

## PENGARUH LAJU ALIR DAN KEDALAMAN MEDIUM PADA PROSES BIOFILTRASI DINITROGEN MONOKSIDA DENGAN MEDIUM KOMPOS BERBASIS KOTORAN SAPI

**Tania Surya Utami<sup>\*)</sup>, Cynthia Noviani, Heri Hermansyah, dan M. Nasikin**  
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok 16424, Telp. 021-7863516, Fax. 021-7863515

### Abstrak

*Biofilter bekerja dengan cara mengalirkan aliran udara yang terkontaminasi melalui suatu media berpori dimana kontaminan dalam aliran udara akan teradsorpsi oleh biofilm dan kontaminan ini akan teroksidasi untuk menghasilkan biomassa, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sup>3-</sup>, dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Selain itu, biofilter dapat mendukung pertumbuhan biologi dari mikroorganisme yang terdapat di dalam media berpori. Biofilter juga telah berhasil digunakan secara efektif untuk menghilangkan bau dan senyawa organik volatil (VOC) seperti benzene, stirena, fenol, dan alkena dari berbagai proses industri. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh laju alir dan kedalaman medium filter terhadap efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O. Selain itu, perubahan sifat medium yang terjadi sebelum dan setelah biofiltrasi serta karakteristik dari medium filter yang digunakan yaitu kompos berbasis kotoran sapi dan bulking agent berupa sekam dan cocopeat juga akan diteliti. Penelitian dilakukan dengan sistem aliran batch selama 9 jam. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O terbaik didapatkan pada laju alir 88 cm<sup>3</sup>/menit dengan kedalaman 50 cm sebesar 61,35%.*

**Kata kunci:** *biofilter; efisiensi reduksi; kompos; kotoran sapi; N<sub>2</sub>O*

### 1. Pendahuluan

Sebagian besar polusi udara yang dihadapi oleh berbagai negara, khususnya negara berkembang dihasilkan oleh asap buangan kendaraan bermotor dan proses industri. Sekitar 10% pencemar udara setiap tahun terdiri dari gas nitrogen oksida yang merupakan gas polutan berbahaya yang dapat menyebabkan masalah lingkungan yang serius (Yang, dkk., 2007). Pembakaran bahan bakar fosil besar-besaran seperti batu bara dan minyak bumi melepaskan kadar nitrogen oksida yang tinggi (termasuk oksida nitrat atau N<sub>2</sub>O) sebagai asap. Jika gas N<sub>2</sub>O mencapai stratosfer, maka gas ini akan membantu merusak lapisan ozon, sehingga menghasilkan tingkat radiasi UV yang lebih tinggi dan risiko kanker kulit serta katarak yang meningkat. Selain pembakaran bahan bakar fosil, emisi gas N<sub>2</sub>O juga dihasilkan oleh industri peternakan dan pertanian. Sumbangan gas rumah kaca dari industri peternakan (CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) diketahui 18% lebih besar dari emisi yang dikeluarkan oleh seluruh moda transportasi di dunia (13%). Menurut U.N. News Centre beternak menghasilkan lebih banyak gas rumah kaca daripada mengendarai mobil.

Dalam rangka mengurangi emisi NO<sub>x</sub> yang berbahaya bagi lingkungan, diperlukan teknologi baru yang lebih efisien dibandingkan teknologi konvensional. Teknologi baru ini dikenal dengan sebutan biofilter. Biofilter bekerja dengan cara mengalirkan aliran udara yang terkontaminasi melalui suatu media berpori dimana kontaminan dalam aliran udara akan teradsorpsi oleh *biofilm* dan kontaminan ini akan teroksidasi untuk menghasilkan biomassa, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sup>3-</sup>, dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Selain itu, biofilter dapat mendukung pertumbuhan biologi dari mikroorganisme yang terdapat di dalam media berpori (Liu, dkk., 2004). Biofilter juga telah berhasil digunakan secara efektif untuk menghilangkan bau dan senyawa organik volatil (VOC) seperti benzene (Kardono dan Allen, 1995), stirena (Lackey dan Holt, 1996), fenol (Zilli, dkk., 1993), dan alkena (Morgenroth, dkk., 1993) dari berbagai proses industri.

