

# Penerapan Model Matematika pada Kinetika Reaksi Oksidasi Fero Sulfat Menjadi Feri Sulfat dengan Katalis Kupri Sulfat

Neneng Purnamawat<sup>1</sup>, Leo Adhar Effendi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi,  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Riau

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Matematika,  
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Islam Riau  
email: <sup>2</sup>leo.ae@edu.uir.ac.id

## Abstrak

Oksidasi fero sulfat menjadi feri sulfat dilakukan dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pengaduk dan pemanas. Katalisator yang digunakan adalah kupri sulfat. Reaksi dijalankan pada konsentrasi awal Fero sulfat 0,4 N dengan kisaran suhu mulai dari 40 °C sampai 90 °C, konsentrasi katalis dari 0,01613 N sampai 0,08333 N, kecepatan pengadukan pada kisaran 220 rpm sampai 400 rpm dan laju alir udara pada kisaran 31,94 mL/s sampai 61,56 mL/s. Setiap 10 menit sampel diambil untuk dianalisis konsentrasi fero sulfat secara volumetris. Analisa tetapan kecepatan reaksi ( $k_r$ ) dan parameter perpindahan massa ( $k_{ag}$  dan  $k_{al}$ ) dilakukan secara numeris dengan menggunakan metode Runge-Kutta dan minimasi yang ditentukan dengan metode kuadrat terkecil.

Nilai konversi maksimum yang diperoleh 30,71% pada kondisi suhu 70 °C, kecepatan pengaduk 290 rpm, laju alir udara 40,26 mL/s dan konsentrasi katalisator 0,0833 N. Hasil perhitungan nilai tahanan tiap parameter untuk berbagai variasi suhu, konsentrasi katalisator, kecepatan pengaduk, dan laju alir udara dapat disimpulkan bahwa kinetika reaksi dikendalikan oleh reaksi kimia.

## Abstract

Oxidation of ferrous sulphate to ferric sulphate was conducted in an agitated reactor using cupri sulphate as catalyst. This experiment was performed at ferrous sulphate initial concentration of 0.4 N, reaction temperature of 40-90 °C, agitator speed of 220-400 rpm, volumetric rate of gas of 31.94-61.56 mL/s. Mass transfer coefficient and reaction rate constant were calculated by using Runge-Kutta and Hooke-Jeeves method.

Based on the experimentally result, the value of maximum conversion obtained was 30.71% at reaction temperature of 70 °C, agitator speed of 290 rpm, and volumetric rate of gas of 40.26 mL/s. Evaluation of mass transfer coefficient and reaction rate constant revealed that the step of controlling the overall process is chemical reaction.

## 1. Pendahuluan

Permasalahan limbah menjadi masalah global karena hampir semua industri menghasilkan sejumlah limbah. Bahkan di beberapa industri, limbah terbesar yang dihasilkan adalah limbah besi sebagai akibat pesatnya perkembangan dunia industri outomotif yang tidak lepas dari bahan baku berupa komposit besi.

Salah satu alternatif yang dapat kita lakukan untuk memanfaatkan limbah besi tersebut adalah dengan mengolah besi menjadi besi sulfat (fero sulfat) yang bermanfaat bagi beberapa industri, yaitu sebagai koagulan proses pemurnian air. Proses oksidasi fero sulfat menjadi feri sulfat akan meningkatkan fungsi koagulasi dalam proses penjernihan air, karena daya koagulasi feri sulfat 11 kali lebih besar dibandingkan fero sulfat (Ronnholm, dkk, 1999).

Pada penelitian ini dilakukan oksidasi fero sulfat menjadi feri sulfat dengan bantuan katalisator kupri sulfat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Karena katalis berupa cairan, maka reaksi yang terjadi adalah reaksi heterogen gas-cair-cair.

## 2. Tinjauan Pustaka

Fero sulfat dapat dioksidasi dalam suasana asam menjadi feri sulfat dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Pada umumnya persamaan kecepatan reaksi oksidasi fero sulfat menjadi feri sulfat dinyatakan sebagai reaksi order satu terhadap konsentrasi oksigen dan antara order satu atau dua terhadap konsentrasi FeSO<sub>4</sub> (Ronnholm,1999). Udara dialirkan ke dalam reaktor secara kontinyu, sehingga konsentrasi oksigen dapat dianggap konstan, maka persamaan kecepatan reaksinya dapat disederhanakan menjadi persamaan kecepatan reaksi order satu semu (Ronnholm, 1999).

