



## Pemodelan Dinamika Awal Adsorpsi $\text{Na}_2\text{S}$ dalam Kolom Bahan Isian Biji Salak (Salacca Zalacca)

Irma Atika Sari<sup>1,2\*</sup>, Muhammad Mufti Azis<sup>2\*</sup>, Siti Syamsiah<sup>2</sup>, Sutijan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan Kampus III UAD, Jalan Prof. Dr. Soepomo, Janturan, Umbulharjo, Yogyakarta 55164

<sup>2</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281, Yogyakarta, Indonesia

\*Alamat korespondensi: [irma.atika@che.uad.ac.id](mailto:irma.atika@che.uad.ac.id); [muhammad.azis@ugm.ac.id](mailto:muhammad.azis@ugm.ac.id)

### ABSTRACT

Biofiltration is a promising method for gas purification due to its efficiency and low operating cost. One way to utilize biofiltration is in biogas purification where  $\text{H}_2\text{S}$  is removed from the biogas product. The presence of  $\text{H}_2\text{S}$  may cause severe corrosion in biogas processing facilities. By the use of biofilter,  $\text{H}_2\text{S}$  is dissolved and adsorbed on packing material. This study investigated the adsorption process that occurred during the beginning of biofilter operation.  $\text{Na}_2\text{S}$  has been used as a model compound for  $\text{H}_2\text{S}$  with packing material from snake fruit seeds.

In this study, we have investigated the influence of liquid flowrate and inlet concentration of  $\text{Na}_2\text{S}$  solutions.  $\text{Na}_2\text{S}$  solution was fed from the top part of the column and trickled down through the snake fruit seed bed. The dissolved sulfide left the column from the bottom part which was then collected in a sample bottle and analyzed periodically with UV-VIS spectrophotometer. A one dimensional mathematical model of the adsorption column with respect to z direction was proposed to describe the adsorption behavior. In addition, Freundlich isotherm was used to describe the solid-liquid adsorption equilibrium.

The experimental results showed that low flowrates i.e. 1.59 and 2.97 mL/s gave larger adsorption capacities than higher flowrate i.e. 3.96 and 5.58 mL/s. In addition, the influence of inlet concentrations to the breakthrough characteristics were found to be negligible. The fitting results estimated the values of  $D_L=1.3174 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\alpha=1.002 \cdot 10^{-4}$  and  $n=12.661$ . As a result, it could be concluded that the axial diffusion had small influence on the adsorption of  $\text{Na}_2\text{S}$  solution. In addition, the small value of  $\alpha$  as well as large value of  $n$  indicated that the adsorption capacity of snake fruit seeds was relatively small.

**Keywords:** snake fruit seed, biofiltration, adsorption, adsorption equilibrium,  $\text{Na}_2\text{S}$ , sulfide

### ABSTRAK

Biofiltrasi adalah teknologi yang menjanjikan dalam pemurnian gas karena efisiensi yang tinggi serta biaya operasi yang rendah. Salah satu pemanfaatan biofiltrasi yang cukup menjanjikan adalah pemurnian biogas dimana gas  $\text{H}_2\text{S}$  dipisahkan dari produk biogas akhir. Keberadaan gas  $\text{H}_2\text{S}$  pada biogas dapat menyebabkan korosi pada peralatan pemrosesan biogas. Dalam biofilter,  $\text{H}_2\text{S}$  akan terlarut dan kemudian akan teradsorpsi pada bahan isian. Penelitian ini mempelajari proses adsorpsi

yang terjadi di awal proses biofiltrasi terhadap sulfida terlarut. Disini, larutan  $\text{Na}_2\text{S}$  telah digunakan sebagai komponen model  $\text{H}_2\text{S}$  untuk dijerap dengan bahan isian biji salak.

Variabel proses yang dipelajari adalah variasi laju alir cairan dan variasi konsentrasi input larutan  $\text{Na}_2\text{S}$ . Larutan  $\text{Na}_2\text{S}$  dilewatkan pada kolom biofiltrasi dari atas melewati bahan isian biji salak, kemudian sulfida terlarut yang keluar pada kolom bawah ditampung dalam botol sampel dan dianalisis pada berbagai waktu dengan menggunakan UV-VIS spektrofotometer. Pemodelan matematika proses adsorpsi telah disusun dengan model adsorpsi 1 dimensi ke arah z. Persamaan kesetimbangan yang digunakan menggunakan persamaan kesetimbangan Freundlich.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan debit aliran yang kecil seperti 1,59 dan 2,97 mL/det didapatkan penjerapan yang lebih besar jika dibandingkan dengan debit aliran besar seperti 3,96 dan 5,58 mL/det. Sementara itu, pengaruh konsentrasi umpan terhadap karakteristik kurva breakthrough relatif kecil. Hasil fitting memberikan nilai  $D_L=1,3174 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\alpha=1,002 \cdot 10^{-4}$  dan  $n=12,661$ . Dengan demikian, secara umum dapat disimpulkan bahwa difusi longitudinal pada kolom adsorpsi berperan kecil terhadap proses adsorpsi sulfida. Sedangkan nilai  $\alpha$  yang kecil serta  $n$  yang besar pada persamaan Freundlich menunjukkan kapasitas penjerapan biji salak yang relatif kecil.