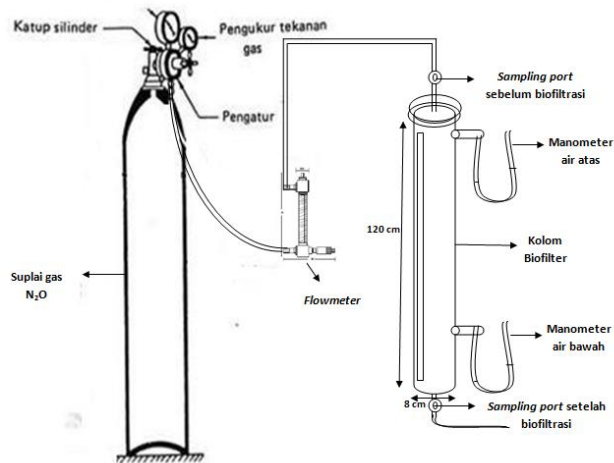
Penelitian biofiltrasi ini dilakukan dengan sistem aliran *batch* selama 9 jam menggunakan medium filter berupa kompos berbasis kotoran sapi dan *bulking agent* berupa sekam beras dan *cocopeat*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh laju alir dan kedalaman medium filter terhadap efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O.

### 2. Bahan dan Metode Penelitian

Peralatan biofilter yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan *acrylic* dengan dimensi tinggi kolom 120 cm, diameter luar 8 cm, dan diameter dalam 7,35 cm. Material tersebut dipilih agar dapat mencegah kebocoran seefektif mungkin. Sementara itu, perpipaan dan persambungan pada sistem biofilter terbuat dari *stainless steel* yang memiliki sambungan seminimal mungkin. Penggunaan *stainless steel* sebagai material pada sistem biofilter bertujuan untuk mencegah terjadinya korosi (Yang, dkk., 2007).

<sup>\*)</sup> Penulis dimana surat-menyurat dialamatkan. E-mail: [nana@che.ui.ac.id](mailto:nana@che.ui.ac.id)

Peralatan biofilter ini juga dilengkapi dengan manometer air tipe U pada bagian atas dan bagian bawah kolom biofilter yang berfungsi sebagai pengukur tekanan untuk mengetahui *pressure drop* yang terjadi di dalam kolom biofilter. Selain itu, untuk memastikan adanya redistribusi gas yang merata di dalam kolom, maka digunakanlah *perforated plates* dari bahan *acrylic* dengan ukuran diameter lubang adalah 2 mm. *Perforated plates* ini digunakan jika kedalaman medium filter  $\geq 80$  cm dan diletakkan pada setengah kedalaman medium filter yang digunakan. Skema peralatan biofilter dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema peralatan biofilter

Penelitian diawali dari preparasi medium filter yaitu proses pembuatan medium filter, pengeringan, dan pengayakan medium filter tersebut. Medium filter yang digunakan adalah kompos berbasis kotoran sapi dan *bulking agent* berupa sekam beras dan *cocopeat*. Selanjutnya dilakukan uji kebocoran dan kalibrasi peralatan. Proses biofiltrasi dilakukan selama 9 jam dengan sistem aliran *batch* dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh laju alir gas  $N_2O$  ( $73-233 \text{ cm}^3/\text{menit}$ ) dan kedalaman medium filter (50, 60, 70, 80, 100 cm) terhadap efisiensi reduksi  $N_2O$ . Selain itu, perubahan sifat medium yang terjadi sebelum dan setelah biofiltrasi juga diteliti. Sifat medium yang diteliti meliputi densitas, pH, *water content*, dan porositas kompos.

Pengukuran nilai pH medium filter dilakukan dengan cara mencampur 5 g medium filter dengan 50 mL *aquadest* dan diukur menggunakan pH meter dan pH indikator. Sementara itu, *water content* medium filter diukur melalui banyaknya berat sampel medium yang hilang setelah dikeringkan pada  $105^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Uji kinerja biofilter dilakukan melalui analisis gas  $N_2O$  yang keluar dari medium filter dengan kromatografi gas (GC).