Mekanisme yang umum terjadi pada reaksi heterogen gas-cair-cair adalah reaktan mendifusi dari badan utama gas menuju interface gas-cair dengan melalui lapisan film gas. Dari interface ini, reaktan mendifusi melalui lapisan film cairan menuju badan utama cairan. Saat reaktan bertumbukan dengan molekul reaktif yang ada dalam cairan, maka reaksi kimia akan terjadi. Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi laju reaksi kimia yang terjadi dan mekanisme mana yang sesuai (yang mengendalikan), maka dapat dilakukan penelitian dengan memvariasikan temperatur, konsentrasi katalis, kecepatan pengadukan, kecepatan aliran gas (ukuran gelembung).

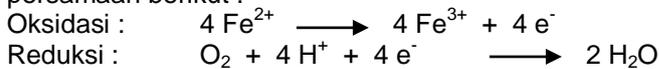
Secara umum kenaikan suhu akan meningkatkan konstanta kecepatan reaksi, sehingga reaksi kimia semakin cepat. Persamaan yang menyatakan hubungan antara tetapan kecepatan reaksi (k) dengan suhu T dinyatakan oleh Arrhenius :

$$k = Ae^{-\frac{E}{RT}} \quad (2)$$

Jika aliran gas diperbesar, maka ukuran gelembung akan semakin besar sehingga luas bidang kontak per volume cairan akan semakin besar. Hal ini berarti dengan bertambahnya kecepatan gas maka semakin banyak gelembung gas yang akan terdifusi dalam cairan, dan reaksi kimia semakin cepat. Selain itu, pengadukan menyebabkan pencampuran reaktan akan menjadi lebih baik karena meningkatnya turbulensi didalam cairan sehingga reaksinya akan menjadi lebih cepat.

### 3. Landasan Teori

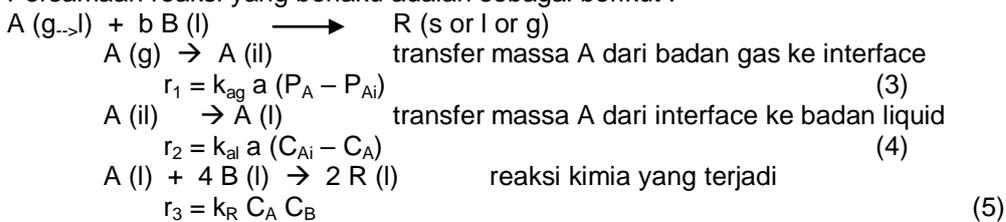
Reaksi oksidasi fero sulfat menjadi feri sulfat yang terjadi dapat ditulis dalam persamaan berikut :



Maka senyawa-senyawa yang bereaksi dapat ditulis menjadi :



Persamaan reaksi yang berlaku adalah sebagai berikut :



Tiga model utama yang diharapkan dapat mewakili kinetika reaksi proses oksidasi tersebut :

#### Model I. Keadaan quasi steady state :

$$\frac{r_3}{k_R C_B} = C_A \quad (6)$$

$$\frac{r_3}{4k_{ag} a} = (P_A - P_{Ai}) \Rightarrow \frac{r_3}{4k_{ag} a} = (P_A - H_A C_{Ai}) \quad (7)$$

$$\frac{r_3}{4k_{al} a} = (C_{Ai} - C_A) \Rightarrow C_{Ai} = \frac{r_3}{4k_{al} a} + C_A \quad (8)$$

$$r_3 \left[ \frac{1}{k_{ag} a} + \frac{H_A}{k_{al} a} + \frac{4H_A}{k_R C_B} \right] = 4P_A \quad (9)$$

