PENYERAPAN GAS H_2S DENGAN LARUTAN K_2CO_3 DARI EKSTRAK ABU KELOPAK BATANG PISANG

Hary Sulistyo, Novita Wiedhasari, Deddy Setiawan
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl Grafika 2, YOGYAKARTA 55281
Telp: (0274) 90217, Fax: (0274) 902170
Email: hsulistyo@chemeng.ugm.ac.id

Naskah diterima 28 Mei 2004, dinilai 27 September 2004, dan disetujui 21 Agustus 2005

Abstrak

Gas H_2S merupakan gas yang bersifat polutan dalam gas alam maupun campuran gas. Keberadaannya harus dihilangkan dari campuran tersebut. Ekstrak abu dari limbah pertanian mengandung kalium karbonat yang dapat menyerap gas H_2S . Percobaan dilakukan dengan mengalirkan gas H_2S dengan laju alir 2,3175 mL/s dan fraksi mol 0,4105 ke dalam larutan ekstrak abu dalam reaktor berpengaduk pada kisaran suhu 303K sampai 325 K, konsentrasi kalium karbonat $7,5 \cdot 10^{-3}$ M sampai $13,5 \cdot 10^{-3}$ M dan waktu reaksi sampai 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konversi kalium karbonat dapat mencapai 37,90%, pada penggunaan kalium karbonat 0,0075 M, fraksi mol H_2S 0,4105, suhu reaksi 325K dan waktu reaksi 30 menit. Hasil perhitungan diperoleh nilai koefisien perpindahan massa keseluruhan, $K_L a = 6,24 \text{ menit}^{-1}$, sedang hubungan antara konstanta kecepatan reaksi dengan suhu sesuai dengan persamaan Arrhenius, $k_r = 175,3219 e^{-15.6788/RT}$. Analisis kinetika reaksi menunjukkan bahwa kedua langkah yaitu perpindahan massa dan reaksi kimia saling menentukan (regim campuran).

Kata Kunci: Penyerapan, Perpindahan Massa, Reaksi Kimia

Abstract

The removal of H_2S from natural gas and industrial gases is frequently encountered operation in the process industry. The reactive absorption of H_2S into an aqueous ash liquor which has a potassium carbonate was studied in stirred reactor operated semi batch wise with hydrogen sulfide was flown of 2.3175 mL/s with 0.4105 mol fraction into the reactor. The temperature was varied from 303 K to 325 K and the concentration of potassium carbonate solutions ranged from $7,5 \cdot 10^{-3}$ M to $13,5 \cdot 10^{-3}$ M. The corresponding reaction time was up to 30 minutes. The maximum conversion of potassium carbonate achieved was 37.90% at operating condition potassium carbonate of 0.0075 M, hydrogen sulfide mol fraction 0.41052, temperature 325 K and 30 minutes of reaction time. It was observed that the overall mass transfer coefficient, $K_L a = 6.24 \text{ min}^{-1}$ and the reaction rate constant can be expressed in the Arrhenius form, $k_r = 175.3219 e^{-15.6788/RT}$. It was also observed that the rate controlling was affected by both mass transfer and chemical reaction steps.

Keywords: Absorption, Mass Transfer, Chemical Reaction

1. Pendahuluan

Beberapa industri kimia seperti industri minyak bumi menghasilkan limbah gas yang cukup berbahaya yaitu gas H_2S . Disamping itu pada beberapa sumber gas alam mengandung gas H_2S sebagai impuritis yang dapat mengganggu pada proses selanjutnya. Untuk menanggulangi adanya gas H_2S dapat dilakukan dengan cara penyerapan memakai senyawa *ethanol amine* atau ferri sulfat (Pani, dkk., 1997; Mandal, dkk., 2004; Asai, dkk., 1989; Ebrahimi, dkk., 2003; Limtrakul, dkk., 2005)). Penyerapan gas yang diikuti dengan reaksi kimia pada lapisan film akan meningkatkan kecepatan penyerapan gas (Ebrahimi dkk., 2003).