### 3. Hasil dan Pembahasan

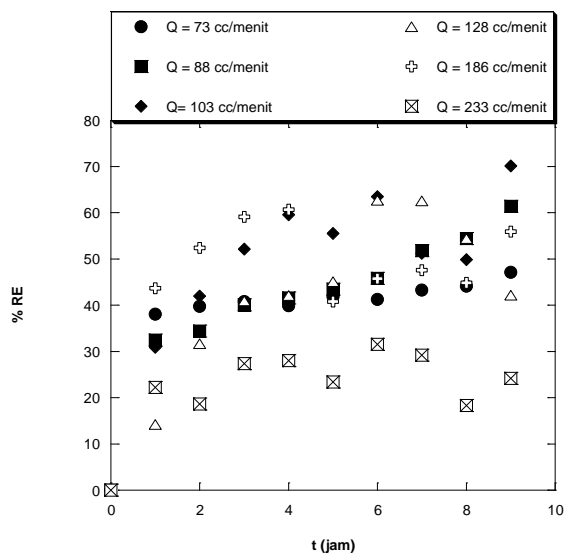
#### Pengaruh Laju Alir Gas $N_2O$

Variasi laju alir gas  $N_2O$  yang digunakan dalam penelitian ini adalah 73, 88, 103, 128, 186, dan  $233 \text{ cm}^3/\text{menit}$ . Hasil dari uji performansi biofilter dalam mereduksi  $N_2O$  terhadap variasi laju alir dapat dilihat pada Gambar 2. Pengamatan biofiltrasi dilakukan setiap jam selama 9 jam dengan menggunakan GC. Berdasarkan Gambar 2 di atas, dapat dilihat bahwa efisiensi reduksi  $N_2O$  cenderung meningkat setiap jamnya meskipun hal ini tidak terjadi pada jam ke-0 hingga jam ke-2 karena pada waktu ini gas  $N_2O$  yang mengalir di dalam medium filter belum homogen sehingga dihasilkan kondisi *unsteady*. Grafik ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak yang terjadi antara kompos dan gas  $N_2O$ , maka efisiensi reduksi  $N_2O$  yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini merupakan fenomena yang terjadi pada setiap laju alir.

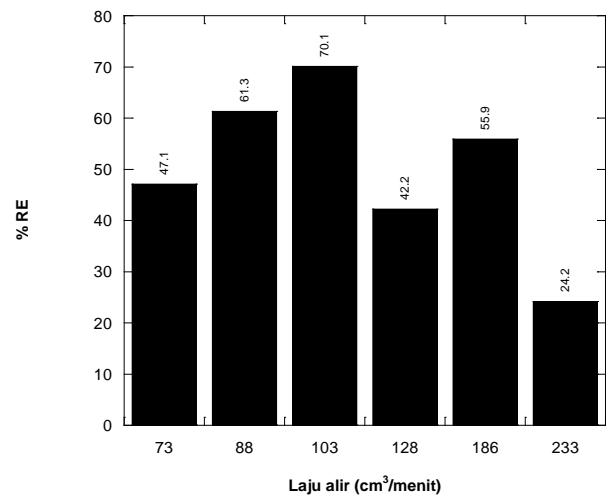
Efisiensi reduksi gas  $N_2O$  cenderung meningkat pada laju alir yang semakin kecil karena waktu tinggal gas  $N_2O$  dalam medium filter menjadi lebih lama sehingga waktu kontak antara gas  $N_2O$  dan medium biofilter juga lebih lama. Akibatnya, intensitas gas  $N_2O$  mengalami proses adsorpsi dan degradasi lebih banyak daripada laju alir gas  $N_2O$  yang lebih tinggi. Penurunan konsentrasi  $N_2O$  yang dihasilkan pada penelitian ini juga semakin rendah untuk laju alir yang semakin besar. Hal ini dikarenakan laju alir tersebut sangat besar sehingga waktu tinggal di dalam medium filter tidak lama. Namun, berdasarkan grafik pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa efisiensi reduksi  $N_2O$  yang dihasilkan dalam penelitian ini tidak sesuai dengan pernyataan di atas.

Berdasarkan pernyataan di atas, maka seharusnya laju alir yang semakin kecil akan menghasilkan penurunan konsentrasi  $N_2O$  yang lebih besar. Namun, hal ini tidak diperoleh dalam percobaan karena pada laju alir terkecil yang digunakan yaitu  $73 \text{ cm}^3/\text{menit}$  *flowmeter* tidak stabil. Shareefdeen, dkk., (2005) menyatakan bahwa gas polutan

dengan emisi yang sering berfluktuasi dapat menyebabkan kerusakan pada populasi mikroba biofilter dan kinerja keseluruhan. Akibatnya, penurunan konsentrasi yang dihasilkan tidak sebesar pada laju alir 88 cm<sup>3</sup>/menit.



Gambar 2. Pengaruh laju alir terhadap ef. reduksi N<sub>2</sub>O (h = 49,7cm, m = 945g, medium filter = kompos kering)



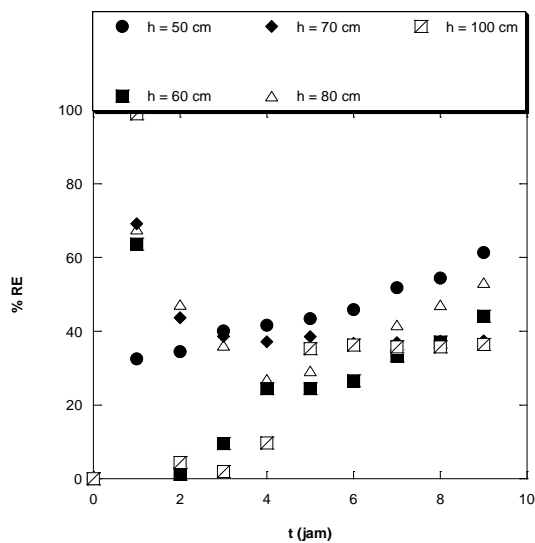
Gambar 3. Perbandingan ef. reduksi pada variasi laju alir gas N<sub>2</sub>O

