

MODEL ADSORPSI LANGMUIR GAS DINITROGEN MONOKSIDA DALAM SISTEM BIOFILTER DENGAN MEDIUM PUPUK KOMPOS

Tania Surya Utami^{*)}, Josia Simanjuntak, Heri Hermansyah, dan Mohamad Nasikin

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok, 16424, Telp. (021)7863516, Fax. (021)7863515

^{*)}Penulis korespondensi: nana@che.ui.ac.id

Abstract

LANGMUIR ADSORPTION MODEL FOR DINITROGEN MONOXIDE IN BIOFILTER SYSTEM USING COMPOST FERTILIZER MEDIUM. Nitrous oxide (N_2O) is mostly emitted from various industrial processes and agricultural activities. This gas causes serious environmental problems and is considered as a dangerous pollutant. In the past, traditional control technologies, such as Selective Catalytic Reduction (SCR) and Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR), were applied to control N_2O emissions in some industries. However, these two processes required high temperatures and the use of catalysts. Economic and technical constraints in SCR and SNCR methods motivated researchers to develop new, cost-effective processes to remove N_2O . Biofiltration is an emerging technology that offers a number of advantages over traditional methods of air pollution control. The purpose of this research is to modelise the biofiltration experimental results into the Langmuir adsorption model. This research is conducted in laboratory scale biofilter column, with parameters studied are effect of biofilter length and N_2O gas flowrate. The result of the model is simulated into sensitivity analysis. The average Langmuir constant obtained in the model of the research is 16.006 liter/mol.

Keywords: adsorption; biofiltration; compost; Langmuir; N_2O

Abstrak

Dinitrogen Monoksida (N_2O) merupakan emisi dari proses industri dan kegiatan pertanian. Gas tersebut merupakan gas polutan berbahaya dan menyebabkan masalah lingkungan yang serius. Sebelumnya, teknologi kontrol tradisional seperti Selective Catalytic Reduction (SCR) dan Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR) digunakan untuk mengontrol emisi N_2O pada kegiatan-kegiatan industri. Akan tetapi, kedua proses ini membutuhkan suhu yang tinggi dan penggunaan katalis. Adanya masalah dari segi ekonomi dan teknis memotivasi peneliti untuk mengembangkan teknologi baru yang lebih murah dan efisien untuk menghilangkan N_2O dari gas buangan. Pengolahan N_2O secara biologis dalam proses biofiltrasi adalah salah satu alternatif ramah lingkungan yang dapat digunakan dalam pengelolaan emisi industri. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan hasil biofiltrasi gas N_2O dengan medium pupuk kompos dalam bentuk model adsorpsi Langmuir. Penelitian dilakukan dalam kolom biofilter skala laboratorium, dan parameter-parameter yang diteliti adalah pengaruh dari ketinggian biofilter dan laju alir gas N_2O . Hasil dari pemodelan kemudian disimulasikan dalam analisis sensitivitas. Nilai konstanta Langmuir rata-rata yang didapatkan dari pemodelan penelitian ini adalah 16,006 liter/mol.

Kata kunci: adsorpsi; biofiltrasi; pupuk kompos; Langmuir; N_2O

PENDAHULUAN

Nitrogen oksida (NO_x) merupakan emisi dari proses industri dan kegiatan transportasi (Grano dkk., 1995; Lee dkk., 2001). Sebagai contoh, 44% dari total emisi NO_x di Taiwan disebabkan oleh industri tenaga listrik sebagai sumber utama (EPA-Taiwan, 1996). Sangatlah sulit untuk mengumpulkan NO_x ketika terdispersi dalam udara sehingga NO_x hanya bisa

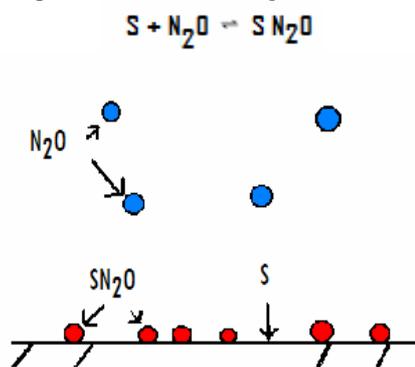
dihilangkan secara efektif sebelum emisi (Chagnot, 1998). Salah satu jenis gas nitrogen oksida adalah N_2O yang disebut juga dengan gas ketawa. Tidak seperti gas nitrogen oksida lainnya, N_2O adalah salah satu gas yang memberi kontribusi terbesar pada pemanasan global. Meskipun sifat pemanasan radiasinya lebih rendah dibandingkan CO_2 , namun dampaknya terhadap pemanasan global 310 kali lebih besar per