Pada penyerapan dengan feri sulfat, koefisien perpindahan massa dan kecepatan reaksi kimia meningkat dengan bertambahnya konsentrasi awal larutan penyerap dan pH larutan. Untuk menaikkan pH larutan dapat dilakukan penambahan basa kuat yaitu NaOH atau KOH (Asai, dkk., 1989; Ebrahimi, dkk., 2003). $Fe(OH)^{3+}$ merupakan senyawa aktif yang berperan pada penyerapan dengan larutan feri sulfat. Peningkatan senyawa hidroksil ini dapat dilakukan dengan menaikkan nilai pH larutan (Asai dkk., 1989). Pada penyerapan campuran gas H_2S dan gas SO_2 dengan asam sulfat, kenaikan konsentrasi asam sulfat tidak mempengaruhi kecepatan penyerapan (Wang dkk., 2002a). Suhu cukup berperan pada proses penyerapan. Kenaikan suhu akan meningkatkan kecepatan reaksi (Asai dkk., 1989; Fadhillah, 2001). Kenaikan suhu meningkatkan kecepatan penyerapan gas H_2S dengan larutan *methyl diethanolamine* (Pani, dkk., 1997).

Penyerapan gas H_2S dengan larutan asam sulfat, kecepatan reaksi bertingkat satu terhadap gas H_2S . Sedangkan pada penyerapan campuran gas H_2S dan SO_2 dengan larutan asam sulfat kecepatan reaksi bertingkat satu terhadap gas H_2S dan bertingkat satu terhadap SO_2 yang terlarut dalam H_2SO_4 (Wang dkk., 2002a; Wang dkk., 2002b). Sementara itu, pada penyerapan campuran gas H_2S dan CO_2 dengan larutan *N-methyldiethanolamine* dan *2-amino-2-mthyl-1-propanol*, Mandal dkk., (2004) menyatakan bahwa tahanan fase gas cukup berperan pada penyerapan gas H_2S , sedang peningkatan konsentrasi amine menurunkan selektivitas penyerapan H_2S . Kenaikan suhu reaksi akan meningkatkan penyerapan gas CO_2 tetapi menurunkan kecepatan penyerapan H_2S (Mandal dkk., 2004). Pada penyerapan campuran gas H_2S dan gas SO_2 dengan larutan asam sulfat, SO_2 larut dalam asam sulfat membentuk senyawa aktif yang dapat bereaksi dengan gas H_2S (Wang dkk., 2002a).

Pada penyerapan H_2S dengan larutan *ferric nitrilotriacetic acid*, terbentuknya padatan sulfur dapat mempercepat reaksi penyerapan (Demmink, dkk., 2002). Pada penyerapan H_2S dengan larutan feri EDTA dalam *gas-lift reactor*, Limtrakul dkk. (2005) menyatakan bahwa proses penyerapan gas H_2S dapat mencapai 99,9% dan pemulihan larutan penyerap dilakukan langsung dalam sistim tersebut.

Penyerapan dapat pula dilakukan dengan larutan kalium karbonat. Larutan ekstrak abu mengandung kalium karbonat yang cukup tinggi. Ekstrak abu dapat diperoleh dengan membakar limbah petanian, kemudian abunya diekstrak dengan air suling. Untuk itu larutan ekstrak abu perlu dicoba untuk menyerap gas H_2S . Apabila penelitian ini berhasil, maka pemanfaatan limbah pertanian akan meningkat dan dapat menurunkan biaya penyerapan gas H_2S .

2. Fundamental

Reaksi penyerapan H_2S dengan K_2CO_3 dapat dinyatakan dengan persamaan berikut. (Astarita dkk., 1983)

Kinetika reaksi dicari dari persamaan berikut. (Sediawan dan Prasetyo, 1997). Neraca massa H_2S (A) pada fasa cair :

$$\frac{dC_A}{dt} = K_L a (C_A^* - C_A) - k_r C_A^m C_B^n \quad (3)$$

Hubungan keseimbangan A di fase gas dan cair,

$$C_A^* = \frac{P_A}{H_A} \quad (4)$$

Neraca massa larutan K_2CO_3 (B) di fase cair,

$$\frac{dC_B}{dt} = -k_r C_A^m C_B^n \quad (5)$$

persamaan (3) dan (5) dapat diselesaikan dengan kondisi awal pada $t = 0$; $C_A = 0$; $C_B = C_{B0}$. Nilai $K_L a$, k_r , m dan n ditentukan sehingga nilai C_A dan C_B sebagai fungsi waktu dapat dicari dengan metode *Runge-Kutta*. Selanjutnya nilai $K_L a$, k_r , m dan n dianggap benar bila memberikan nilai SSE minimum sesuai dengan persamaan (6).

$$SSE = \sum [(C_B)_{hitung} - (C_B)_{data}]^2 \quad (6)$$

Pada penyerapan gas H_2S dengan larutan ekstrak abu dari kelopang batang pisang secara keseluruhan dipengaruhi oleh kecepatan perpindahan massa dan kecepatan reaksi kimia.