Karena nilai Henry gas ( $H_A$ ) sangat besar, maka nilai  $k_{ag}$  lebih kecil dibandingkan nilai  $k_{al}$  dan  $k_R$ . Sehingga harga  $k_{ag}$  dapat diabaikan, maka persamaan menjadi :

$$r_3 = \frac{4P_A}{\frac{H_A}{k_{al}a} + \frac{4H_A}{k_R C_B}} \quad (10)$$

**Model II. Jika salah satu yang mengendalikan :**

a. Jika hambatan ada di fase gas ( $k_{ag} \ll$  ,  $k_{al} \gg$  dan  $k_R \gg$ )

$$r_1 = k_{ag} a (P_A - P_{Ai}) \quad (11)$$

$$r_2 = k_{al} a (C_{Ai} - C_A) \Rightarrow \frac{r_2}{k_{al} a} \approx 0 \Rightarrow C_{Ai} = C_A \quad (12)$$

$$r_3 = k_R C_A C_B \Rightarrow \frac{r_3}{k_R} \approx 0 \Rightarrow C_A \approx 0 \quad (13)$$

$$r_1 = k_{ag} a (P_A - H_A C_A) = \frac{r_3}{4} \quad (14)$$

maka persamaan menjadi :

$$-\frac{dC_B}{dt} = 4k_{ag} a P_A \quad (15)$$

b. Jika hambatan ada di fase liquid ( $k_{ag} \gg$  ,  $k_{al} \ll$  dan  $k_R \gg$ )

$$r_1 = k_{ag} a (P_A - P_{Ai}) \Rightarrow \frac{r_1}{k_{ag} a} \approx 0 \Rightarrow P_A = P_{Ai} \quad (16)$$

$$r_2 = k_{al} a (C_{Ai} - C_A) \quad (17)$$

$$r_3 = k_R C_A C_B \Rightarrow \frac{r_3}{k_R} \approx 0 \Rightarrow C_A \approx 0 \quad (18)$$

$$r_2 = k_{al} a \left( \frac{P_A}{H_A} - C_A \right) = \frac{r_3}{4} \quad (19)$$

maka persamaan menjadi :

$$-\frac{dC_B}{dt} = \frac{4k_{al} a P_A}{H_A} \quad (20)$$

c. Jika reaksi kimia yang mengendalikan (reaksi sangat lambat)

$$r_1 = k_{ag} a (P_A - P_{Ai}) = 0 \Rightarrow P_A = P_{Ai} = H_A C_{Ai} \quad (21)$$

$$r_2 = k_{al} a (C_{Ai} - C_A) = 0 \Rightarrow C_{Ai} = C_A \quad (22)$$

$$r_3 = k_R C_A C_B \quad (23)$$

maka persamaan menjadi :

$$-\frac{dC_B}{dt} = \frac{k_R}{H_A} P_A C_B \quad (24)$$

**Model III. PD Simultan**

**Neraca massa Oksigen pada fase liquid :**

$$V \frac{dC_A}{dt} = Vr_2 - Vr_3 \quad (25)$$

$$\frac{dC_A}{dt} = k_{al} a (C_{Ai} - C_A) - \frac{1}{4} k_R C_A C_B \quad (26)$$

**Neraca massa fero sulfat :**

$$V \frac{dC_B}{dt} = V(-r_3) \Rightarrow -\frac{dC_B}{dt} = r_3 \tag{27}$$

$$-\frac{dC_B}{dt} = k_R C_A C_B \tag{28}$$

**4. Pelaksanaan Penelitian**

Empat puluh dua gram serbuk besi dengan empat puluh dua mililiter larutan asam sulfat dicampurkan lalu diencerkan sampai volume tiga ratus mililiter. Campuran tersebut dipanaskan dalam labu leher tiga sampai suhu sebesar 75°C konstan dan semua serbuk besi larut (lebih kurang selama 2,5 jam).

