

# MODEL DAN KINETIKA REAKSI BELERANG DALAM LARUTAN KALIUM KARBONAT

Yuyun Yuniati  
Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya  
Jl. Arif Rahman Hakim No. 100 Surabaya.  
031-5945043 (148)

## Abstract

*Potassium sulfate is a kind of manure that commonly used. The making of potassium sulfate has been learned. The method is by oxidizing sulfur suspension in potassium carbonate solution. The problems in that process are feeding and process condition. Next, the simple process is made, by reacting sulfur with potassium carbonate solution before oxidize reaction product (solution) into potassium sulfate. The objective of this research was to learn the model and kinetics reaction of sulfur with potassium carbonate. From this research we get reaction model and kinetics data that we can use for reactor design and (reaction) process.*

*This research is made in batch reactor which we used one-neck flask with heater and stirrer. Pouring 500 ml potassium carbonate into the reactor and being heating until several temperature. Then, 100 gram of sulfur is fed into the reactor and the reaction is run until several time. When the reaction is finish, the mixed solution is filtered and the filtrate is being analyze to obtained S that bind in  $K_2S_2O_3$  and  $K_2S_2$ , then the total conversion is count.*

*From this research we can get some conclusions, that is reaction of sulfur with potassium carbonate is being controlled by chemical reaction regime. This statement is prove with time that sulfur needs for perfect reaction in chemical reaction regime is longer than in diffusion regime. The biggest kinetics constant was in 100 °C temperature, 1.15 N potassium carbonate concentration that is  $7.83776 \times 10^{-6}$  dm/menit. The fastest diffusivity was in 100 °C temperature, 2.11 N potassium carbonate that is  $8.55935 \times 10^{-10}$  dm<sup>2</sup>/menit.*

Key word : oxidizing, reaction model, batch reactor

## 1. Pendahuluan

Sebagai negara agraris, kebutuhan pupuk di Indonesia masih cukup besar. Salah satu jenis pupuk yang digunakan adalah pupuk kalium, khususnya pupuk kalium sulfat, yang saat ini masih harus diimpor. Pupuk kalium sulfat digunakan sebagai pengganti pupuk kalium klorida pada jenis tanaman yang peka terhadap klorid, seperti anggur dan tembakau, dan juga pada daerah gersang atau memiliki air asin sebagai sarana pengairannya (Othmer,1978). Pupuk kalium sulfat bisa didapatkan dengan cara pemisahan senyawa kalium sulfat yang banyak terdapat pada batuan *Sylvite*, *Halite*, maupun *Langbeinite* yang tidak terdapat di Indonesia (Austin, 1985). Sedangkan belerang banyak sekali ditemukan di pegunungan di Indonesia, sehingga dengan tersedianya belerang dalam jumlah besar maka sangat dimungkinkan untuk mengelola atau memanfaatkan belerang tersebut menjadi senyawa lain yang lebih bermanfaat. Salah satu caranya adalah dengan mereaksikan belerang dengan kalium karbonat dalam suatu reaktor *batch* yang menghasilkan kalium polisulfid dan kalium tiosulfat yang kemudian

dioksidasi menjadi kalium sulfat (Astuti, 2002). Penelitian tentang reaksi pelarutan belerang dalam larutan kalium karbonat pernah dilakukan oleh Hamdani dan Sofi (2004) yang menghasilkan larutan kalium polisulfid dan kalium tiosulfat. Tetapi pada penelitian tersebut belum dipelajari tentang model reaksi dan kinetiknya. Tujuan dipelajarinya reaksi pelarutan belerang dalam kalium karbonat adalah untuk menghasilkan larutan yang mengandung  $K_2S_2$  dan  $K_2S_2O_3$  sebagai bahan baku pembuatan  $K_2SO_4$ . Dengan mengoksidasi larutan itu akan menghindari pemakaian suhu dan tekanan yang tinggi pada proses pembuatan kalium sulfat secara satu tahap. Dengan mengetahui model reaksi dan data kinetika akan diperoleh suatu konstanta kecepatan reaksi yang dapat digunakan sebagai data perancangan reaktor.

Model reaksi dan kinetika reaksi belerang dalam larutan kalium karbonat dipengaruhi oleh suhu reaksi, waktu reaksi dan konsentrasi larutan kalium karbonat. Hasil analisis kadar belerang dalam larutan hasil reaksi, yaitu kalium poli sulfid dan kalium tiosulfat, akan dipergunakan sebagai data untuk mengetahui model reaksi dan konstanta kecepatan reaksi.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari model reaksi dan data kinetika reaksi pelarutan belerang dalam larutan kalium karbonat. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk keperluan perancangan reaktor.

Apabila penelitian ini berhasil dengan baik, maka akan diperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Mempermudah merancang peralatan reaksi (reaktor).
2. Sebagai alternatif pembentukan kalium sulfat melalui cara yang lebih mudah.