**Kata kunci:** biji salak, biofiltrasi, adsorpsi, kesetimbangan adsorpsi,  $\text{Na}_2\text{S}$ , sulfide

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi Indonesia yang terus meningkat dan keterbatasan persediaan energi yang tak terbarukan menyebabkan pemanfaatan energi yang tak terbarukan harus diimbangi dengan pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT). Salah satu jenis EBT yang potensial untuk dimanfaatkan adalah biogas. Guna meningkatkan kualitas biogas, proses pemurnian umumnya diperlukan khususnya untuk menurunkan kadar  $\text{H}_2\text{S}$  dalam biogas. Proses pemurnian biogas yang paling lazim adalah dengan menggunakan metode *Biofiltration* (Schieder dkk, 2003, Rattanapan dkk, 2009, Lestari dkk, 2016). Beberapa metode lain yang juga dapat digunakan untuk menurunkan  $\text{H}_2\text{S}$  dalam biogas antara lain *water scrubbing*, *pressure swing adsorption*, *cryogenic separation*, (Pamungkasjati dkk., 2012). Keberadaan hidrogen sulfida dalam produk biogas berasal dari degradasi anaerobik protein dan senyawa organik lainnya yang mengandung senyawa belerang. Pada umumnya, biogas yang dihasilkan dari kotoran ternak yang kaya akan protein mengandung kadar hidrogen sulfida yang lebih tinggi (Schieder dkk, 2003). Konsentrasi  $\text{H}_2\text{S}$  pada biogas berkisar antara 50 hingga 10.000 ppm dan dapat menyebabkan korosi terhadap mesin generator dan instalasi pipa penyalur gas hasil keluaran biogas (Rattanapan dkk, 2009).

Biofiltrasi adalah teknologi yang digunakan untuk memurnikan gas dengan material padat sebagai bahan pengisi dimana mikroba menempel secara alami di dalamnya dan membentuk *biofilm* atau lapisan tipis (Chou dan Cheng, 1997). Salah satu bahan isian yang dapat digunakan adalah biji-bijian. Umumnya, biji-bijian memiliki struktur serat yang baik sehingga membuatnya lebih mudah ditembus air ataupun gas (Hirai dkk, 2001).

Buah Salak adalah komoditas yang banyak ditemukan di Yogyakarta dan untuk meningkatkan nilai ekonomis dari tumbuhan ini salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah dengan pemanfaatan biji salak sebagai bahan isian yang diharapkan mampu untuk mengurangi kadar sulfida dalam biogas. Penggunaan biji salak selain berfungsi sebagai media imobilisasi untuk mikroba yang mengkonsumsi sulfida, ada kemungkinan juga berfungsi sebagai adsorben yang berkontribusi mengurangi kadar sulfida. Sebagai ilustrasi, Lestari (Lestari dkk, 2016) melaporkan bahwa penggunaan biji salak sebagai bahan biofiltrasi mampu menurunkan kandungan  $\text{H}_2\text{S}$  dalam biogas sebesar 97,15 %. Prosentase penurunan kadar sulfida total ini belum memberikan informasi apakah hanya disebabkan oleh mikroba pengoksidasi sulfur atau ada faktor adsorpsi oleh biji salak.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sebuah model matematika yang dapat

menggambarkan dinamika awal penjerapan sulfida terlarut dalam kolom bahan isian biji salak. Pada kondisi awal, populasi mikroorganisme belum stabil sehingga penurunan kadar sulfida kemungkinan didominasi oleh penjerapan oleh biji salak. Dalam penelitian ini, penjerapan sulfida terlarut diwakili oleh larutan Natrium Sulfida ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) sebagai model molekul untuk penjerapan  $\text{H}_2\text{S}$ . Disini diasumsikan bahwa pengikatan ion sulfida terlarut dapat terjadi pada  $\text{Na}_2\text{S}$  maupun  $\text{H}_2\text{S}$ .