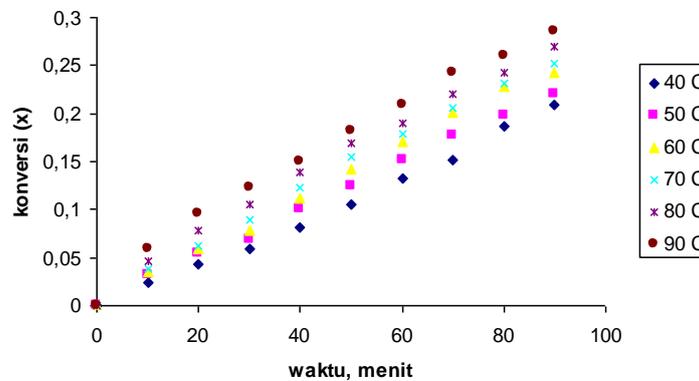
Larutan fero sulfat 0,4 N sebanyak seratus lima puluh mililiter dan seratus lima puluh mililiter asam sulfat 0,5 N dimasukkan kedalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan pemanas dan pendingin balik. Selanjutnya larutan dipanaskan sambil diaduk dengan hingga mencapai temperatur yang diinginkan. Setelah temperatur konstan, sebagian bahan diambil untuk menentukan konsentrasi awal fero sulfat. Katalisator kupri sulfat dimasukkan kedalam labu leher tiga dan udara dialirkan. Tiap 10 menit, dilakukan pengambilan sampel, analisis kandungan fero dengan cara volumetris, yaitu dititrasi dengan larutan KMnO<sub>4</sub> 0,1071 N.

**5. Hasil Penelitian**

Penelitian memvariasikan suhu 40°C - 90°C, konsentrasi katalisator 0,01613 grek/L - 0,08333 grek/L, kecepatan pengadukan 220 rpm - 400 rpm dan laju alir udara 31,94 mL/s - 61,56 mL/s.

**5.1 Pengaruh Suhu**

Hasil percobaan dan nilai parameter hasil evaluasi pada perbagai suhu dapat dilihat pada Gambar 1.



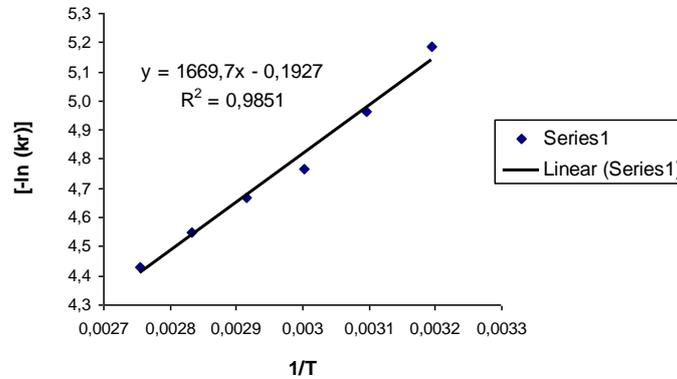
Gambar 1. Pengaruh suhu terhadap konversi

Pada umumnya reaksi akan berlangsung lebih cepat bila suhu dinaikkan, dengan meningkatnya suhu, maka tenaga kinetik yang dimiliki oleh molekul akan semakin besar, sehingga tumbukan akan semakin banyak terjadi. Kenaikan suhu akan mempercepat reaksi terlihat pada Gambar 1, dimana pada suhu tertinggi yaitu pada suhu 90°C konversi mencapai 28,53%. Pengaruh kenaikan suhu terhadap parameter transfer massa dan konstanta reaksi dapat dilihat pada Daftar 1.

Daftar 1. Pengaruh suhu terhadap parameter, Model quasi steady state (Kon.Kat 0,0588 grek/L; Kec.Pengaduk 290 rpm; Laju udara 40,26 mL/s)

Parameter	Suhu, °C					
	40	50	60	70	80	90
k <sub>a</sub> , 1/min	0,6975	0,7641	1,0249	1,0480	1,1294	1,1458
k <sub>r</sub> , L/mol min	0,0056	0,0070	0,0085	0,0094	0,0106	0,0119

Ralat	0,69%	0,34%	0,43 %	0,25%	0,35%	0,69%
SSE	9,713E-05	2,814E-05	4,113E-05	1,167E-05	5,905E-05	1,901E-04



Gambar 2. Hubungan antara  $[-\ln k_r]$  dengan  $1/T$

Daftar 1 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa, nilai tetapan kecepatan reaksi ( $k_r$ ) terus meningkat dengan naiknya suhu. Hal ini sesuai dengan teori Arrhenius, bahwa suhu reaksi semakin tinggi akan menyebabkan nilai tetapan kecepatan reaksi ( $k_r$ ) bertambah besar. Perubahan nilai  $k_r$  terhadap suhu dinyatakan dalam persamaan Arrhenius berikut:

$$k = 1,2125316 \exp \left[ - \frac{13882,693}{RT} \right] \quad (29)$$

Untuk menentukan mekanisme mana yang mengendalikan dapat dilakukan dengan menghitung kontribusi dari masing-masing parameter yang terlibat. Berikut hasil hitungan nilai hambatan tiap parameter.