Kinetika reaksi ditentukan oleh parameter M yang berpengaruh berdasarkan persamaan berikut (Levenspiel, 1999; Missen dkk., 1999)

$$M = \frac{k_r \times C_B \times D_{AB}}{k_l^2} \quad (7)$$

Regim yang berpengaruh tergantung dari nilai parameter M yaitu jika $M > 4$, reaksi terjadi dalam lapisan film gas-cair dan disebut regim dinamik, jika $0.0004 < M < 4$ reaksi terjadi di lapisan film gas-cair dan di fase larutan, sehingga disebut regim campuran, sedang jika $M < 0.0004$, semua reaksi berlangsung pada fase larutan dan dinamakan regim kimia.

3. Metodologi

Ekstrak abu diperoleh dari abu batang pisang yang diekstraksi dengan air suling sampai diperoleh larutan jenuh. Larutan ekstrak abu dititiasi dengan HCl standar dan diperoleh kadar kalium karbonat 0.2483 N.

Gas H_2S diperoleh dengan mereaksikan pirit dengan HCl . Gas H_2S yang terbentuk

ditampung dalam botol penampung gas. Sebelum gas H_2S dimasukkan ke dalam larutan penyerap, gas H_2S ditambah gas nitrogen untuk pengenceran. Gas Nitrogen dibeli di PT. Prax Air Yogyakarta.

Gas H_2S dalam tangki penampung gas dialirkan ke dalam reaktor dengan memasukkan air ke dalam tangki penampung gas. Gas H_2S sebelum dimasukkan ke reaktor dicampur dulu dengan gas N_2 untuk mencapai fraksimol 0,4105. Larutan kalium karbonat dari ekstrak abu dengan konsentrasi tertentu dimasukkan ke reaktor dan digunakan sebagai penyerap gas H_2S . Reaktor dipanaskan sampai suhu tertentu kemudian gas H_2S dialirkan dan waktu dicatat. Setelah selang waktu tertentu dari pengaliran, larutan penyerap dianalisis kadar kalium bisulfid dengan cara volumetri. Lima mililiter larutan contoh ditambah 5 mL larutan iodium standard dan 3 mL HCl pekat, lalu diaduk. Campuran selanjutnya dititiasi sisa iodiumnya dengan larutan $Na_2S_2O_3$ standar dengan indikator amylum. Rangkaian alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan :

1. Tangki HCl	5. Botol pencampur	9. Reaktor	13. Termometer
2. Pembangkit H_2S	6. Flowmeter	10. Pengambil sample	14. Sparger
3. Penampung H_2S	7. Manometer	11. Pendingin	
4. Tabung N_2	8. Pemanas	12. Motor pengaduk	

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian untuk konsentrasi awal larutan K_2CO_3 tersaji pada Gambar 2. Terlihat bahwa konsentrasi K_2CO_3 semakin berkurang seiring dengan bertambahnya waktu penyerapan. Penurunan konsentrasi K_2CO_3 terlihat nyata pada saat awal reaksi. Hal ini disebabkan pada saat awal reaksi belum ada H_2S yang terserap. Pada waktu reaksi mencapai 30 menit sebagian K_2CO_3 telah bereaksi dengan H_2S yang terserap dalam cairan. Jika diperhatikan Gambar 2, kecepatan penyerapan menurun dengan kenaikan konsentrasi K_2CO_3 . Ebrahimi dkk. (2003) menyebutkan bahwa pada penyerapan dengan larutan feri sulfat kenaikan konsentrasi larutan penyerap 0,05 sampai 0,8 mol/L meningkatkan konsentrasi ion penyerap dan viskositas larutan sehingga menurunkan kelarutan gas, difusivitas gas dan koefisien perpindahan massa. Pada penyerapan campuran gas H_2S dan CO_2 dengan larutan senyawa amin, peningkatan konsentrasi amin pengaruhnya terhadap kecepatan penyerapan H_2S tidak begitu kentara, tetapi kecepatan penyerapan CO_2 meningkat cukup tajam (Mandal, dkk., 2004).