massa CO₂. Meskipun konsentrasinya relatif rendah, gas N₂O sangat sulit terurai di atmosfer. N₂O merupakan gas rumah kaca terbanyak keempat di atmosfer setelah CO₂, CH₄, dan uap air. Gas nitrogen oksida lain juga memberikan dampak terhadap pemanasan global secara tidak langsung, dengan berkontribusi terhadap produksi ozon troposferik pada pembentukan smog.

Sebelumnya, teknologi kontrol tradisional seperti *Selective Catalytic Reduction* (SCR) dan *Selective Non-Catalytic Reduction* (SNCR) digunakan untuk mengontrol emisi NO_x pada kegiatan-kegiatan industri. Akan tetapi, kedua proses ini membutuhkan suhu yang tinggi dan penggunaan katalis. Selain itu, proses ini membutuhkan biaya instalasi dan operasi yang tinggi, serta menghasilkan produk buangan dalam jumlah cukup besar sehingga mengharuskan pihak industri untuk membayar biaya pembersihan dan pembuangan (Jin dkk., 2005). Adanya masalah dari segi ekonomi dan teknis memotivasi peneliti untuk mengembangkan teknologi baru yang lebih murah dan efisien untuk menghilangkan NO_x dari gas buangan. Pengolahan NO_x bergantung pada organisme pendenitrifikasi yang banyak terdapat di alam. Organisme pendenitrifikasi memiliki kemampuan untuk mengurangi kadar NO_x pada kondisi jumlah oksigen tertentu. Pada proses denitrifikasi, karbon organik bertindak sebagai donor elektron seperti asam asetat, metanol, dan sampah domestik (Barnes dkk., 1995).

Dalam penelitian ini, pupuk kompos digunakan sebagai medium filter dalam mereduksi N₂O. Pupuk kompos sebelumnya telah diteliti sebagai medium filter yang baik dalam mereduksi konsentrasi NO₂ dengan efisiensi reduksi mencapai 95% setelah 40 hari beroperasi dengan kondisi ketinggian biofilter 120 cm dan pada laju alir gas 30 L/jam (Yang dkk., 2007). Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan hasil biofiltrasi gas N₂O dengan medium pupuk kompos dalam bentuk model adsorpsi Langmuir. Parameter-parameter yang akan diteliti adalah pengaruh dari ketinggian biofilter dan laju alir gas N₂O. Hasil dari pemodelan kemudian disimulasikan dalam analisis sensitivitas.

Proses adsorpsi antara gas N₂O pada medium biofilter dapat diilustrasikan dengan Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi adsorpsi gas N₂O pada medium biofilter

Dimana:

[SN₂O] = permukaan situs aktif kompos yang ditempati oleh molekul N₂O yang teradsorpsi, (x)

[S] = permukaan situs aktif kompos yang kosong, (1-x)

[N₂O] = tekanan atau konsentrasi gas ekuilibrium, P atau C

Saat adsorpsi:



dan saat desorpsi:



Sehingga laju adsorpsi adalah:

$$r_{ads} = k_1[S][N_2O] \quad (3)$$

dan laju desorpsi adalah:

$$r_{des} = k_{-1}[SN_2O] \quad (4)$$

Karena laju adsorpsi dan laju desorpsi diasumsikan sama, maka

$$r_{ads} = r_{des} \quad (5)$$

$$k_1[S][N_2O] = k_{-1}[SN_2O] \quad (6)$$

$$\frac{[S]}{[SN_2O]} = \frac{k_{-1}}{k_1[N_2O]} \quad (7)$$

Karena
$$K = \frac{k_1}{k_{-1}} \quad (8)$$

maka

$$\frac{k_{-1}}{k_1[S]} = \frac{1}{K[AN_2O]} \quad (9)$$

Jumlah situs adsorpsi

$$x_{max} = [SN_2O] + [S] \quad (10)$$

Jumlah massa yang teradsorpsi θ , dapat dicari dengan

$$\theta = \frac{x}{x_{max}} \quad (11)$$

$$\theta = \frac{[SN_2O]}{[SN_2O] + [S]} \quad (12)$$

$$\theta = \frac{1}{1 + \frac{[S]}{[SN_2O]}} \quad (13)$$

$$\theta = \frac{1}{1 + \frac{1}{K[N_2O]}} \quad (14)$$

$$\theta = \frac{K[N_2O]}{1 + KN_2O} \quad (15)$$

Maka

$$\theta = \frac{KC}{KC + 1} \quad (16)$$

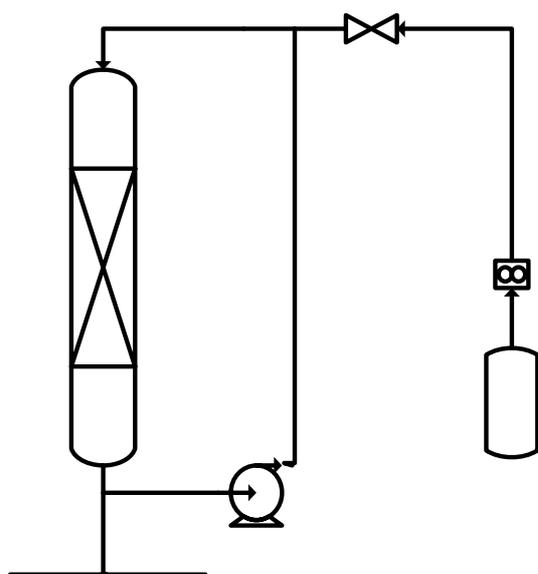
Linearisasi dari Persamaan (16) adalah:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{1}{KC} + 1 \quad (17)$$

$$\frac{1}{\theta} = \left(\frac{1}{K}\right)\left(\frac{1}{C}\right) + 1 \quad (18)$$

METODE PENELITIAN

Medium filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah pupuk kompos yang berasal dari peternakan sapi di Kelurahan Kukusan Depok, Jawa Barat, sedangkan gas model berupa campuran N₂O 15000 ppm dalam udara. Penelitian diawali dengan perancangan sistem biofilter skala laboratorium guna mendapatkan desain biofilter yang akan digunakan dalam proses biofiltrasi N₂O. Preparasi medium filter dilakukan dengan pengayakan guna mendapatkan penyeragaman ukuran dengan diameter partikel 1,7-2,1 mm. Proses biofiltrasi bertujuan untuk menghilangkan N₂O menggunakan sistem biofilter dengan mengkaji berbagai faktor operasi seperti ketinggian kolom dan laju alir gas N₂O. Gas N₂O disirkulasi selama 6 jam menggunakan pompa peristaltik dan sampel gas diambil setiap 1 jam dengan *syringe*. Gas *efluen* kemudian dianalisa dengan gas chromatography (GC). Kolom GC yang digunakan adalah Porapak Q dengan Ar sebagai gas pembawa. Hasil dari proses biofiltrasi dimodelkan ke dalam bentuk model adsorpsi Langmuir dan disimulasikan dalam analisis sensitivitas. Adapun susunan peralatan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram skematik biofilter (1. Gas N₂O, 2. Flow control, 3. Kolom biofilter, 4. Tempat pengambilan sampel N₂O, 5. Pompa peristaltik, 6. Valve)

Komponen-komponen dalam sistem biofilter adalah sebagai berikut:

1. Suplai gas N₂O (PT. Aneka Gas Indonesia)
2. Flow control (Dwyer ©, Range laju alir gas 0-200 cc/menit)
3. Kolom biofilter (bahan *acrylic*)
4. Tempat pengambilan sampel N₂O
5. Pompa peristaltik (MasterFlex® L/STM model 7518-12, 230VAC, 50/60Hz, 6-600 RPM)
6. Valve (On-off valve, stainless steel)

Pengolahan data untuk pemodelan eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Menghitung fraksi volume N₂O dari luas area komponen-komponen senyawa yang terdeteksi oleh GC, dengan persamaan:

$$x_{V_{N_2O}} = \frac{A_{N_2O}}{A_{udara} + A_{N_2O} + A_{air}} \quad (19)$$

Dimana:

$x_{V_{N_2O}}$ = fraksi volume N₂O, A_{N_2O} = luas area puncak N₂O, A_{udara} = luas area udara, A_{air} = luas area air

2. Menghitung volume N₂O dalam udara. Data ini didapatkan dengan persamaan kalibrasi volume N₂O dalam udara terhadap luas area N₂O.
3. Menghitung volume N₂O yang terkandung di dalam udara.

$$\text{volume N}_2\text{O} = \text{fraksi volume N}_2\text{O} \times \text{volume N}_2\text{O dalam udara} \quad (20)$$

4. Menghitung massa N₂O

$$\text{massa N}_2\text{O} = \text{volume N}_2\text{O} \times \text{densitas N}_2\text{O} \quad (21)$$

Densitas N₂O pada suhu 25°C dan 1 atm adalah 1,799 g/L.