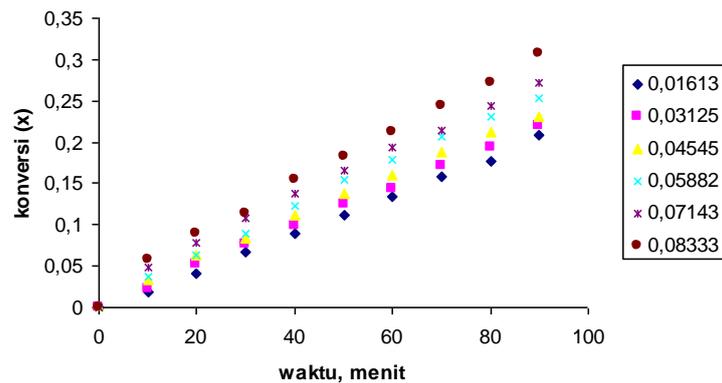
Daftar 2. Nilai hambatan tiap parameter, Model quasi steady state  
(Kon.Kat 0,0588 grek/L; Kec.Pengaduk 290 rpm; Laju udara 40,26 mL/s)

Hambatan	Suhu, °C					
	40	50	60	70	80	90
$Ha/4Pa \cdot k_{ia}$	0,8301137	0,7974183	0,6209031	0,6495572	0,6353218	0,6488973
$Ha/Pa \cdot k_r$	1327	1133	1002	983	940	887
$1/k_o$	1328	1133	1003	984	940	888

Daftar 2 menunjukkan nilai hambatan perpindahan massa memiliki nilai yang sangat kecil sedangkan hambatan reaksi kimia memiliki nilai yang paling besar. Hasil ini dapat dikatakan bahwa mekanisme yang paling berpengaruh terhadap laju proses adalah reaksi kimia.

## 5.2 Pengaruh Katalisator

Katalisator dalam suatu proses reaksi dapat mempercepat laju reaksi tersebut. Berikut pengaruh katalisator pada percobaan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi katalisator terhadap konversi

Seperti yang terlihat pada Gambar 3, semakin tinggi konsentrasi katalisator, maka semakin tinggi konversi dan reaksi semakin cepat. Hal ini karena katalis berfungsi mempercepat reaksi dengan jalan memperkecil energi aktivasi suatu reaksi. Dengan menurunnya energi aktivasi maka pada suhu yang sama reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Sedangkan pengaruh katalisator terhadap parameter transfer massa dan konstanta reaksi dapat dilihat pada Daftar 3.

Daftar 3. Pengaruh katalisator terhadap parameter, Model quasi steady state  
(Suhu 70°C; Kec.Pengaduk 290 rpm; Laju alir udara 40,264 mL/s)

Parameter	Konsentrasi katalisator, grek/L					
	0,01613	0,03125	0,04546	0,05882	0,07143	0,08333
$k_a$ , 1/min	0,3188	0,5339	0,5904	1,0520	1,0806	1,1411
$k_r$ , L/mol min	0,0070	0,0077	0,0085	0,0094	0,0103	0,0116
Ralat	0,44%	0,24%	0,20%	0,23%	0,60%	0,57%
SSE	3,987E-05	1,432E-05	8,354E-06	1,167E-05	6,867E-05	8,078E-05

Sama halnya dengan suhu, untuk mengetahui mekanisme mana yang mengendalikan reaksi dapat diketahui dengan menghitung nilai hambatan tiap parameter yang terlibat. Berikut daftar nilai hambatan tiap parameter.