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian berupa larutan natrium sulfida (zat yang akan dijerap/ adsorbat) [ $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ ] diproduksi oleh Merck. Bahan isian yang digunakan berasal limbah pertanian berupa biji buah salak pondoh, yang diperoleh dari toko Kripik Salak Kristal, Jl. Salak KM 5,5 Kembang Arum, Donokerto, Turi, Sleman, Yogyakarta. Bahan yang digunakan untuk analisis dalam penelitian ini antara lain akuades, N,N dimetil p-fenilen diamin oksalat [ $[(\text{CH}_3)_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{NH}_2]_2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ] dengan kemurnian p.a diproduksi oleh Merck, asam sulfat [ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ] dengan kemurnian p.a diproduksi oleh Merck, ferri klorida [ $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ], diammonium hidrogen fosfat [ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ], asam klorida [ $\text{HCl}$ ] 6N dengan kemurnian p.a diproduksi oleh Merck, Zn asetat [ $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ] dengan kemurnian p.a diproduksi oleh Merck dan natrium hidroksida [ $\text{NaOH}$ ] dengan kemurnian p.a diproduksi oleh Merck.

### 2.2. Bahan isian

Bahan isian/ *packing* yang digunakan adalah biji buah salak, dalam penelitian ini digunakan buah salak pondoh. Biji salak dibersihkan dari bahan pengotor lainnya, kemudian dikeringkan dengan cara dioven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  dalam waktu 12 jam. Biji salak dipertahankan utuh dengan tujuan dapat langsung diaplikasikan dalam kolom biofiltrasi dengan menggunakan batuan dari aktivitas mikroorganisme. Selain itu, percobaan lain telah dilakukan untuk mengukur

nilai porositas tumpukan biji salak ( $\epsilon$ ) dengan menghitung rasio volume cairan untuk memenuhi kolom isian dan volume tumpukan bahan isian. Nilai  $\epsilon$  tumpukan bed didapat sebesar 0,13.

### 2.3. Variabel proses yang dipelajari

Pada awal eksperimen, bahan isian berupa biji salak dianggap tidak mengandung adsorben (sulfida). Untuk itu, pada setiap akhir percobaan adsorpsi, bahan isian yang mengandung sulfida dicuci dengan aquadest untuk mengeluarkan sulfida yang telah terjerap dalam biji salak. Proses pengeluaran sulfida ini dikenal sebagai proses desorpsi dan konsentrasi larutan selama proses desorpsi juga diukur. Konsentrasi larutan sulfida diukur setiap rentang waktu untuk mendapatkan kurva *breakthrough* sebagai data percobaan. Lama pengambilan data konsentrasi *output* sulfida yang terukur di cairan dilakukan selama 180 menit.

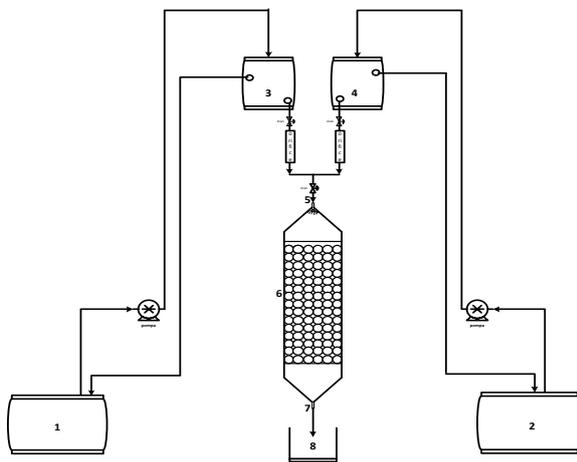
Pada eksperimen pertama, ingin dipelajari pengaruh variasi laju alir cairan (debit) terhadap perpindahan massa sulfida dari fasa cairan ke fasa padatan. *Input* laju alir cairan (debit) diubah-ubah, namun konsentrasi *input* sulfida ke dalam kolom biofiltrasi dibuat tetap. Variasi debit yang digunakan 1,59; 2,97; 3,96; 5,58 mL/detik sedangkan nilai konsentrasi *input* sulfida yang digunakan adalah 50 ppm. Variabel laju aliran cairan (debit) dipilih dengan alasan untuk memvariasikan nilai Bilangan Reynold.

Selanjutnya pada eksperimen kedua, ingin dipelajari pengaruh konsentrasi *input* sulfida. Konsentrasi *input* sulfida diubah-ubah, namun *input* laju alir cairan (debit) ke dalam kolom biofiltrasi dibuat tetap sebesar 2,97 mL/detik. Variasi konsentrasi input sulfida yang digunakan 26,25; 31,17; 42,98; 51,47; 91,90 ppm. Variabel konsentrasi *input* sulfida dipilih dengan alasan untuk mengetahui seberapa besar daya tahan bakteri terhadap *input* sulfida dalam kolom biofiltrasi untuk penelitian selanjutnya dengan bahan isian biji salak.