5. Menghitung fraksi massa N₂O yang teradsorb dalam adsorbent, θ_n

$$\theta_n = \frac{\text{massa N}_2\text{O pada } t_o - \text{massa N}_2\text{O pada } t_n}{\text{massa N}_2\text{O pada } t_o} \quad (22)$$

6. Menghitung konsentrasi equilibrium N₂O, c_n

$$c_n = \frac{\text{massa N}_2\text{O pada } t_n / Mr_{N_2O}}{\text{volume N}_2\text{O pada } t_o} \quad (23)$$

7. Memplot grafik terhadap $\frac{1}{\theta}$ vs $\frac{1}{c}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan hasil penelitian dilakukan menggunakan persamaan adsorpsi isotermis Langmuir. Hal ini karena dalam penelitian ini diasumsikan bahwa adsorpsi hanya terjadi pada lapisan tunggal molekul yang teradsorb pada permukaan adsorben saja. Selain itu proses adsorpsi merupakan proses adsorpsi fisika karena terjadi pada suhu ruang dan tekanan atmosferik sehingga persamaan Langmuir lebih mengakomodasi data pada penelitian ini (Schuster, 1992).

Pengolahan data dilakukan terhadap data-data yang diperoleh pada tiap jam selama 6 jam penelitian.

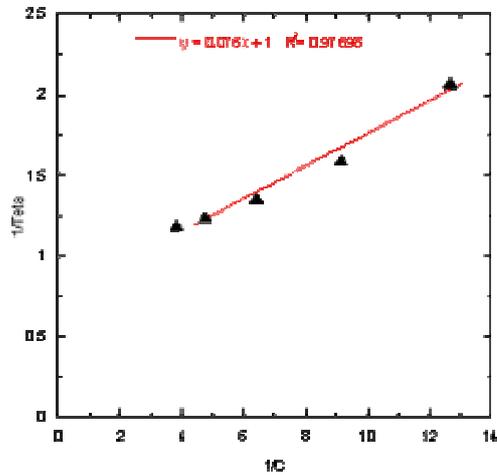
Data-data kemudian diplot antara $\frac{1}{\theta}$ vs $\frac{1}{c}$ sesuai

dengan persamaan adsorpsi Langmuir yang terlinearisasi. Gambar 3 memperlihatkan grafik linearisasi adsorpsi isotermis Langmuir pada ketinggian biofilter (h) yang bervariasi dan laju alir gas N₂O 50 cc/menit.

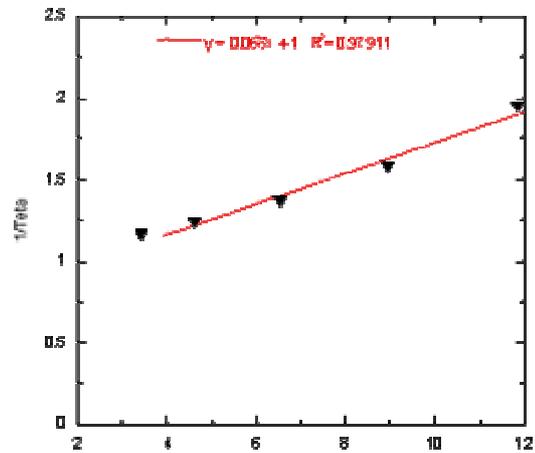
Konstanta Langmuir dapat dicari sesuai persamaan 18 di atas dimana konstanta Langmuir adalah satu per gradien pada persamaan garis yang

diperoleh. Nilai konstanta Langmuir pada kurva adsorpsi (Gambar 3) berturut-turut adalah 16,949 ; 17,857 ; 14,706 ; 14,085 liter/mol. Diperoleh bahwa semakin tinggi medium biofilter dalam kolom maka nilai konstanta Langmuir kurang lebih bernilai sama.