Gambar 2. Grafik Hubungan Konsentrasi K_2CO_3 dengan Waktu

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi dan data konsentrasi H_2S dan K_2CO_3 dalam cairan pada berbagai waktu reaksi untuk konsentrasi awal larutan K_2CO_3 , $C_{Bo} = 0,0075 \text{ gmol/L}$. Terlihat bahwa hasil simulasi sesuai dengan data percobaan untuk H_2S sedang untuk larutan K_2CO_3 pada awal reaksi terlihat terdapat perbedaan yang cukup nyata, hal ini disebabkan pada saat awal reaksi berlangsung sangat cepat artinya perubahan konsentrasi larutan cukup cepat sedangkan secara matematis perubahan yang terjadi secara linier sejak dari keadaan awal.

Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi H_2S dan K_2CO_3 dalam Cairan dengan Waktu

Selanjutnya dengan menyelesaikan persamaan diferensial (3) dan (5) menggunakan metode *Runge-Kutta* dengan mencoba nilai $K_{1,a}$, k_r , order reaksi m , dan n yang memberikan harga SSE persamaan (6) minimum. Perhitungan minimasi dilakukan dengan metode *Hooke-Jeeves*. Nilai koefisien perpindahan massa dan konstanta kecepatan reaksi kimia untuk berbagai konsentrasi larutan penyerap (K_2CO_3) dapat dilihat pada Tabel I sedang nilai parameter M untuk berbagai konsentrasi terlihat juga di Gambar 4. Nilai order reaksi yang diperoleh $m = 0,7$ dan $n = 0,7$ atau dapat disebutkan bahwa tingkat reaksi ialah 0,7 terhadap H_2S dan juga terhadap K_2CO_3 . Tingkat reaksi yang diperoleh lebih rendah dari tingkat reaksi penyerapan H_2S dengan larutan $Fe_2(SO_4)_3$ yang nilainya satu terhadap H_2S dan satu terhadap ion feri (Asai dkk., 1989; Ebrahimi dkk., 2003).

Tabel I. Pengaruh Konsentrasi K_2CO_3 Awal (C_{Bo}) terhadap Koefisien Perpindahan Massa, Konstanta Kecepatan Reaksi dan Parameter M

C_{Bo} , 10^3	$K_{1,a}$, $1/\text{men}$	k_r	$k_{1,i}$, 10^{-4}	D , 10^6	M , 10^4
7,50	6,247	0,358	5,24	3,35	4,577
10,5	6,244	0,302	4,63	3,29	8,101
13,5	6,234	0,234	4,04	3,24	10,44

$T = 303 \text{ K}$; $Q_g = 2,3175 \text{ cm}^3/\text{detik}$;
 $P_A = 1,0263 \text{ atm}$; $r = 400 \text{ rpm}$
 $k_r (\text{L/mol})^{0,4}/\text{men}$, $k_i \text{ m/s}$, $D \text{ m}^2/\text{s}$

Dari Gambar 4 terlihat bahwa nilai parameter M akan semakin besar seiring dengan kenaikan konsentrasi K_2CO_3 awal. Kenaikan konsentrasi larutan penyerap akan menurunkan kelarutan gas dan difusivitas gas, sehingga koefisien perpindahan massa juga akan turun. Sebaliknya kecepatan reaksi akan semakin meningkat. Meskipun demikian secara keseluruhan, nilai parameter M berkisar antara $4,577 \cdot 10^{-4}$ sampai $10,44 \cdot 10^{-4}$ yang masih tergolong dalam regim campuran yaitu reaksi terjadi di lapisan film gas-cair dan di fase larutan atau perpindahan massa dan reaksi kimia mengontrol kinetika reaksi.

Gambar 4. Hubungan Antara Parameter M dengan Konsentrasi K_2CO_3 Awal

Hasil percobaan pada berbagai suhu tersaji pada Gambar 5. Terlihat bahwa semakin tinggi suhu larutan maka penurunan konsentrasi K_2CO_3 semakin cepat terutama pada saat awal reaksi. Hal ini berarti bahwa K_2CO_3 yang bereaksi dengan H_2S semakin banyak dengan kenaikan suhu.

Gambar 5. Hubungan Konsentrasi K_2CO_3 dengan Waktu pada Berbagai Suhu

Pada penyerapan H_2S dengan larutan *methyldiethanol amine*, Pani dkk. (1997) menyatakan bahwa kecepatan penyerapan H_2S makin meningkat dengan kenaikan suhu. Kecenderungan yang sama diperoleh pada penyerapan gas H_2S dengan larutan asam sulfat yang menunjukkan kenaikan kecepatan penyerapan sebanding dengan kenaikan suhu dan tekanan awal gas H_2S (Wang dkk., 2002b).