### 2.4. Alat

Alat yang digunakan untuk penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Alat berbentuk kolom terbuat dari bahan akrilik, panjang kolom

$\pm 1,04$  m, diameter dalam kolom  $\pm 10$  cm, bak penampung cairan yang mengandung sulfida ataupun yang tidak mengandung sulfida dengan masing-masing kapasitas 140 L, bak penampung cairan *overflow* dengan masing-masing kapasitas 20 L, bahan isian kolom yang digunakan adalah limbah biji salak utuh  $\pm 2,5$  kg dalam kondisi kering. Kolom dilengkapi dengan dua buah lubang, sebagai *input* dan *output*. Saluran *input* kolom dihubungkan dengan larutan yang mengandung sulfida terlarut dari bak penampung dengan laju alir yang dibuat *overflow*. Sulfida terlarut kemudian melewati bahan isian biji salak pada kolom. Sulfida terlarut yang keluar pada *output* di tampung dalam botol sampel dan di analisis konsentrasi sulfidanya pada berbagai waktu.



Keterangan Gambar:

1. Bak penampung Cairan yang mengandung Sulfida
2. Bak penampung Cairan yang tidak mengandung Sulfida
3. Bak penampung Cairan Overflow yang mengandung Sulfida
4. Bak penampung Cairan Overflow yang tidak mengandung Sulfida
5. Input
6. Biji salak
7. Output
8. Bak penampung Sampel

**Gambar 1.** Kolom biofiltrasi skala laboratorium dengan bahan isian biji salak

## 2.5. Analisis sampel

Prosedur analisis sampel *output* sulfida dari kolom dilakukan dengan cara uji sulfida menggunakan *methylene blue* secara spektrofotometri yang didasarkan pada pembentukan senyawa tiosin yang berwarna biru mengacu pada SNI 19-7117.7-200 dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada

panjang gelombang 664 nm. Nilai absorbansi kemudian dibandingkan dengan kurva standar.

## 2.6. Karakterisasi bahan isian

Prosedur analisis perubahan karakter biji salak digunakan analisis spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

## 3. Metode Pemodelan

Pemodelan matematis disusun untuk menjelaskan fenomena penjerapan pada biji salak dengan mencari nilai konstanta transfer massa terkait. Pada pemodelan ini, beberapa asumsi, yang telah diambil adalah sebagai berikut: ukuran butir adsorben seragam dan tetap, butiran adsorben terdistribusi merata di dalam kolom, perpindahan massa berlangsung dari cairan ke butiran adsorben, telah terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat di cairan dan padatan, tidak ada gradien konsentrasi di butiran padatan, proses berlangsung secara isothermal, aliran cairan berlangsung *plug-flow* (aliran sumbat), kecepatan aliran tetap dan difusi ke arah radial kolom diabaikan.

Berdasarkan penyusunan neraca massa sulfida pada elemen volum dalam kolom penjerap setebal  $\Delta z$ , maka diperoleh persamaan sebagai berikut (Richardson dkk, 2002):

$$D_L \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} - u \frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{1}{m} \frac{\partial C_s}{\partial t} = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (1)$$

Salah satu solusi analitis atas persamaan (1) telah disampaikan oleh Lapidus dan Amundson (Richardson dkk, 2002) sebagai berikut:

$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left[ \left( \frac{u \cdot z}{4 \cdot D_L} \right)^{0,5} \frac{(t - t_{\min})}{(t \cdot t_{\min})^{0,5}} \right] \right\} \quad (2)$$

$$t_{\min} = \left( 1 + \frac{1}{m} \frac{C_{s\infty}}{C_o} \right) \frac{z}{u} \quad (3)$$

Untuk menjelaskan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi adsorben di larutan ( $C_A$ ) dan konsentrasi adsorben yang terjerap di padatan ( $C_s$ ) digunakan persamaan isotherm Freundlich yang lazim digunakan untuk sistem padat-cair sebagai berikut:

$$C_s = \alpha \cdot (C_A)^{1/n} \quad (4)$$

Dengan demikian, nilai  $C_{s\infty}$  pada persamaan (3) yang didefinisikan sebagai konsentrasi adsorben di padatan pada waktu tak hingga dapat dihitung dengan menggunakan nilai  $C_A = C_{A,umpan\ masuk}$ . Dengan demikian, besaran nilai konstanta  $D_L$ ,  $\alpha$  dan  $n$  dapat dihitung melalui proses fitting dengan menggunakan fungsi `lsqnonlin` di MATLAB. Fungsi `lsqnonlin` adalah program optimasi yang menggunakan prinsip gradient search method dengan meminimalisir nilai SSE untuk seluruh percobaan adsorpsi dengan variasi kecepatan dan konsentrasi umpan. SSE yang digunakan didefinisikan sebagai:

$$SSE = \sum \{ [C_A]_{simulasi} - [C_A]_{data} \} \quad (5)$$

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Pengaruh variasi debit larutan $Na_2S$ terhadap proses adsorpsi

Proses perpindahan massa sulfida pada variasi debit cairan untuk proses adsorpsi dapat diamati dengan membuat hubungan antara konsentrasi output sulfida yang terukur di cairan sebagai fungsi waktu. Hubungan antara konsentrasi output sulfida di cairan terhadap waktu dengan variasi laju alir cairan (debit) ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 2.