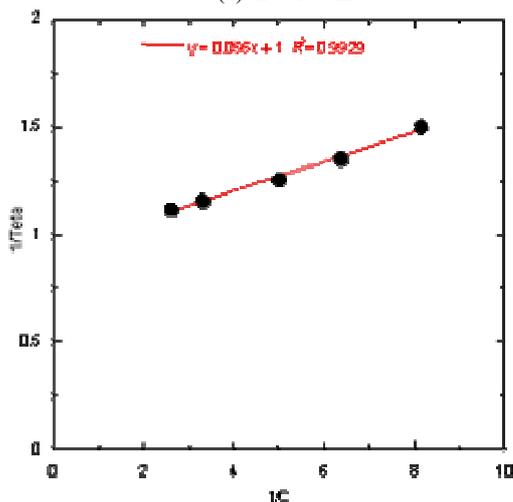
Hal ini dikarenakan konstanta Langmuir lebih banyak dipengaruhi oleh sifat karakteristik suatu material adsorben dalam mengadsorpsi suatu bahan, khususnya kapasitas penyerapan dari material tersebut.



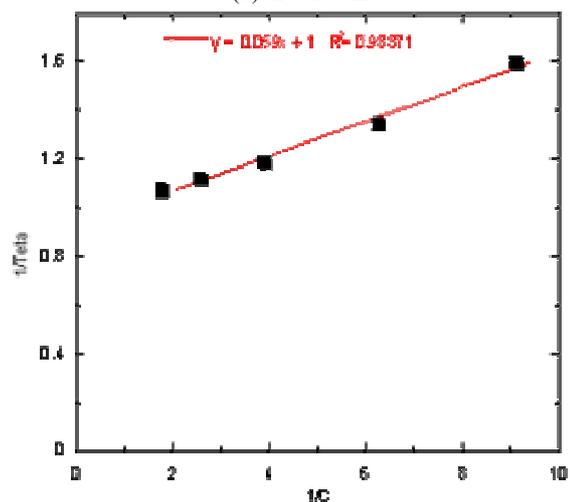
(a). h = 10 cm



(b). h = 15 cm

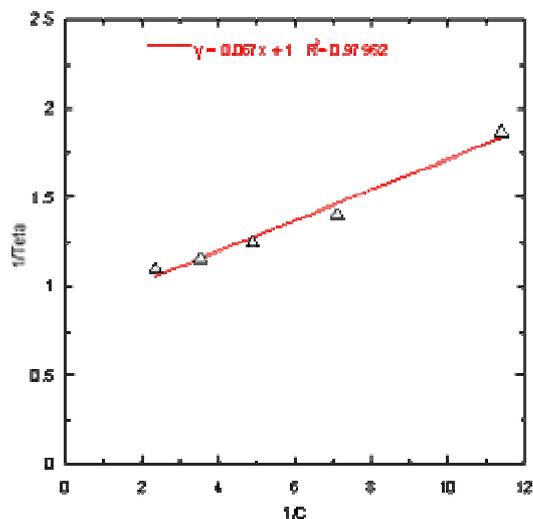


(c). h = 25 cm

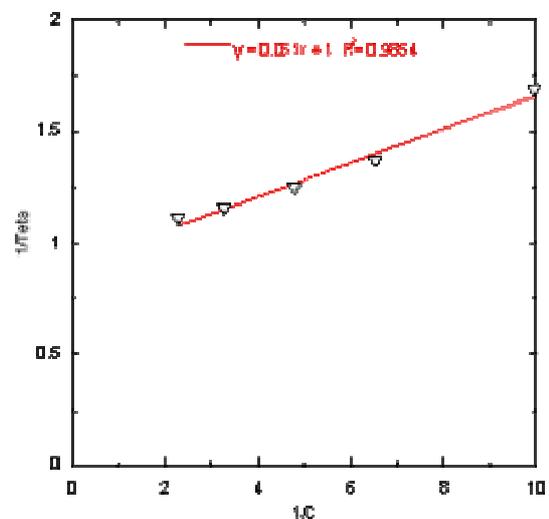


(d). h = 50 cm

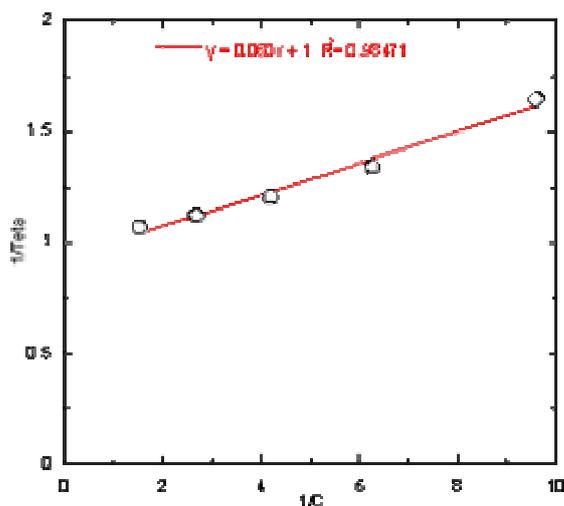
Gambar 3. Kurva adsorpsi isoterms Langmuir dengan variasi ketinggian filter



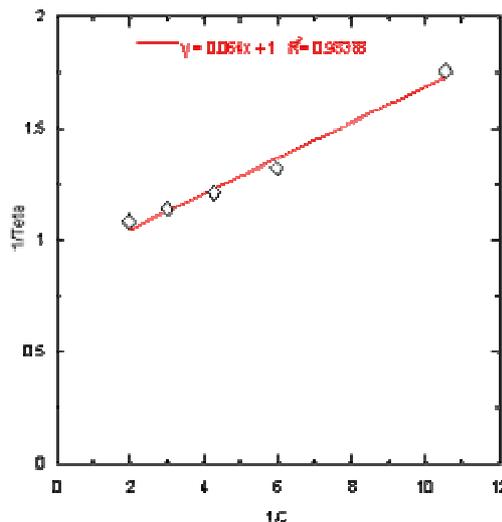
(a). f = 25 cc/menit



(b). f = 32 cc/menit



(c). $f = 100$ cc/menit



(d). $f = 200$ cc/menit

Gambar 4. Kurva adsorpsi isoterms Langmuir dengan variasi laju alir gas N_2O

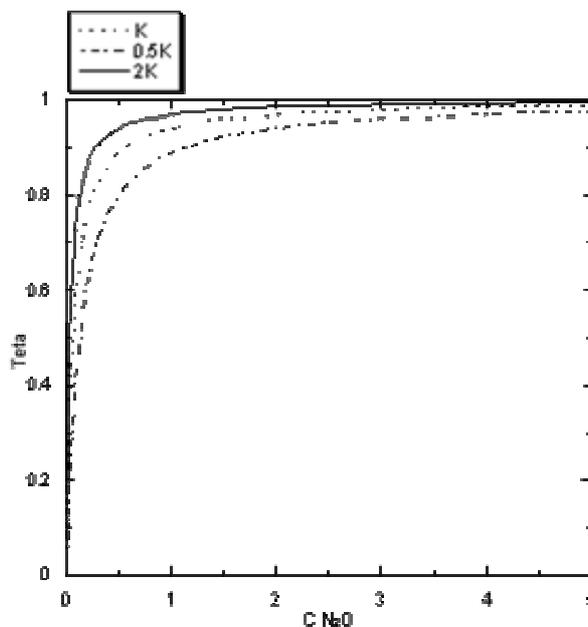
Semakin tinggi nilai K suatu material adsorben, maka kemampuan mengadsorpsi adsorben tersebut akan lebih banyak, dan sebaliknya. Gambar 4 memperlihatkan grafik linearisasi adsorpsi isoterms Langmuir pada ketinggian biofilter 50 cm dengan laju alir gas N_2O (f) yang bervariasi.

Nilai konstanta Langmuir yang diperoleh dari grafik-grafik di atas berturut-turut 14,925 ; 16,393 ; 15,625 ; 16,667 liter/mol. Nilai ini menunjukkan bahwa semakin tinggi laju alir gas N_2O dalam kolom biofilter maka nilai konstanta Langmuir kurang lebih bernilai sama. Hal ini dikarenakan konstanta Langmuir lebih banyak dipengaruhi oleh sifat karakteristik suatu material adsorben dalam mengadsorpsi suatu bahan, seperti telah disebutkan dalam penjelasan sebelumnya. Nilai konstanta Langmuir rata-rata yang diperoleh dari pemodelan pada penelitian ini sebesar 16,006 liter/mol.