Hubungan konsentrasi dengan waktu untuk suhu proses 313 K tersaji pada Gambar 6. Terlihat nilai konsentrasi pada berbagai waktu, data percobaan mendekati hasil simulasi untuk H_2S sedang untuk larutan K_2CO_3 terdapat perbedaan yang nyata pada saat awal proses penyerapan. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada saat awal, reaksi berlangsung cukup cepat karena konsentrasi K_2CO_3 cukup tinggi.

Gambar 6. Hubungan Konsentrasi dengan Waktu

Hasil optimasi untuk memperoleh nilai koefisien perpindahan massa dan nilai konstanta kecepatan reaksi kimia pada berbagai suhu larutan dapat dilihat pada Tabel 2. Kenaikan suhu larutan penyerap menurunkan perpindahan massa gas ke fase cair, meskipun penurunannya cukup kecil. Akan tetapi, kecepatan reaksi kimia yang terjadi di fase cair semakin meningkat walaupun dari segi kuantitas H_2S yang terserap semakin menurun.

Kaitan antara konstanta kecepatan reaksi dengan suhu sesuai dengan persamaan Arrhenius berikut

$$k_r = 175,3219 \cdot e^{-15,6788/(RT)} \quad (7)$$

dengan kesalahan relatif rerata sebesar 0,93%. Nilai tenaga pengaktif diperoleh dari persamaan (7) sebesar 15,6788 kJ/mol pada penggunaan konsentrasi ekstrak abu sebesar 0,0075 mol/L K_2CO_3 . Pada penyerapan gas H_2S dengan larutan $Fe_2(SO_4)_3$ dengan konsentrasi 0,2 mol/L diperoleh tenaga pengaktif 22 kJ/mol (Ebrahimi dkk., 2003)

sedang pada penyerapan dengan larutan H_2SO_4 , nilai tenaga pengaktif berkisar antara 17,3 kJ/mol sampai 45,1 kJ/mol pada kisaran konsentrasi asam sulfat 87,68% sampai 99,97% (Wang dkk., 2002b).

Tabel 2. Pengaruh Suhu Larutan terhadap Koefisien Perpindahan Massa, Konstanta Kecepatan Reaksi Kimia

T K	K_a l/men	k_r	k_l 10^4	$D10^6$ m^2/s	M 10^4
303	6,247	0,358	5,24	3,35	4,57
313	6,245	0,418	5,25	3,46	6,56
325	6,239	0,533	5,25	3,60	8,69

$C_{Bo} = 0.0075$ gmol/L; $Q_g = 2,3175$ cm³/detik;

$P_A = 1,0263$ atm; $r = 400$ rpm

k_r (L/mol)^{0,4}/men, D m²/s, k_l m/s

Gambar 7 menunjukkan kenaikan suhu larutan akan menambah nilai parameter M. Hal ini disebabkan dengan kenaikan suhu konstanta kecepatan reaksi meningkat dan koefisien perpindahan massa nilainya hampir tetap. Akan tetapi, secara keseluruhan nilai parameter M masih dalam kisaran $0,004 < M < 4$ artinya kinetika reaksi dalam regime campuran.

Gambar 7. Hubungan antara Parameter M dengan Suhu (parameter M untuk Persamaan (7))

5. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi K_2CO_3 akan menurunkan perpindahan massa gas H_2S ke fase cairan dan juga akan menurunkan kecepatan reaksi di fase liquid. Sementara peningkatan suhu larutan menurunkan perpindahan massa gas H_2S ke fase cair tetapi meningkatkan kecepatan reaksi kimia pada kisaran suhu $T = 303 \sim 325$ K.

