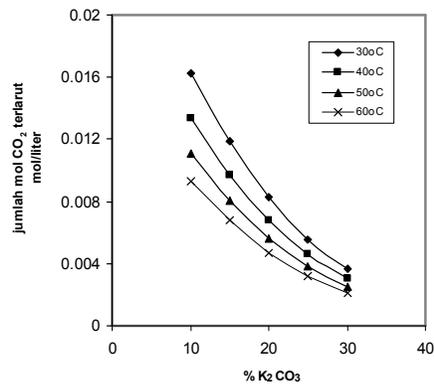
%berat K_2CO_3	$[CO_3^{2-}]$ mol/liter	$[HCO_3^-]$ mol/liter	$[CO_2]_{\text{bereaksi}}$ mol/liter	$[OH^-]$ mol/liter
10	0.24102	1.31481	0.65191	8.96×10^{-7}
15	0.33140	1.83179	0.90699	1.02×10^{-6}
20	0.63871	2.24010	1.11025	1.62×10^{-7}
25	0.66281	3.32912	1.66456	2.73×10^{-7}
30	0.95807	3.7490	1.84663	2.84×10^{-7}

Semakin besar persen berat larutan K_2CO_3 , semakin besar pula konsentrasi ion pada saat kesetimbangan, sistem ini menjaga rasio komponen produk terhadap reaktan agar selalu berada dalam nilai yang tetap.

Jumlah mol gas CO_2 yang bereaksi akan semakin besar bila konsentrasi larutan K_2CO_3 lebih besar, kecenderungan ini dapat dilihat pada Gambar 2, dimana gas CO_2 yang bereaksi diukur pada kondisi kesetimbangan yang pada akhirnya juga berkesetimbangan dengan CO_2 yang ada dalam fase gas.



Gambar 2. Plot jumlah mol gas CO₂ yang bereaksi vs % K₂CO₃ pada suhu 30° C



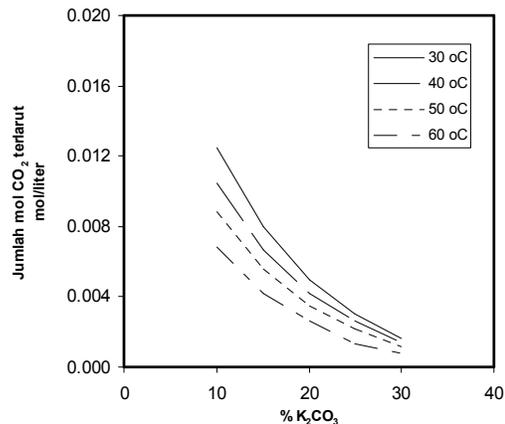
Gambar 3. Plot jumlah mol gas CO₂ terlarut vs % K₂CO₃ pada berbagai suhu

Gambar 3 menunjukkan pengaruh konsentrasi K₂CO₃ terhadap jumlah mol CO₂ terlarut pada berbagai suhu. Seperti terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi K₂CO₃ yang di-pergunakan maka jumlah mol CO₂ bebas (tidak bereaksi) semakin menurun, sedangkan jumlah mol CO₂ akan semakin menurun seiring dengan kenaikan suhu yang terjadi pada sistem untuk konsentrasi larutan K₂CO₃ yang sama.

Estimasi menggunakan model ENRTL di-peroleh hasil yang memberikan kecenderungan sama dengan hasil eksperimen, akan tetapi komposisi kesetimbangan yang diperoleh dari estimasi berbeda dibandingkan dengan komposisi kesetimbangan pada eksperimen, jumlah komponen larutan hasil reaksi dalam hal ini bikarbonat lebih kecil daripada hasil reaksi

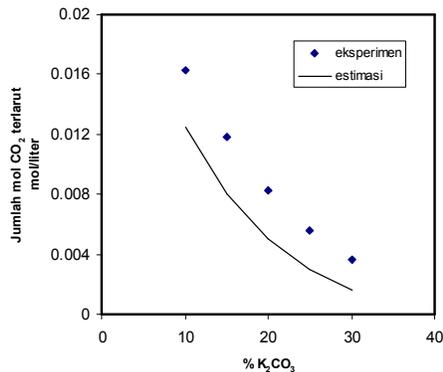
dari eksperimen, hal ini disebabkan persamaan yang dikembangkan masih memerlukan parameter model ENRTL yang mempresentasikan perilaku sistem.

Gambar 4 menunjukkan jumlah mol CO₂ vs %K₂CO₃ pada berbagai suhu yang dihitung dari persamaan ENRTL. Kenaikan suhu menyebabkan jumlah mol CO₂ yang terlarut semakin menurun. Konsentrasi CO₂ dalam larutan pada kondisi kesetimbangan akan semakin menurun apabila digunakan konsentrasi larutan K₂CO₃ yang lebih tinggi. Kecenderungan ini sesuai dengan pola yang didapat dari eksperimen. Jumlah mol CO₂ terlarut yang dihitung dengan menggunakan persamaan ENRTL memberikan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan eksperimen.



Gambar 4. Plot jumlah mol CO₂ terlarut vs %K₂CO₃ untuk berbagai suhu dengan persamaan ENRTL

Gambar 5 adalah perbandingan CO₂ terlarut yang diperoleh dari eksperimen dan estimasi dengan permodelan ENRTL. Terlihat bahwa hasil eksperimen memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari hasil estimasi.