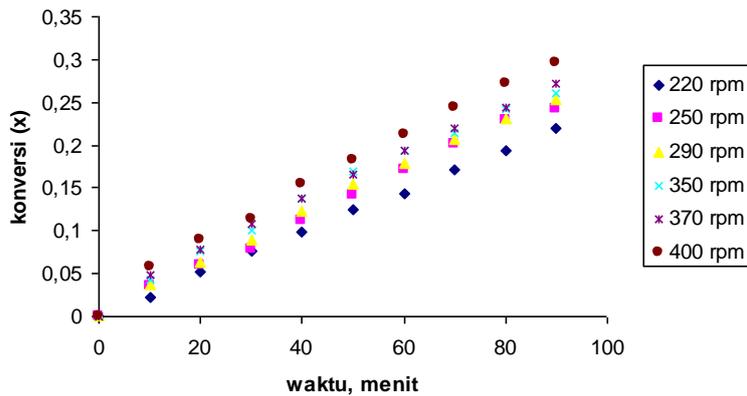
Daftar 4. Nilai hambatan tiap parameter, Model quasi steady state  
(Suhu 70°C; Kec.Pengaduk 290 rpm; Laju alir udara 40,264 mL/s)

Hambatan	Konsentrasi katalisator, grek/L					
	0,01613	0,03125	0,04546	0,05882	0,07143	0,08333
$Ha/4Pa \cdot k_{ia_g}$	2,2507292	1,3439454	1,2153328	0,6820651	0,664013	0,6288077
$Ha/Pa \cdot k_r$	1165	1212	1114	1036	971	906
$1/k_o$	1168	1214	1115	1037	971	906

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, dapat dikatakan bahwa mekanisme yang paling berpengaruh terhadap laju proses adalah reaksi kimia, karena nilai hambatan reaksi kimia lebih besar dari hambatan transfer massa.

### 5.3 Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Pengaruh kecepatan pengadukan untuk reaksi oksidasi fero sulfat menjadi feri sulfat pada berbagai kecepatan dapat dilihat pada Gambar 4.



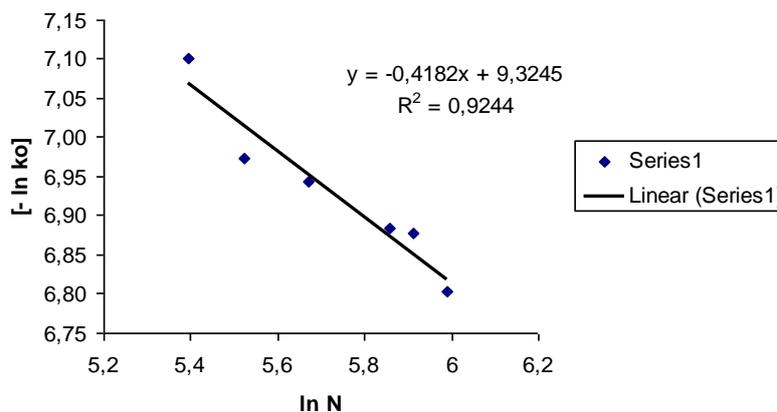
Gambar 4. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konversi

Pengadukkan akan menyebabkan pencampuran reaktan akan menjadi lebih baik. Semakin cepat putaran pengaduk, maka perubahan konsentrasi fero sulfat juga semakin besar dan konversi juga semakin tinggi. Kenaikan kecepatan pengadukan akan meningkatkan *interfacial area* sehingga dispersi gas ke cairan semakin sempurna. Naiknya kecepatan putaran pengaduk menyebabkan turbulensi didalam larutan juga semakin baik. Sedangkan hasil perhitungan harga parameter untuk perubahan kecepatan pengadukan dapat dilihat pada Daftar 5.