## 2. Fundamental

Sebagai pupuk, kalium sulfat terdiri atas senyawa kalium dan senyawa yang mengandung belerang (sulfat). Kalium sangat banyak terdapat di lapisan kulit bumi dalam bentuk batuan mineral seperti tawas, *feldspar*, dan mika yang terikat dengan senyawa alkali lain seperti *sylvite*, *arcanite*, atau *carnallite* (Othmer, 1978). Sumber belerang yang berupa pegunungan belerang banyak terdapat di Indonesia. Belerang terbentuk secara alami, biasanya tercampur dengan bahan-bahan yang berbau tanah. Produk yang dijual sangat murni. Biasanya elemen yang terbentuk dalam batuan silika dan karbonat berupa sulfida. Dalam bentuk gas berupa  $H_2S$  dan  $SO_2$  (Vogel, 1979). Sebagai negara agraris, kebutuhan pupuk sangat meningkat di Indonesia. Salah satunya adalah pupuk kalium sulfat. Dengan adanya sumber belerang, maka dapat dibuat pupuk kalium sulfat sendiri. Dalam industri, kalium sulfat diperoleh dengan cara mereaksikan *langbeynite* ( $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ ) dengan larutan kalium klorida jenuh dengan reaksi berikut:



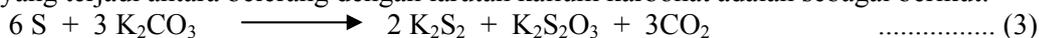
Supaya reaksi berlangsung cepat, maka dipakai larutan kalium klorid berlebih. Proses pembuatan kalium sulfat secara sintesis dikenal dengan proses Mannheim. Pada proses itu kalium klorida direaksikan dengan asam sulfat pekat untuk menghasilkan kalium sulfat. Penelitian tentang pembuatan kalium sulfat telah banyak dilakukan dengan cara :

1. Reaksi satu tahap  
Belerang direaksikan terhadap kalium karbonat dan dilakukan oksidasi langsung dengan reaksi sebagai berikut :  
 $S + K_2CO_3 + 1.5 O_2 \longrightarrow K_2SO_4 + CO_2 \quad \dots\dots\dots (2)$
2. Reaksi dua tahap  
Mula-mula belerang direaksikan dengan kalium karbonat yang memberikan hasil larutan yang mengandung kalium polisulfid dan kalium tiosulfat. Hasil yang berupa larutan dipisahkan untuk dioksidasi lebih lanjut menghasilkan kalium sulfat.

Reaksi antara belerang dengan kalium karbonat merupakan reaksi antara zat cair dan zat padat. Oleh karena itu perlu kiranya dicari keterangan (teori mengenai reaksi ini). Secara umum, kinetika reaksi antara butir padatan dengan cairan dapat dicari. Pada keadaan *steady* untuk sistem dua fase, pada umumnya kinetika reaksinya ditentukan oleh kecepatan perpindahan massa atau kecepatan reaksi kimia atau dapat pula keduanya (Levenspiel, 1972). Astuti (2002) telah melakukan penelitian pembuatan kalium sulfat dari ekstrak kulit buah kapuk dan belerang yang dialiri udara dan dilakukan dalam sebuah reaktor berpengaduk pada tekanan 1 atm.

Suspensi belerang dalam ekstrak abu disirkulasikan di dalam reaktor dengan bantuan udara dan pengadukan. Berdasarkan hasil penelitian itu diperoleh kondisi yang relatif baik adalah suhu 90°C, waktu reaksi 3,5 jam. Perbandingan pereaksi 10,31 gmol CO<sub>2</sub>/gat S, kecepatan udara 12,36 ml/detik. Konsentrasi K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0,9074 N. Pada keadaan ini diperoleh konversi belerang 74,05%. Hamdani dan Sofi (2004) telah melakukan penelitian yang serupa yaitu analisis hasil reaksi antara belerang dan kalium karbonat. Penelitian ini dilakukan di dalam reaktor batch yang berupa labu leher satu yang dilengkapi dengan pemanas dan pengaduk. Dari hasil penelitian ini diperoleh konversi terbesar 4,694%. Hal ini disebabkan sifat belerang yang sulit larut dalam larutan kalium karbonat. Kondisi yang relatif baik adalah suhu 120°C, waktu reaksi 100 menit dengan kecepatan putaran 750 rpm. Penelitian yang mempelajari kinetika reaksi heterogen padatan dan fluida telah dilakukan oleh Sofiyana, A. dan Tiodor (2004) tentang kinetika reaksi pembuatan kalsium klorida dari batu kapur yang berupa CaCO<sub>3</sub> dengan asam klorida. Dari penelitian itu disimpulkan bahwa reaksi antara batu kapur dan asam klorida menjadi kalium klorida dapat didekati dengan reaksi homogen mengikuti reaksi orde satu semu terhadap konsentrasi HCl. Warners, Stamhuis, dan Beenacker (1994) juga melakukan penelitian yang mempelajari kinetika reaksi dengan dua fase yaitu fase padat dalam fase cair. Model kinetika dua fase disajikan untuk dasar katalis hidroksi etilasi zat tepung kentang menggunakan etilen oksida dengan temperatur antara 293 K sampai dengan 318 K yang diencerkan dalam sodium sulfat. Dari penelitian ini diperoleh persamaan kecepatan  $R_{Hes} = 0.958 \times 10^9 \exp(-74680/RT)C_{EO}C_{RO,s}$  kmol m<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>. Dalam larutan garam yang lain konstanta kecepatan hidrolisis etilene oksida  $k_{H_2O}$  dan  $k_{OH}$  dapat dinaikkan dari 46 % dan direduksi dari 7 % per kmol m<sup>-3</sup>. Hidroksi etilasi glicol dapat mengikuti persamaan kecepatan  $R_{DEG} = 50.2 \exp(-34500/RT)C_{EO}^{0.62}C_{EG}^{0.45}C_{OH}^{0.95}$  kmol m<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>. Hidroksi etilasi sulfat sesuai dengan  $R_{HHS} = 8.48 \times 10^8 \exp(-86000/RT)C_{EO}C_{SO_4}$ .