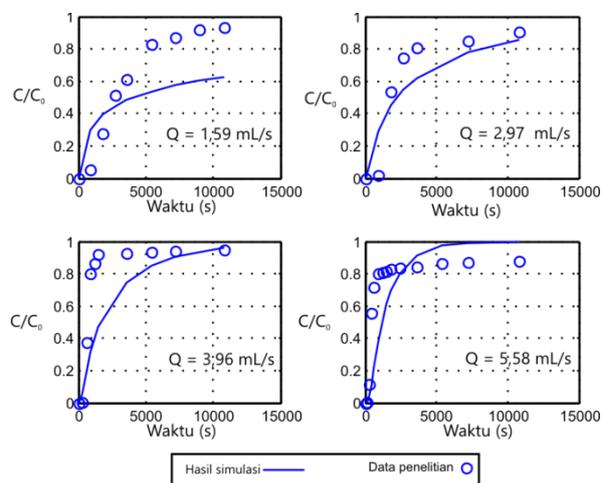
Pada Gambar 2, nilai konsentrasi relatif ( $C/C_0$ ) adalah perbandingan konsentrasi output sulfida setiap saat  $C_A$  dengan konsentrasi awal proses  $C_{A_0}$ . Pada awal percobaan, kolom biofiltrasi hanya berisi biji salak dan air saja yang kemudian secara perlahan dialirkan larutan  $Na_2S$  dengan debit tertentu. Pada waktu percobaan dimulai (detik ke-nol) konsentrasi sulfida di padatan masih bernilai 0 ppm dan belum terjadi perpindahan massa. Pada selang waktu antara 0-2500 detik, konsentrasi sulfida terus meningkat dan menunjukkan breakthrough pada keempat variasi debit cairan. Di atas 5000 detik, nilai  $C/C_0$  mengalami peningkatan relatif kecil dan akhirnya mencapai kondisi konstan. Hal ini menandakan bahwa biji salak sudah jenuh dengan sulfida, sehingga biji salak sudah tidak mampu lagi menyerap sulfida.

**Tabel 1.** Data percobaan hubungan antara  $C/C_0$  sebagai fungsi variasi debit aliran dengan konsentrasi umpan larutan  $Na_2S$   $C_0=50$  ppm

| Q=1,59 mL/det |                  | Q=2,97 mL/det |                  |
|---------------|------------------|---------------|------------------|
| t,s           | C/C <sub>0</sub> | t,s           | C/C <sub>0</sub> |
| 0             | 0                | 0             | 0                |
| 900           | 0,0508           | 900           | 0,0177           |
| 1800          | 0,2787           | 1800          | 0,5331           |
| 2700          | 0,5169           | 2700          | 0,7463           |
| 3600          | 0,6095           | 3600          | 0,8066           |
| 5400          | 0,8303           | 7200          | 0,8468           |
| 7200          | 0,8719           | 10800         | 0,9068           |
| 9000          | 0,9217           |               |                  |
| 10800         | 0,9331           |               |                  |

| Q=3,96 mL/det |                  | Q=5,58 mL/det |                  |
|---------------|------------------|---------------|------------------|
| t,s           | C/C <sub>0</sub> | t,s           | C/C <sub>0</sub> |
| 0             | 0                | 0             | 0                |
| 298,8         | 0,0044           | 118,8         | 0,0046           |
| 601,2         | 0,3745           | 298,8         | 0,1139           |
| 900           | 0,8018           | 420,12        | 0,5525           |
| 1198,8        | 0,8611           | 601,2         | 0,7192           |
| 1501,2        | 0,9224           | 900           | 0,8034           |
| 3600          | 0,9247           | 1198,8        | 0,8087           |
| 5400          | 0,9369           | 1501,2        | 0,8154           |
| 7200          | 0,9395           | 1800          | 0,8292           |
| 10800         | 0,9468           | 2401,2        | 0,8390           |
|               |                  | 3600          | 0,8459           |
|               |                  | 5400          | 0,8670           |
|               |                  | 7200          | 0,8677           |
|               |                  | 10800         | 0,8741           |



**Gambar 2.** Pengaruh debit umpan masuk terhadap adsorpsi larutan  $Na_2S$  sebagai fungsi waktu. Konsentrasi umpan masuk larutan  $Na_2S$  yang digunakan konstan sebesar 50 ppm.