Gambar 5 Perbandingan jumlah mol CO₂ terlarut hasil eksperimen dan estimasi pada suhu 30°C untuk berbagai %K₂CO₃

Kesimpulan

Telah diperoleh data-data kestimbangan atau solubilitas CO₂ dalam larutan potassium karbonat pada berbagai temperatur. Jumlah mol CO₂ terlarut semakin kecil dengan kenaikan temperatur dan konsentrasi larutan K₂CO₃. Perbandingan hasil estimasi dengan hasil eksperimen menunjukkan sedikit perbedaan dan memberikan profil yang sama.

Daftar Notasi

A = aktifitas
 A_ϕ = parameter Pitzer-Debye-Huckel
 C = Konstanta
 D = Konstanta dielektrik
 e = muatan elektron (1.6×10^{-19} coulomb)
 f_i = Fugasitas spesies i murni
 \hat{f}_i = Fugasitas spesies i dalam larutan
 G = Energi Gibbs
 ΔG° = Perubahan energi Gibbs standar
 H° = Konstanta Henry dalam air (atm/mol)
 H = Konstanta Henry dalam larutan (atm.cm³/mol)
 ΔH° = Perubahan entalpi reaksi standar
 I, I_x = Kekuatan ion dari larutan
 k = konstanta Boltzmann (1.38054×10^{-16} erg/K)
 K = Konstanta kesetimbangan
 MW = Berat molekul pelarut
 n = Jumlah mol
 n_i = Jumlah mol komponen i
 p_i = Tekanan parsial komponen i (atm)
 P = Tekanan absolut (atm)

P_i^S = Tekanan uap jenuh spesies i
 r_i = Born radius untuk segmen spesies i
 R = Konstanta Gas (atm.m³/gmol.K)
 T = Temperatur absolut (K)
 x_i = Fraksi mol spesies i dalam fase cair
 y_i = Fraksi mol spesies i dalam fase uap
 z_i = Jumlah muatan spesies ion

Huruf Yunani

γ_i = Koefisien aktifitas spesies i dalam larutan
 Γ = Konstanta integrasi
 λ = Pengali Lagrange
 μ = Potensial Kimia
 ρ = parameter pendekatan Pitzer-Debye-Huckel
 τ = parameter interaksi biner

Superscripts

ex = properti eksek
 ideal = properti larutan ideal
 L = fase cair (cairan jenuh)
 S = kondisi jenuh
 Tot = properti total
 V = fase uap (uap jenuh)

Subscripts

a = anion
 Born = model Born
 c = kation
 i = properti spesies i
 ji = properti komponen biner spesies j dan i.
 k = properti komponen ke-k (k = 1, 2, 3,.....)
 m = properti campuran
 NRTL = model Non Random Two Liquid
 PDH = model Pitzer-Debye-Huckel
 w = air

Daftar Pustaka

Austgen, D. M., 1989. *A Model of Vapor-Liquid Equilibria for Acid Gas-Alkanol-amine-Water System*, Ph.D. Dissertation, The University of Texas, Austin.
 Bishnoi, S. and Rochelle, G.T., 2000. *Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Piperazine: Reaction Kinetics, Mass Transfer and Solubility*, Chem. Eng. Sci., 55, 5531-5543.
 Chen, C. C., et al. 1982. "Single Solvent, Single Completely Dissociated

- Electrolyte System*". Local Composition Model for Excess Gibbs Energy of Electrolyte System. *AIChE J.* 28. 588.
- Cullinane, J. T., 2002. *Carbon Dioxide Absorption in Aqueous Mixtures of Potassium Carbonate and Piperazine*, M. S. Thesis, The University of Texas, Austin.
- Cullinane, J.T. 2005. *Thermodynamics and Kinetics of Aqueous Piperazine-Potassium Carbonate for Carbon Dioxide Absorption*. Ph. D. Dissertation, The University of Texas, Austin.
- Danckwerts, P.V., 1970. *Gas-Liquid Reaction*, McGraw – Hill Book Company, Singapore.
- Daubert, T. E., 1985. *Chemical Engineering Thermodynamics*, McGraw-Hill International Edition, New York.
- Hilliard, M.D., 2005. *Thermodynamics of Aqueous Piperazine/Potassium Carbonate/ Carbon Dioxide characterized by the Electrolyte-NRTL Model within Aspen Plus*, M.S. Thesis, The University of Texas, Austin.
- Pitzer, K. S., 1991. *Activity Coefficients in Electrolyte Solution*, 2nd edition, CRC Press Boca Raton Arbor Boston, London.
- Poling, B.E., Prausnitz J.M. and O'Connell J.P., 2001. *The Properties of Gases and Liquids*, 5th editon, McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- Posey, M. L., 1996. *Thermodynamics Model for Acid Gas Loaded Aqueous Alkanolamine Solutions*, The University of Texas, Austin.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C. and Abbot, M.M., 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 6th edition, McGraw-Hill, Singapore.
- Van Krevelen, D.W. and Hoftijzer, P.J., 1948. *Kinetics of Simultaneous Absorption and Chemical Reaction*, *Chem. Eng. Progress*, 44, 529.