Reaksi yang terjadi antara belerang dengan larutan kalium karbonat adalah sebagai berikut:

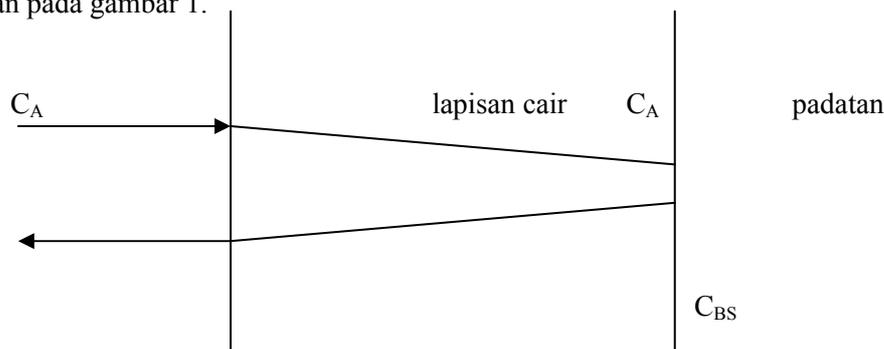


Proses di atas melibatkan fase padat dan fase cair. Secara umum mekanisme reaksi padat-cair dapat didekati dengan dua kemungkinan, yaitu :

1. Zat padat dianggap tidak ada yang larut sama sekali dan reaksi terjadi pada permukaan zat padat itu. Pada reaksi ini mengikuti model *shrinking core*. Selama terjadinya reaksi antara padatan dan cairan mengakibatkan penyusutan butiran padatan.
2. Zat padat ada yang larut dan yang larut itu selalu seimbang dengan zat padatnya. pada model ini reaksi berlangsung pada lapisan cairan (fase cairan).

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Hamdani dan Sofi (2004) memberikan hasil bahwa pada suhu reaksi moderat (antara 70–100 °C) konversi belerang cukup kecil. Hal ini membuktikan bahwa belerang yang larut ke dalam kalium karbonat cukup kecil juga. Oleh karena itu dalam penelitian ini masih menggunakan suhu reaksi di bawah 200 °C, maka hanya kemungkinan pertama yang disajikan untuk mencari data kinetika.

Mekanisme reaksi heterogen padat – cair secara umum melalui beberapa langkah. Langkah – langkah pada proses ini meliputi perpindaham massa kalium karbonat dari larutan ke lapisan antara cairan dengan permukaan padatan, reaksi kimia pada permukaan butiran padatan, dan perpindahan massa zat hasil reaksi dari permukaan butir padatan ke dalam larutan, yang dapat dilukiskan pada gambar 1.



**Gambar 1. Mekanisme perpindahan massa zat pereaksi dari fase cair ke fase padatan**

Pada model ini reaksi dianggap heterogen dan mekanisme reaksinya dapat dipengaruhi oleh kecepatan reaksi kimia, kecepatan perpindahan massa, ataupun keduanya. Kecepatan reaksi overall dalam reaksi heterogen dipengaruhi oleh besarnya kecepatan perpindahan massa dan kecepatan reaksi kimia. Fenomena dan persamaan yang menyertainya dapat dijelaskan dalam uraian di bawah ini:

**Perpindahan Massa yang Mengontrol**

Perpindahan massa larutan kalium karbonat ke permukaan padatan belerang. Jika disajikan dalam persamaan reaksi kalium karbonat (A) dan padatan belerang (B) dapat ditulis persamaan berikut:



Persamaan perpindahan massa:

$$\frac{-dN_A}{dt} = \frac{-dN_B}{dt} = 4\pi R^2 k_L (C_{AL} - C_{AC}) \dots\dots\dots(5)$$

- $N_A$  dan  $N_B$  = massa A dan B, gmol
- $t$  = waktu, menit
- $R$  = jari-jari butir padatan, dm
- $k_L$  = koefisien perpindahan massa A melalui lapisan cairan, dm/menit
- $C_{AL}$  = konsentrasi A dalam cairan ,gmol/L
- $C_{AC}$  = konsentrasi A di permukaan padatan, gmol/L