Hasil optimasi untuk reaksi antara H_2S dengan K_2CO_3 yang berasal dari ekstrak abu mengikuti tingkat 0.7 terhadap H_2S dan 0.7 terhadap K_2CO_3 . Hubungan konstanta kecepatan reaksi dengan suhu larutan penyerap sesuai dengan persamaan Arrhenius yang dapat disajikan berikut.

$$k_r = 175.3219.e^{-15,6788/(RT)}$$

dengan nilai K_a berkisar 6.2395~6.2476 menit⁻¹

- Notasi**
- a = luas permukaan antar fase, cm²/cm³
 - C_A = konsentrasi H_2S , mol/L
 - C_A^* = konsentrasi seimbang H_2S , mol/L
 - C_B = konsentrasi K_2CO_3 , mol/L
 - C_{Bo} = konsentrasi awal K_2CO_3 , mol/L
 - D_A = difusivitas gas H_2S , m²/s
 - H_A = tetapan Henry gas H_2S , atm/mol
 - K_L = koefisien perpindahan massa keseluruhan, cm/menit
 - k_l = koefisien perpindahan massa, cm/menit
 - k_r = tetapan kecepatan reaksi, (L/mol)^{0,4}/menit
 - M = parameter kinetika reaksi (persamaan (7))
 - m = tingkat reaksi
 - n = tingkat reaksi
 - P_A = tekanan gas H_2S , atm
 - Q_g = laju alir gas, cm³/s
 - R = tetapan gas umum = 8,314 J/molK
 - t = waktu, menit

Daftar Pustaka

- [1] Asai, S., Konishi, Y., and Yabu, T., (1989), "Kinetics of Absorption of Hydrogen Sulfide into Aqueous Ferric Sulfate Solutions", *A.I.Ch.E. Journal*, 35, hal 1271-1281
- [2] Astarita, G., D., Savage, W., and Bisio, A., (1983), "Gas Treating with Chemical Solvents", edisi 1, John Wiley and Sons, New York
- [3] Demmink, J.F., Mehra, A., and Beenackers, A.A.C.M., (2002), "Absorption of Hydrogen Sulfide into Aqueous Solutions of Ferric Nitrilotriacetic Acid: Local Auto-Catalytic Effects", *Chem. Eng. Sci.*, 57, hal 1723-1734
- [4] Ebrahimi, S., Kleerebezem, R., van Loosdrecht, M.C.M., Heijnen, J.J., (2003), "Kinetics of the Reactive Absorption of Hydrogen Sulfide into Aqueous Ferric Sulfate Solutions", *Chem. Eng. Sci.*, 58, hal 417-427

- [5] Fadhillah, F., (2001), "Kinetika Absorpsi Gas Hidrogen Sulfida dalam Larutan Ferri Sulfat Encer pada Reaktor Gelembung Berpangaduk", Laporan Penelitian, Laboratorium Proses Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
- [6] Levenspiel, O., (1999), "Chemical Reaction Engineering", edisi 3., John Wiley and Sons, New York, hal 523-537
- [7] Limtrakul, S., Rojanamatin, S., Vatanatham, T., Ramachandran, P.A., (2005), "Gas-Lift reactor for Hydrogen Sulfide Removal", *Ind Eng Chem Res*, 44, hal 6115-6112
- [8] Mandal, B.P., Biswas, A.K., Bandyopadhyay, S.S., (2004), "Selective Absorption of H_2S from Gas Streams Containing H_2S and CO_2 into Aqueous Solutions of *N*-Methyl-diethanolamine and 2-Amino-2-methyl-1-propanol", *Sep. Pur. Technol.*, 35, hal 191-202
- [9] Missen, R.W., Mims, C. A., and Saville, B. A., (1999), "Introduction to Chemical Reaction Engineering and Kinetics", edisi 1, John Wiley and Sons, New York, hal 239-255
- [10] Pani, F., Gaunand, A., Richon, D., Cadours, R., and Bouallou, C., (1997), "Absorption of H_2S by an Aqueous Methyl-diethanolamine Solution at 296 and 343 K", *J. Chem. Eng. Data*, 42, hal. 865-870
- [11] Sediawan, W.B. dan Prasetya, A., (1997), "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia", edisi 1, Penerbit ANDI Yogyakarta, hal. 20-21, 58-62
- [12] Vogel, A.I., (1951), "A Text-Book of Quantitative Inorganic Analysis Theory and Practice", edisi 2, Longmans Green and Co, London, hal. 328-356
- [13] Wang, H., Dalla Lana, I. G., and Chuang, K. T., (2002a), "Kinetics of Reaction between Hydrogen Sulfide and Sulfur Dioxide in Sulfuric Acid Solutions", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 41, hal 4707-4713
- [14] Wang, H., Dalla Lana, I. G., and Chuang, K. T., (2002b), "Kinetics and Mechanism of Oxidation of Hydrogen Sulfide by Concentrated Sulfuric Acid", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 41, hal. 6656-6662