Daftar 5. Pengaruh kec. pengaduk terhadap parameter, Model quasi steady state  
 (Suhu 70°C; Kons.Kat 0,0588 grek/L; Laju udara 40,26 mL/s)

Parameter	Kecepatan pengaduk, rpm					
	220	250	290	350	370	400
$k_a$ , 1/min	0,8513	0,9476	1,0126	1,1291	1,1756	1,1987
$k_r$ , L/mol min	0,0077	0,0090	0,0094	0,0101	0,0103	0,0115
Ralat	0,24%	0,47%	0,23%	0,59%	0,60%	0,58%
SSE	1,433E-05	4,113E-05	1,167E-05	5,953E-05	6,867E-05	8,956E-05

Dari data diatas terlihat bahwa perubahan nilai parameter pada kecepatan putaran 350 rpm tidak berbeda jauh dengan nilai parameter pada kecepatan putaran 370 rpm. Ronnholm, dkk (1999) telah melakukan penelitian dengan menaikkan kecepatan putaran sampai 1000 rpm, ternyata tidak memberikan perbedaan yang berarti. Pengaruh kecepatan pengaduk terhadap nilai koefisien overall dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan ln [N] vs ln [k<sub>ov</sub>]

Berdasarkan Gambar 5, hubungan antara kecepatan pengaduk dengan nilai koefisien perpindahan massa overall dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$k_{ov} = 8,9212 \times 10^{-5} (N)^{0,4182} \quad (30)$$

Dari persamaan (30) terlihat bahwa kenaikan kecepatan pengadukan (N) tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap kenaikan nilai koefisien overall. Sedangkan untuk mengetahui mekanisme yang berpengaruh pada proses reaksi, dilakukan penghitungan hambatan tiap parameter.

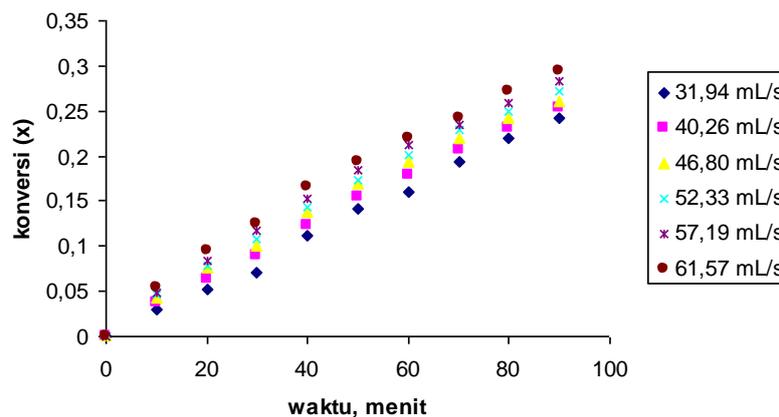
Daftar 6. Nilai hambatan tiap parameter, Model quasi steady state  
(Suhu 70°C; Kons.Kat 0,0588 grek/L; Laju udara 40,26 mL/s)

Hambatan	Kecepatan pengaduk, rpm					
	220	250	290	350	370	400
$Ha/4Pa \cdot k_{a_g}$	1,1016927	0,7572103	0,7086041	0,6354906	0,6103543	0,5985922
$Ha/Pa \cdot k_r$	1212	1067	1036	975	971	899
$1/k_o$	1214	1068	1037	976	971	900

Berdasarkan Daftar 6 nilai hambatan transfer massa lebih kecil dibandingkan nilai hambatan reaksi kimia. Sehingga dapat dikatakan bahwa mekanisme yang paling berpengaruh terhadap laju proses adalah reaksi kimia.

#### 5.4 Pengaruh Laju alir udara

Berdasarkan Gambar 6, kita dapat melihat pengaruh laju alir udara pada berbagai kecepatan terhadap konversi.



Gambar 6. Pengaruh laju alir udara terhadap konversi

Pada Gambar 6 terlihat bahwa semakin besar udara yang dialirkan maka konversi akan semakin tinggi yang berarti reaksi semakin cepat. Hal ini karena pada saat aliran gas diperbesar, maka jumlah oksidator yang bereaksi akan semakin banyak. Untuk harga parameter pada berbagai kecepatan aliran udara dapat dilihat pada Daftar 7.