Dengan anggapan reaksi kimia berlangsung sangat cepat maka  $C_{AC} = 0$  sehingga persamaan (5) dapat dinyatakan :

$$\frac{-dN_B}{dt} = 4\pi R^2 k_L C_{AL} \dots\dots\dots(6)$$

Jika butir-butir padatan kecil, koefisien difusi cairan ke butir padatan yang jatuh bebas akan mengikuti hukum Stoke :

$$k_L = \frac{2D}{Dp} = \frac{D}{r} \dots\dots\dots(7)$$

Jumlah mol B yang bereaksi dapat dinyatakan :

$$-dN_B = -\rho_B dV \dots\dots\dots(8)$$

$$-dN_B = -4\pi\rho_B R^2 dr \dots\dots\dots(9)$$

$\rho_B$  = jumlah mol B persatuan volum padatan, gmol/L

Pada keadaan awal butir-butir padatan berukuran R, setelah reaksi berlangsung menjadi berjari-jari r, maka :

$$\frac{-dN_B}{dt} = -4\pi R^2 \rho_B \frac{dr}{dt} = -4\pi R^2 \frac{DC_{AL}}{r} \dots\dots\dots(10)$$

Jika diintegalkan dari jari-jari = R sampai jari-jari = r dan dari waktu = 0 sampai waktu = t maka diperoleh :

$$-\rho_B \frac{dr}{dt} = \frac{DC_{AL}}{r} \dots\dots\dots(11)$$

$$\int_0^t dt = -\frac{\rho_B r}{DC_{AL}} \int_R^r dr \dots\dots\dots(12)$$

$$t = -\frac{\rho_B}{2DC_{AL}} [r^2 - R^2] \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$t = \frac{\rho_B R^2}{2DC_{AL}} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots(14)$$

Jika zat B habis bereaksi, maka  $r = 0$ , dengan demikian waktu yang diperlukan agar zat B habis bereaksi dinyatakan dengan :

$$\tau = \frac{\rho_B R^2}{2C_{AL} D} \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$1 - X_B = \frac{\text{volume zat padat yang belum bereaksi}}{\text{volume total butir padatan}} \\ = \frac{(4/3)\pi r^3}{(4/3)\pi R^3} = (r/R)^3$$

Jika persamaan (15) dimasukkan ke persamaan (14), diperoleh :

$$t/\tau = \left( 1 - (r/R)^2 \right) = 1 - (1 - X_B)^{2/3} \quad \dots\dots\dots(16)$$

Untuk mendapatkan nilai  $\tau$  dapat dibuat grafik antara  $t$  dengan  $1 - (1 - X_B)^{2/3}$ . Slope persamaan garis yang diperoleh merupakan nilai  $\tau$ .

**Reaksi kimia yang mengontrol**

Kecepatan reaksi antara cairan A dengan padatan B pada permukaan padatan B dapat dinyatakan :

$$\frac{-dN_B}{dt} = \frac{-dN_A}{dt} = 4\pi R^2 k_s C_{AC} \quad \dots\dots\dots(17)$$

$k_s$  = konstanta kecepatan reaksi kimia, dm/menit

$C_{AC}$  = konsentrasi A pada permukaan padatan, gmol/L

Kecepatan difusi melalui lapisan cair dianggap berlangsung sangat cepat, sehingga  $C_{AL} = C_{AC}$ .

Substitusi persamaan (9) ke persamaan (17) menjadi:

$$\frac{-dN_B}{dt} = -\rho_B \frac{dr}{dt} = k_s C_{AL} \quad \dots\dots\dots(18)$$

kemudian dilakukan integrasi dari waktu = 0 sampai waktu = t, maka diperoleh persamaan :

$$\int_0^t dt = \int_R^r \frac{-\rho_B}{k_s C_{AL}} dr \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$t = \frac{\rho_B}{k_s C_{AL}} (R - r) \quad \dots\dots\dots(20)$$

Dan untuk  $r = 0$  atau  $X_B = 1$ , maka :

$$\tau = \frac{\rho_B R}{k_s C_{AL}} \quad \dots\dots\dots(21)$$

Maka persamaan (20) dan persamaan (21) dapat digabung menjadi :

$$\frac{t}{\tau} = 1 - \frac{r}{R} = 1 - (1 - X_B)^{1/3} \quad \dots\dots\dots(22)$$

Nilai  $\tau$  diperoleh dari grafik antara  $t$  dengan  $1 - (1 - X_B)^{1/3}$  dan slope garis yang didapat adalah nilai  $\tau$ .