Debit alir sebesar 1,59 mL/det merupakan debit yang paling pelan sehingga proses terjerapnya sulfida di permukaan padatan

berlangsung paling maksimal diantara debit alir yang lain. Sedangkan kurva *breakthrough* untuk debit aliran 3,96 mL/det dan 5,58 mL/det menunjukkan laju kenaikan konsentrasi sulfida yang sangat cepat. Hal ini dikarenakan proses pelepasan sulfida kurang terkontrol disertai dengan adanya laju aliran yang cukup cepat sehingga kontak antara sulfida dengan permukaan biji salak tidak berlangsung secara optimal.

**Tabel 2.** Data percobaan hubungan antara  $C/C_0$  sebagai fungsi variasi konsentrasi umpan masuk pada debit konstan  $Q=2,97$  mL/det

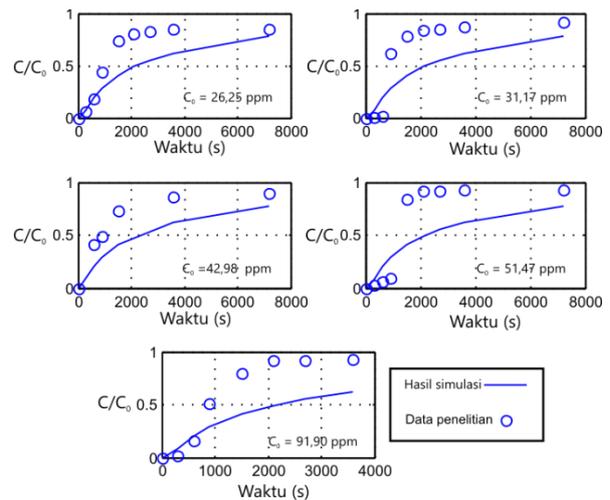
| $C_0=26,25$ ppm |                  | $C_0=31,17$ ppm |                  | $C_0=42,98$ ppm |                  |
|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| t,s             | C/C <sub>0</sub> | t,s             | C/C <sub>0</sub> | t,s             | C/C <sub>0</sub> |
| 0               | 0                | 0               | 0                | 0               | 0                |
| 298,8           | 0,0584           | 298,8           | 0,0002           | 601,2           | 0,4168           |
| 601,2           | 0,1786           | 601,2           | 0,0176           | 900             | 0,4909           |
| 900             | 0,4365           | 900             | 0,6172           | 1501,2          | 0,7259           |
| 1501,2          | 0,7424           | 1501,2          | 0,7833           | 3600            | 0,8676           |
| 2098,8          | 0,8074           | 2098,8          | 0,8341           | 7200            | 0,8997           |
| 2700            | 0,8266           | 2700            | 0,8511           |                 |                  |
| 3600            | 0,8495           | 3600            | 0,8753           |                 |                  |
| 7200            | 0,8548           | 7200            | 0,9159           |                 |                  |

| $C_0=51,47$ ppm |                  | $C_0=91,90$ ppm |                  |
|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| t,s             | C/C <sub>0</sub> | t,s             | C/C <sub>0</sub> |
| 0               | 0                | 0               | 0                |
| 298,8           | 0,0237           | 298,8           | 0,0115           |
| 601,2           | 0,0577           | 601,2           | 0,1619           |
| 900             | 0,0971           | 900             | 0,5103           |
| 1501,2          | 0,8445           | 1501,2          | 0,7947           |
| 2098,8          | 0,9131           | 2098,8          | 0,9133           |
| 2700            | 0,9163           | 2700            | 0,9180           |
| 3600            | 0,9235           | 3600            | 0,9231           |
| 7200            | 0,9306           |                 |                  |

#### 4.2. Pengaruh variasi konsentrasi umpan masuk larutan $Na_2S$ terhadap proses adsorpsi

Hubungan antara konsentrasi output sulfida di cairan terhadap waktu dengan variasi konsentrasi input sulfida ke dalam kolom biofiltrasi dapat ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 3. Pada selang waktu 0-2000 detik, konsentrasi sulfida secara umum masih meningkat tapi belum mencapai nilai yang konstan. Setelah proses adsorpsi berlangsung lebih dari 2000 detik, nilai konsentrasi sulfida perlahan mulai konstan. Hal ini menandakan biji salak sudah jenuh dengan sulfida, sehingga biji salak tidak mampu lagi menyerap lebih banyak lagi sulfida.



**Gambar 3.** Pengaruh konsentrasi umpan masuk terhadap proses adsorpsi larutan  $Na_2S$  sebagai fungsi waktu. Debit larutan  $Na_2S$  yang digunakan konstan sebesar 2,97 mL/det.