Pemodelan hasil ini selanjutnya dilengkapi dengan melakukan analisis sensitivitas terhadap data-data hasil penelitian. Tujuan khusus analisis sensitivitas dalam penelitian ini adalah untuk meneliti seberapa besar pengaruh perubahan konstanta Langmuir terhadap fraksi molekul gas N_2O yang teradsorp, θ . Hal ini dilakukan dengan memvariasikan nilai $K_{Langmuir}$ menjadi setengah kali dan dua kali nilai awal dari $K_{Langmuir}$. Dalam pemodelan ini, nilai konsentrasi terkalkulasi dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{kalk} = \frac{\theta}{K(1-\theta)} \quad (24)$$

Nilai K yang digunakan adalah nilai K Langmuir yang didapatkan pada persamaan adsorpsi Langmuir yang dimodelkan. Nilai θ diambil dari 0 hingga 1 dengan inkremen 0,05. Hasil analisis sensitivitas K terhadap θ pada panjang biofilter 50 cm dan laju alir gas N_2O 50 cc/menit dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Analisis sensitivitas Konstanta Langmuir terhadap θ ($h = 50$ cm, $f = 50$ cc/menit, medium kering)

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai K mempengaruhi jumlah gas N_2O yang teradsorp pada medium biofilter (θ). Apabila nilai K dinaikkan dua kalinya menjadi $2K$, maka jumlah zat N_2O yang teradsorp oleh medium biofilter akan menjadi lebih banyak dalam. Sebaliknya jika nilai K diturunkan setengah kalinya menjadi $0,5K$, maka jumlah zat N_2O yang teradsorp oleh medium biofilter lebih sedikit. Hal ini menyarankan bahwa dalam mengadsorpsi suatu adsorbat, maka adsorben yang digunakan harus memiliki kapasitas penyerapan adsorbat yang tinggi. Nilai K Langmuir dari suatu eksperimen mencerminkan karakteristik suatu material adsorben dalam mengadsorpsi suatu adsorbat. Dengan demikian

adsorben dengan nilai K yang tinggi dapat mengadsorpsi suatu adsorbat yang lebih banyak, dan sebaliknya.

KESIMPULAN

Pupuk kompos dapat digunakan sebagai medium biofilter dalam mereduksi gas N₂O, dengan efisiensi reduksi setelah 6 jam mencapai 68,37% (data tidak ditampilkan). Proses biofiltrasi gas N₂O dalam kolom biofilter dengan medium kompos dapat dimodelkan dengan baik oleh persamaan adsorpsi isoteris Langmuir, dengan nilai konstanta Langmuir rata-rata adalah 16,006 liter/mol. Medium biofilter dengan konstanta Langmuir lebih tinggi memiliki kapasitas penyerapan adsorbat yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Barnes, J.M., Apel, W.A., and Barrett, K.B., (1995), Removal of Nitrogen Oxides from Gas Streams using Biofiltration, *J. Hazard. Mater.*, 41, pp. 315-326.
- Chagnot, E., Taha, S., Martin, G., and Vicard, J.F., (1998), Treatment of Nitrogen Oxides on A Percolating Biofilter After Pre-concentration on Activated Carbon, *Proc. Biochem.*, 33, pp. 617-624.
- Environmental Protection Administration (EPA) – Taiwan, (1996), *The Evaluation of Regulation and Reduction on Nitrogen Oxides in Industrial Sectors: Cases in Asphalt, Glass, Brick-Making, Boiler, and Power Generation*, EPA-85-1401-09-40, Taipei, Taiwan.
- Grano, D., in: Ozkan, U.S., Agarwald, S.K., and Marcelin G. (Eds.), (1995), *Reduction of Nitrogen Oxide Emissions*, American Chemical Society, Washington DC, pp. 14.
- Jin, Y., Veiga, M., and Kennes, C., (2005), Bioprocesses for The removal of Nitrogen Oxides from Polluted Air, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 80, pp. 483-494.
- Lee, B.D., Apel, W.A., and Smith, W.A., (2001), Oxygen Effects on Thermophilic Microbial Populations in Biofilters Treating Nitric Oxide Containing Off-gas Streams, *Environ. Prog.*, 20, pp. 157-166.
- Schuster, M., (1992), Metabolism of Nitric Oxide and Nitrous Oxide during Nitrification and Denitrification in Soil at Different Incubation Conditions, *FEMS Microbial Ecology.*, 101, pp. 133-143.
- Yang, Wan-Fa, *et al.*, (2007), The Effects of Selected Parameters on The Nitric Oxide Removal Using Biofilter, *J. Hazard. Mater.*, 6624.