### Jika semua langkah menentukan kecepatan reaksi heterogen

Tiap langkah berlangsung seri sehingga waktu untuk reaksi keseluruhan adalah :

$$\tau_t = \tau_{dc} + \tau_{rk} \quad \dots\dots\dots(23)$$

- $\tau_t$  = waktu reaksi total, menit
- $\tau_{dc}$  = waktu difusi melalui lapisan cair, menit
- $\tau_{rk}$  = waktu reaksi kimia, menit

### 3. Metodologi

Belerang diperoleh dari toko Brataco Chemical yang terletak di Jl. Tidar Surabaya. Belerang dianalisis dengan cara dibakar dan didapatkan kadar kemurnian sebesar 99,52 %. Kalium karbonat diperoleh dari toko Brataco Chemical yang terletak di Jl. Tidar Surabaya. Kalium karbonat diperoleh dalam bentuk padatan yang kemudian dilarutkan ke dalam aquades sehingga diperoleh konsentrasi kalium karbonat yang diinginkan. Selain belerang dan kalium karbonat juga dipakai bahan pembantu untuk analisis antara lain adalah HCl, NaOH, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O, ClCO<sub>3</sub>, KI, I<sub>2</sub>, Amilum, PP, H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

Untuk mempelajari model dan kinetika reaksi dipakai variabel berubah yang meliputi suhu (80, 90, 100 °C), waktu reaksi (40, 60, 80, 100, 120 menit), dan konsentrasi larutan kalium karbonat (1,15 N dan 2,11 N). Sedangkan variabel tetapnya berupa massa belerang sebanyak 100 gram dan kecepatan pengadukan 750 rpm.

#### Cara Penelitian

Mula-mula larutan kalium karbonat ditempatkan di dalam labu leher satu sebanyak 500 ml. Kemudian larutan kalium karbonat tersebut dipanaskan dengan menggunakan *hot plate* hingga diperoleh suhu yang diinginkan. Setelah suhu yang diinginkan tercapai belerang dimasukkan ke dalam labu leher satu dan diaduk. Reaksi dijalankan sesuai waktu yang ditentukan. Waktu reaksi dihitung mulai belerang dimasukkan ke dalam labu leher satu. Setelah reaksi selesai, campuran disaring untuk memisahkan larutan hasil dengan belerang yang tidak bereaksi. Selanjutnya filtrat dari penyaringan tersebut dianalisis kadar belerangnya dengan cara gravimetri dan iodometri.

#### a. Gravimetri

Hasil reaksi antara kalium karbonat dengan belerang disaring. Kemudian filtrat diambil sebanyak 20 ml. Untuk memisahkan kalium tiosulfat dan kalium polisulfid ditambahkan CdCO<sub>3</sub> pada filtrat dan diaduk dan disaring untuk mendapat endapan CdS. Endapan CdS tersebut dibakar di dalam furnace dengan suhu 800°C selama 8 jam. Endapan di krus porselen ditimbang untuk kemudian dihitung berat S dalam endapan CdS yang merupakan berat S dalam kalium polisulfid (Scott, 1939).

#### b. Iodometri

Filtrat dari hasil penyaringan setelah penambahan CdCO<sub>3</sub> ditambah 3 tetes HCl untuk membebaskan I<sub>2</sub> dan ditambahkan indikator amilum. Kemudian dititrasi dengan larutan KI sampai warna berubah dari bening menjadi biru. Setelah itu dititrasi balik dengan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Untuk mendapatkan konsentrasi larutan kalium tiosulfat dihitung dari kelebihan I<sub>2</sub> pada titrasi dengan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan S dihitung dari konsentrasi kalium tiosulfat yang dipadatkan.

#### c. Konversi Total

Untuk menghitung konversi total belerang (S) yang menjadi larutan K<sub>2</sub>S<sub>2</sub> dan K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dipakai persamaan :

$$X_s = \frac{S_1 + S_2}{S_0 \cdot K} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(21)$$

Dengan :

X<sub>s</sub> = Konversi total belerang

- $S_1$  = Kadar belerang dalam kalium polisulfid (g/liter)  
 $S_2$  = Kadar belerang dalam kalium tiosulfid (g/liter)  
 $S_0$  = Massa belerang dalam 1 liter larutan (g/liter)  
 $K$  = Kemurnian belerang

#### 4. Hasil dan pembahasan

Untuk mengetahui model dan kinetika reaksi belerang dalam larutan kalium karbonat, maka dilakukan percobaan (reaksi) terhadap variabel – variabel yang dapat mempengaruhi proses. Variabel-variabel itu meliputi suhu reaksi, waktu reaksi, dan konsentrasi larutan kalium karbonat. Hasil percobaan pada kondisi proses tertentu dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tabel itu, secara umum dapat disimpulkan bahwa peningkatan waktu reaksi akan menyebabkan kenaikan konversi belerang menjadi kalium polisulfid dan kalium tiosulfat. Hal ini disebabkan karena waktu kontak antara zat padat dan zat cair yang semakin lama pula. Semakin banyak zat pereaksi yang bereaksi dan didukung oleh proses perpindahan massa cairan ke permukaan butir belerang. Demikian pula nilai konversi belerang akan meningkat dengan pemakaian suhu proses yang semakin tinggi. Suhu yang semakin tinggi akan menambah kereaktifan reaktan. Zat pereaksi akan mempunyai gerak molekul yang semakin cepat. Dengan demikian, tumbukan antar reaktan juga semakin hebat (sering). Adanya tumbukan ini akan mengakibatkan konversi belerang yang menjadi kalium tiosulfat dan kalium polisulfid juga meningkat, karena belerang dan kalium karbonat semakin banyak yang bereaksi