Pada Gambar 3, laju kenaikan konsentrasi sulfida dari berbagai konsentrasi umpan secara umum memberikan hasil yang sama. Dengan demikian, variasi konsentrasi umpan yang digunakan disini tampak tidak begitu berpengaruh terhadap kurva *breakthrough* dalam proses adsorpsi.

#### 4.3. Hasil pemodelan adsorpsi

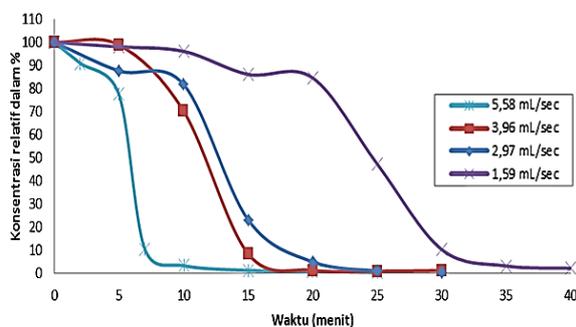
Nilai parameter yang diperoleh dari pemodelan adalah nilai  $D_L=1,3174 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s,  $\alpha=1,002 \cdot 10^{-4}$  dan  $n=12,661$ . Hasil ini menunjukkan bahwa secara umum difusi longitudinal pada kolom adsorpsi berperan kecil dalam mempengaruhi proses adsorpsi. Sedangkan nilai  $\alpha$  yang kecil serta  $n$  yang besar pada persamaan Freundlich menunjukkan kapasitas penyerapan biji salak yang relatif kecil. Nilai SSE yang diperoleh sebesar: 4,6732.

Hasil pemodelan adsorpsi dengan variasi debit aliran (Gambar 2) menunjukkan bahwa model adsorpsi menunjukkan hasil fitting yang relatif baik pada debit aliran sebesar 2,97 dan 3,96 mL/det. Pada debit aliran 1,59 mL/det, terlihat bahwa model yang diajukan memiliki prediksi yang lebih rendah dari data penelitian. Sedangkan untuk debit aliran 5,58 mL/det, tampak bahwa model yang diajukan memberikan nilai prediksi yang lebih tinggi dari hasil penelitian.

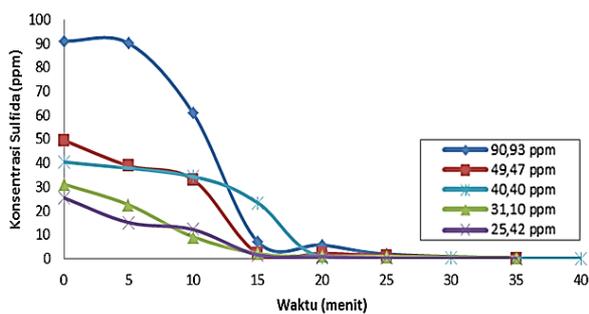
Hasil pemodelan adsorpsi dengan variasi konsentrasi umpan tersaji dalam Gambar 3. Secara umum, hasil pemodelan memberikan hasil yang lebih rendah daripada hasil percobaan. Selain itu, pengaruh konsentrasi mula-mula pada hasil pemodelan juga relatif kecil dimana nilai konsentrasi masuk hanya berpengaruh pada persamaan keseimbangan Freundlich yaitu Persamaan 4.

**4.4. Proses desorpsi sulfida yang terjepap menggunakan akuades sebagai pelarut**

Pada setiap akhir dari uji adsorpsi, dilakukan pengujian desorpsi pada bahan tumpukan biji salak dengan pencucian menggunakan akuades.



**Gambar 4.** Hubungan antara konsentrasi output sulfida terjepap dan waktu pada proses desorpsi dengan aquadest pada berbagai nilai debit umpan larutan Na<sub>2</sub>S.



**Gambar 5.** Hubungan antara konsentrasi output sulfida terjepap dan waktu pada proses desorpsi dengan akuades pada berbagai nilai konsentrasi umpan larutan Na<sub>2</sub>S.

Gambar 4 dan 5 menunjukkan kurva desorpsi dari masing-masing variasi debit dan konsentrasi umpan masuk. Kurva desorpsi pada Gambar 4 dan 5 mengkonfirmasi terjadinya peristiwa adsorpsi dimana besarnya kapasitas penjerapan sejalan hasil yang telah dibahas sebelumnya.

Selain itu, kurva desorpsi ini juga menunjukkan peristiwa hysteresis dimana terdapat perbedaan kurva adsorpsi dan desorpsi. Hal ini sesuai dengan berbagai studi literatur tentang hysteresis pada peristiwa adsorpsi dan desorpsi.