Daftar 7. Pengaruh laju alir udara terhadap parameter, Model quasi steady state  
(Suhu 70°C; Kon.Kat 0,05882 grek/L; Kec.Pengaduk 290 rpm)

Parameter	Laju alir udara, mL/s					
	31,9425	40,2633	46,8002	52,3287	57,1896	61,5676
$k_{a_g}$ , 1/min	0,6493	0,7243	0,7542	0,8699	0,9855	1,1285
$k_r$ , L/mol min	0,0087	0,0094	0,0101	0,0106	0,0111	0,0117
Ralat	0,51%	0,23%	0,59%	0,65%	0,89%	1,15%
SSE	6,041E-05	1,167E-05	5,956E-05	6,289E-05	1,020E-04	1,823E-04

Untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh pada proses reaksi, maka dihitung nilai hambatan tiap parameter yang terlibat. Berikut daftar nilai tiap parameter.

Daftar 8. Nilai hambatan tiap parameter model quasi steady state  
(Suhu 70°C; Kon.Kat 0,05882 grek/L; Kec.Pengaduk 290 rpm)

Hambatan	Laju alir udara, mL/s					
	31,9425	31,9425	31,9425	31,9425	31,9425	31,9425
Ha/4Pa*k <sub>ig</sub>	1,1050862	0,9906565	0,9513822	0,8248448	0,7280898	0,6358285
Ha/Pa*k <sub>r</sub>	1104	1036	975	943	914	888
1/k <sub>o</sub>	1105	1037	976	944	915	889

Nilai hambatan parameter transfer massa lebih kecil dari nilai hambatan reaksi kimia. Berdasarkan hasil ini dapat dikatakan bahwa mekanisme yang paling berpengaruh terhadap laju proses adalah reaksi kimia.

## 6. Kesimpulan

Persamaan kinetika oksidasi gas-cair untuk mengubah fero sulfat menjadi feri sulfat dengan katalisator kupri sulfat dapat ditentukan dengan model matematis yaitu quasi steady state dan model simultan. Model quasi steady state dipilih untuk diajukan sebagai persamaan kinetika oksidasi gas-cair fero sulfat menjadi feri sulfat dengan katalisator kupri sulfat karena lebih sederhana penyelesaian persamaannya. Selain itu, dari hasil perhitungan nilai ralat dan SSE setiap data yang diolah dengan persamaan quasi steady state relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan data yang diolah dengan persamaan simultan. Berikut persamaan kinetika untuk model quasi steady state.

$$r_3 = \frac{4P_A}{\frac{H_A}{k_{al}a} + \frac{4H_A}{k_r C_B}}$$

Reaksi oksidasi Fero sulfat dengan katalisator kupri sulfat dikendalikan oleh regim kimia. Hal ini terlihat dari harga hambatan tiap parameter dimana harga hambatan terbesar adalah pada konstanta kecepatan reaksi bila dibandingkan dengan harga hambatan perpindahan massa.

Hubungan antara nilai tetapan kecepatan reaksi dengan suhu mengikuti persamaan :

$$k = 1,2125316 \exp \left[ -\frac{13882,693}{RT} \right]$$

## Referensi

- [1] Fogler, H., S., 1999, "Elements of Chemical Reaction Engineering", 3<sup>rd</sup> ed., Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.
- [2] Jenson, V.G., Jeffreys, G.V., 1977, "Mathematical Methods in Chemical Engineering", 2<sup>nd</sup> ed, Academic Press, Inc., New York.
- [3] Levenspiel, O., 1999, "Chemical Reaction Engineering", 3<sup>rd</sup> ed, John Wiley & Sons, New York.
- [4] Perry, R.H., Green, D.W., and Maloney, J.D., 1984, "Chemical Engineers Handbook", 6<sup>th</sup> ed, pp 3-103, McGraw Hill International Book Company, Inc., Toronto.
- [5] Ronnhholm, M.R., Warna, J., Salmi, T., Turunen, I., Luoma, M, 1999, "Kinetics of Oxidation of Ferrous Sulfate with Molecular Oxygen", *Chem. Eng. Sci.*, 54, 4223 - 4232.
- [6] Ronnhholm, M.R., Warna, J., Salmi, T., 2002, "Two-and three-phase Oxidation od Ferrous Sulfate to Ferric Sulfate from Intrinsic Kinetics to Diffusion-affected Industrial Kinetics", *Chem. Eng. And Processing.*, 41, 753 - 760.
- [7] Sediawan W.B, Prasetya A., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia", ANDI, Yogyakarta.