Kenaikan konversi akibat pemakaian konsentrasi larutan kalium karbonat juga dapat terlihat dari hasil percobaan. Adanya konsentrasi larutan zat pereaksi akan menambah jumlah (molekul) zat yang bereaksi. Pada reaksi padat cair, adanya fenomena bahwa zat cair akan menjadi reaktan yang aktif akan semakin banyak peranannya dalam reaksi ini, terutama karena konsentrasinya yang semakin tinggi. Jumlah reaktan cair yang berpindah/berdifusi pada permukaan butir belerang semakin banyak, sehingga semakin banyak pula yang bereaksi. Apabila diperhatikan dengan seksama, pada pengaruh konsentrasi larutan kalium karbonat, ternyata menyebabkan konversi total meningkat lebih banyak jika dibandingkan dengan variabel yang lain. Pada suhu dan waktu reaksi sama dengan menggunakan konsentrasi kalium karbonat yang lebih tinggi, dapat meningkatkan konversi sampai 2 (dua) kali. (Pada konsentrasi 2,11 N, suhu 80 °C, t reaksi = 60 menit, konversi yang diperoleh nilainya 2 (dua) kali dari konversi pada konsentrasi 1,15 N). Secara umum, dapat dikatakan bahwa peningkatan konversi reaktan cair memberi pengaruh yang besar terhadap peningkatan reaksi, meskipun untuk memastikan tetap harus dipelajari pengaruh gabungan variabel yang dapat dihitung dengan metode matrik (determinan).

Untuk memperoleh nilai atau konstanta, baik dalam reaksi maupun perpindahan massa, maka perhitungan dilakukan berdasarkan regim yang mengontrol, tentu saja dengan tidak mengabaikan pengaruh suhu reaksi dan konsentrasi kalium karbonat.

**Tabel I. Hasil Penelitian pada berbagai Variabel Proses**

Konsentrasi (N)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	S dalam $K_2S_2$ (g/L)	S dalam $K_2S_2O_3$ (g/L)	$X_s$ (%)
1.15	80	40	4.024	3.972	4.02
		60	4.616	4.712	4.69
		80	6.96	6.81	6.923
		100	9.155	9.53	9.394
		120	9.92	9.87	9.949
	90	40	5.946	6.312	6.163
		60	6.536	6.62	6.614
		80	8.023	7.96	8.035
		100	9.86	9.78	9.874

		120	10.12	10.35	10.29
	100	40	6.134	6.029	6.115
		60	7.8	7.82	7.853
		80	8.855	8.73	8.841
		100	9.765	9.84	9.856
		120	12.68	12.51	12.66
2.11	80	40	9.756	9.31	9.585
		60	10.11	9.56	9.889
		80	11.563	11.359	11.52
		100	12.013	11.69	11.92
		120	13.775	13.516	13.72
	90	40	13.172	13.014	13.17
		60	14.08	14.22	14.23
		80	14.893	14.72	14.89
		100	15.392	15.23	15.4
		120	15.855	15.716	15.87
	100	40	16.001	15.716	15.95
		60	16.567	17.31	17.03
		80	17.955	18.51	18.33
		100	18.377	18.35	18.46
		120	22.69	23.17	23.06

#### a. Reaksi dikendalikan oleh perpindahan massa

Pada reaksi heterogen padat-cair, dikenal dengan  $\tau$ , yaitu waktu yang diperlukan untuk mencapai reaksi sempurna. Dalam hal ini, reaksi dikatakan sempurna jika semua belerang (padat) habis bereaksi. Pada persamaan (15) nilai  $R_B = 0$  pada saat telah dicapai reaksi sempurna. Nilai  $\tau$  dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana besarnya pengaruh perpindahan massa maupun reaksi kimia. Waktu untuk mencapai reaksi sempurna yang semakin lama menunjukkan pengaruh yang lebih besar di dalam proses.

Dengan melukis grafik antara  $t$  dan  $1-(1-X_B)^{2/3}$  dapat diperoleh suatu persamaan garis dan slope, garis itulah merupakan nilai untuk  $\tau$  (waktu reaksi sempurna). Setelah diperoleh nilai  $\tau$ , maka dilanjutkan dengan menghitung besarnya diffusivitas (koefisien yang menyatakan besarnya perpindahan massa) dengan menggunakan persamaan (15). Hasil perhitungan untuk regim perpindahan massa dapat dilihat pada tabel 2. Dari tabel 2. dapat dilihat bahwa  $\tau$  pada suhu 100 °C lebih sedikit dari pada  $\tau$  yang dibutuhkan pada suhu 80 °C yang mana dapat diartikan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk bereaksi sempurna semakin cepat.

Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin tinggi suhu proses maka semakin cepat pergerakan molekulnya sehingga kereaktifan zat tersebut semakin besar. Dengan demikian waktu yang dibutuhkan untuk habis bereaksi semakin sedikit

**Tabel 2. Nilai  $\tau$  dan D untuk Regim Perpindahan Massa**

Konsentrasi(N)	Suhu(°C)	Waktu(min)	$X_B(\%)$	$\tau(\text{min})$	$C_{AL}(N)$	D (rata-rata)
1.15	80	40	4.02	1692.4	0.8524	$4.91604 \times 10^{-10}$
		60	4.69		0.80487	
		80	6.92		0.7722	
		100	9.39		0.74844	
		120	9.95		0.648945	
	90	40	6.16	2420.6	0.76335	$4.43751 \times 10^{-10}$
		60	6.61		0.75141	
		80	8.04		0.65637	

2.11	100	100	9.87	1839.9	0.48411	$1.36372 \times 10^{-9}$
		120	10.3		0.43956	
		40	6.11		0.31524	
		60	7.85		0.289575	
		80	8.84		0.245025	
	100	9.86	0.2376			
	120	12.7	0.20196			
	80	40	9.59	2642.8	1.54737	$2.02352 \times 10^{-10}$
		60	9.89		1.3662	
		80	11.5		1.18206	
100		11.9	1.00089			
120		13.7	0.9891			
90	40	13.2	4192.3	1.5376	$1.19858 \times 10^{-10}$	
	60	14.2		1.50574		
	80	14.9		1.39742		
	100	15.4		1.09882		
	120	15.9		0.96298		
100	40	15.9	1479.5	0.62834	$8.55935 \times 10^{-10}$	
	60	17		0.60019		
	80	18.3		0.48032		
	100	18.5		0.45925		
	120	23.1		0.39842		

Konsentrasi larutan kalium karbonat juga mempengaruhi nilai  $\tau$  seperti pada tabel 2. Seharusnya, pada pemakaian konsentrasi  $K_2CO_3$  yang lebih tinggi dengan suhu reaksi yang sama akan mempercepat pencapaian reaksi sempurna. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi yang tinggi jumlah molekul yang bereaksi semakin banyak sehingga perpindahan massa di permukaan belerang semakin reaktif. Gejala ini tampak pada pemakaian suhu reaksi  $100^\circ C$ . Tetapi pada suhu  $80^\circ C$  dan  $90^\circ C$  menunjukkan penyimpangan. Hal ini dapat disebabkan karena kesalahan proses dan ketelitian analisis.

Nilai difusivitas semakin tinggi seiring dengan meningkatnya suhu. Sedangkan pada konsentrasi yang semakin tinggi maka nilai difusivitasnya semakin kecil. Hal ini berarti perpindahan massa pada suhu yang tinggi lebih mudah dilakukan karena pergerakan molekul yang semakin cepat dan laju perpindahan massa terhambat dengan banyaknya jumlah partikel yang semakin banyak sehingga koefisien difusivitasnya semakin kecil seiring dengan meningkatnya konsentrasi.

#### b. Reaksi dikendalikan oleh reaksi kimia

Pada reaksi yang dikendalikan oleh reaksi kimia, nilai  $\tau$  diperoleh dari melukiskan grafik hubungan antara waktu (t) dengan  $1-(1-X_B)^{1/3}$ . Sehingga diperoleh suatu persamaan garis dimana nilai  $\tau$  merupakan slope dari persamaan garis tersebut.

Sedangkan nilai konstanta kecepatan reaksi kimia ( $k_s$ ) dapat dihitung setelah nilai  $\tau$  didapatkan dengan menggunakan persamaan (21). Hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3. Nilai  $\tau$  dan  $k_s$  untuk Regim Reaksi Kimia.**

Konsentrasi(N)	Suhu( $^\circ C$ )	Waktu(min)	$X_B(\%)$	$\tau(\text{min})$	$C_{AL}(N)$	$k_s$ (rata-rata)
1.15	80	40	4.02	3303.3	0.8524	$2.79852 \times 10^{-6}$
		60	4.69		0.80487	
		80	6.92		0.7722	
		100	9.39		0.74844	
		120	9.95		0.648945	
	90	40	6.16	4703.6	0.76335	$2.5374 \times 10^{-6}$

		60	6.61		0.75141		
		80	8.04		0.65637		
		100	9.87		0.48411		
		120	10.3		0.43956		
	100		40	6.11	3557	0.31524	$7.83776 \times 10^{-6}$
			60	7.85		0.289575	
			80	8.84		0.245025	
			100	9.86		0.2376	
			120	12.7		0.20196	
	2.11	80	40	9.59	5071.3	1.54737	$1.17168 \times 10^{-6}$
60			9.89	1.3662			
80			11.5	1.18206			
100			11.9	1.00089			
120			13.7	0.9891			
90		40	13.2	7960.1	1.5376	$7.01385 \times 10^{-7}$	
		60	14.2		1.50574		
		80	14.9		1.39742		
		100	15.4		1.09882		
		120	15.9		0.96298		
100		40	15.9	2744.7	0.62834	$5.12647 \times 10^{-6}$	
		60	17		0.60019		
		80	18.3		0.48032		
		100	18.5		0.45925		
		120	23.1		0.39842		