**4.5. Karakterisasi bahan isian: uji FTIR**

Karakterisasi biji salak diidentifikasi menggunakan instrumen FTIR sebelum dan sesudah proses adsorpsi, hasil analisa menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara puncak serapan biji salak sebelum dan sesudah adsorpsi. Dengan demikian, proses adsorpsi Na<sub>2</sub>S pada biji salak tidak mempengaruhi struktur kimia biji salak. berinteraksi dengan komponen sulfida, sehingga mempengaruhi pergeseran spektrum.

**5. Kesimpulan**

Studi mengenai pengaruh debit aliran dan konsentrasi umpan pada dinamika adsorpsi larutan Na<sub>2</sub>S dengan bahan isian biji salak telah dilaksanakan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan debit aliran yang kecil seperti 1,59 dan 2,97 mL/det didapatkan penjerapan yang lebih besar daripada menggunakan debit aliran besar 3,96 dan 5,58 mL/det seperti yang terlihat dari kurva *breakthrough* hasil percobaan. Sementara itu, pengaruh konsentrasi umpan terhadap karakteristik kurva *breakthrough* relatif kecil dimana tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap variasi konsentrasi umpan dari hasil percobaan.

Pemodelan matematika proses adsorpsi telah disusun dengan model adsorpsi 1 dimensi ke arah z. Persamaan kesetimbangan yang digunakan menggunakan persamaan kesetimbangan Freundlich. Model yang diusulkan mengandung 3 parameter yang ditaksir dari seluruh data percobaan yaitu D<sub>L</sub>, α dan n. Hasil fitting memberikan nilai D<sub>L</sub>=1,3174.10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s, α=1,002.10<sup>-4</sup> dan n=12,661. Dengan demikian, secara umum dapat disimpulkan bahwa difusi longitudinal pada kolom adsorpsi berperan kecil. Sedangkan nilai α yang kecil serta n yang besar pada persamaan Freundlich menunjukkan kapasitas penjerapan biji salak yang relatif kecil.

## 6. Daftar Notasi

- $C_A$  = kadar adsorbat setiap saat, mg/L atau ppm
- $C_{As}$  = kadar adsorbat pada permukaan padatan, mg/L atau ppm
- $C/C_0$  = konsentrasi relatif adsorbat terhadap konsentrasi umpan masuk
- $C_{s\infty}$  = konsentrasi adsorbat di padatan pada yang seimbang dengan konsentrasi umpan masuk, mg/L atau ppm
- $D_L$  = koefisien difusivitas aksial cairan di dalam bed,  $m^2/s$
- $m$  =  $\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$
- $n$  = tetapan keseimbangan persamaan keseimbangan Freundlich.
- $u$  = kecepatan linear aliran cairan, m/s
- $t$  = waktu adsorpsi, s
- $t_{min}$  = waktu minimal (pada kondisi aliran tertentu) untuk menjenuhkan bed pada tiap satuan luas penampang dan panjang, s.
- $z$  = tinggi/posisi tumpukan biji salak, m
- $\alpha$  = tetapan keseimbangan persamaan keseimbangan Freundlich.
- $\varepsilon$  = porositas tumpukan biji salak pada kolom

## 7. Daftar Pustaka

- Chou, M.S., and Cheng, W.H., 1997, Screening Biofiltering Material for VOC Treatment, *Journal of The Air and Waste Management Association*, 47, 647-681.
- Hirai, M., Kamamoto, M., Yani, M., Shoda, M., 2001, Comparison of Biological Removal Characteristic of  $H_2S$  and  $NH_3$  Using Four Kinds of Inorganic, Carries J, *Bioscin* 91 pp 240-248.
- Lestari, R.A.S., Sediawan, W.B., Syamsiah, S., Sarto, Teixeira, J.A., 2016, Hydrogen sulfide removal from biogas using a salak fruit seeds packed bed reactor with sulfur oxidizing as biofilm, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 2370-2377.
- Pamungkasjati, A.W., Fahrurrozi, M., Hidayat, M., 2012, Studi Tekno-Ekonomi Pemurnian Biogas Dari Limbah Domestik, *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol. 6, No. 2, pp.43-50.
- Richardson, J.F., Harker, J.H., and Backhurst, J.R., 2002, *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Vol.2: Particle Technology and Separation Processes*, 5<sup>th</sup> ed., Butterworth Heinemann.
- Rattanapan, C., Boonsawang, P., Kantachote, D., 2009, Removal of  $H_2S$  in down-flow GAC biofiltration using sulfide oxidizing bacteria from concentrated latex wastewater, *Bioresource Technology*, Vol. 100, Issue 1, pp. 125-130.
- Schieder, D., Quicker, P., Schneider, R., Winter, H., Prechtel, S., Faulstich, M., 2003, Microbiological removal of hydrogen sulfide from biogas by means of a separate biofilter system: experience with technical operation, *Water Science & Technology*, Vol.48(4), pp. 209-212.