Nilai konstanta kecepatan reaksi seharusnya meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Begitu pula pada konsentrasi yang semakin tinggi maka nilai konstanta kecepatan reaksi seharusnya juga semakin besar. Hal ini dikarenakan reaksi kimia mudah dilakukan pada konsentrasi yang tinggi karena lebih banyak molekul-molekul yang bereaksi pada permukaan padatan dan molekul-molekul tersebut lebih reaktif pada suhu yang tinggi. Gejala penyimpangan nampak pada pemakaian suhu 80 °C dan 90 °C. Hal ini dapat disebabkan karena kesalahan proses dan ketelitian analitis.

Untuk menentukan langkah mana yang paling berpengaruh maka dapat dilihat dari waktu yang diperlukan untuk bereaksi sempurna. Langkah proses yang paling lama akan menentukan langkah mana yang paling berpengaruh.

Dari tabel 2. dan tabel 3. dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk bereaksi sempurna pada langkah reaksi kimia lebih lama dibanding langkah perpindahan massa, maka reaksi belerang dalam larutan kalium karbonat dikontrol oleh reaksi kimia.

Waktu untuk proses perpindahan massa lebih cepat dari pada waktu untuk reaksi kimia menunjukkan bahwa fase cair yang berpindah ke fase padat (permukaan) tidak dapat segera bereaksi. Hal ini dimungkinkan karena reaksi antara belerang dan kalium karbonat termasuk dalam reaksi yang lambat (reaktan sulit bereaksi). Untuk meningkatkan konversi dapat dilakukan dengan jalan meningkatkan energi molekul reaktan, misalnya dengan pemakaian suhu yang lebih tinggi lagi dan dengan pemakaian katalis.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang kami lakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Model reaksi antara belerang dengan larutan kalium karbonat dapat didekati dengan model reaksi heterogen.

2. Reaksi antara belerang dengan larutan kalium karbonat dikontrol oleh langkah reaksi kimia. Hal ini dapat dibuktikan dari waktu yang dibutuhkan belerang untuk bereaksi sempurna ( $\tau$ ) pada langkah reaksi kimia lebih lama jika dibanding  $\tau$  pada langkah perpindahan massa.
3. Konstanta kecepatan reaksi terbesar diperoleh pada suhu 100 °C dengan konsentrasi kalium karbonat 1,15 N yaitu sebesar  $7,83776 \cdot 10^{-6}$  dm/menit.
4. Nilai difusivitas terbesar diperoleh pada suhu 100 °C dengan konsentrasi kalium karbonat 1,15 N yaitu sebesar  $1,36372 \cdot 10^{-9}$  dm<sup>2</sup>/menit.

#### **Daftar Pustaka**

- Astuti, N, 2002, "Pembuatan Kalium Sulfat dari Ekstrak Abu Kulit Buah Kapuk dan Belerang", Laporan Penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Austin, G.T, 1985, "Shreve's Chemical Process Industries", 5th ed., pp. 288-298, Mc.Graw Hill Company, Inc., New York.
- Hamdani, M, dan Shofi, M, 2004, "Analisis Hasil Reaksi antara Belerang dan Kalium Karbonat", Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Laporan Penelitian, Surabaya.
- Kobe, K.A, 1957, "Inorganic Process Industries", 6th ed., Chemical Engineering University of Texas. Mac Millan Company, New York.
- Levenspiel, O, 1972, "Chemical Reaction Engineering", 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Othmer, K, 1978, "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 18, 3rd ed., pp. 912-949, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Scott, W.W, 1939, "Standard Methods of Chemical Analysis", Vol. 2, 5th ed., pp. 903-941, D. Van Nostrand Company, New York.
- Vogel, 1979, "Textbook of Macro and Semimicro Quantitative Inorganic Analysis", pp. 370-383, Longman Group Limited, London.
- Warners, A.v, Stamhuis, E.J, dan Beenackers, A.A.C.M, 1994, "Kinetics of the Hydroxyethylation of Starch in Alkaline Salt-Containing Aqueous Slurries", Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 33, pp. 981-992, Department of Chemical Engineering, The University of Groningen, Netherland.



Filename: makalah\_riau\_yuyun  
Directory: F:  
Template: C:\Documents and Settings\bundo\Application  
Data\Microsoft\Templates\Normal.dot  
Title: METODE DAN KINETIKA BELERANG  
Subject:  
Author: onoyhac iwd ydur  
Keywords:  
Comments:  
Creation Date: 16/11/2006 23:43:00  
Change Number: 27  
Last Saved On: 02/12/2006 15:00:00  
Last Saved By: bundo  
Total Editing Time: 195 Minutes  
Last Printed On: 02/12/2006 15:00:00  
As of Last Complete Printing  
Number of Pages: 11  
Number of Words: 4.422 (approx.)  
Number of Characters: 25.208 (approx.)