Gambar 3 menunjukkan efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O yang diperoleh pada jam ke-9 biofiltrasi pada setiap variasi laju alir. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa efisiensi reduksi tertinggi yang diperoleh pada jam ke-9 terdapat pada laju alir gas N<sub>2</sub>O 103 cm<sup>3</sup>/menit dengan efisiensi reduksi sebesar 70,1%. Namun, pemilihan laju alir optimal untuk menghasilkan efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O tertinggi tidak hanya didasarkan pada hasil efisiensi reduksi yang diperoleh pada jam ke-9 melainkan juga melalui pengamatan terhadap profil efisiensi reduksi yang stabil dan dapat menghasilkan efisiensi reduksi tinggi (Gambar 2). Oleh karena itu, laju alir gas N<sub>2</sub>O optimal yang dipilih adalah 88 cm<sup>3</sup>/menit dengan efisiensi reduksi sebesar 61,3%.

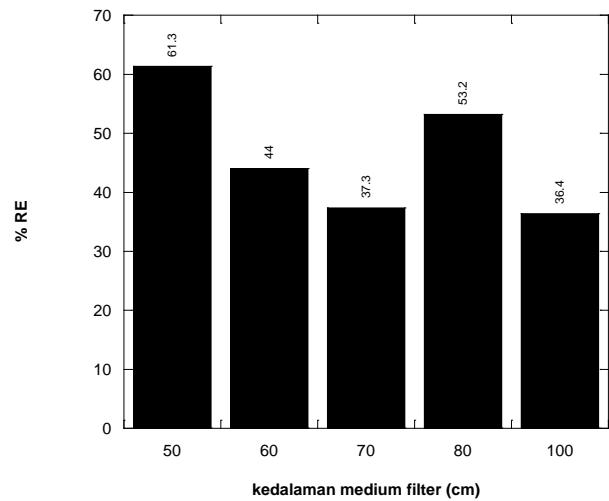
### Pengaruh Kedalaman Medium Filter

Variasi kedalaman medium filter terhadap reduksi N<sub>2</sub>O dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman medium filter terhadap performansi biofilter dalam mereduksi N<sub>2</sub>O. Hasil penelitian Yang, dkk., (2007) menyatakan bahwa posisi kolom yang semakin tinggi dapat menghasilkan performansi reduksi yang lebih baik. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya gas polutan yang mengalami kontak dengan medium dan mikroorganisme terinokulasi, sehingga semakin banyak pula gas yang dapat direduksi. Hal ini juga ditunjang oleh waktu kontak yang lebih lama antara gas polutan dan medium filter. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kolom biofilter yang semakin tinggi akan menghasilkan performansi reduksi yang lebih tinggi pula.

Pada penelitian ini, variasi kedalaman medium filter yang akan dikaji adalah kedalaman 50, 60, 70, 80, dan 100 cm dan dilakukan secara acak, dengan menggunakan laju alir optimum yang telah diperoleh pada percobaan sebelumnya yaitu 88 cm<sup>3</sup>/menit. Basis kedalaman medium filter yang digunakan adalah massa medium sebesar 945g untuk kedalaman medium 50 cm. Pada penggunaan kedalaman medium filter  $\geq 80$  cm, digunakan *perforated plates* dengan tujuan untuk memastikan adanya redistribusi gas yang merata di dalam kolom biofilter sehingga distribusi gas dalam kolom lebih homogen. *Perforated plates* dipasang pada setengah bagian massa medium di dalam kolom biofilter. Hasil dari uji performansi biofilter dalam mereduksi N<sub>2</sub>O terhadap variasi kedalaman medium filter dapat dilihat pada Gambar 4. Seharusnya, kedalaman medium filter yang semakin besar akan membuat waktu adsorpsi gas N<sub>2</sub>O oleh kompos semakin lama, sehingga semakin banyak konsentrasi N<sub>2</sub>O yang dapat direduksi dan % RE semakin tinggi. Efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O dari masing-masing kedalaman medium filter pada jam ke-9 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Pengaruh kedalaman medium filter terhadap ef. reduksi  $N_2O$  (medium filter = kompos kering)



Gambar 5. Perbandingan ef. reduksi pada variasi kedalaman medium filter (medium kering,  $t = 9$  jam)

Berdasarkan Gambar 4 di atas dan hasil efisiensi reduksi  $N_2O$  yang diperoleh pada Gambar 5, terlihat adanya penyimpangan hasil pada kedalaman medium filter yang lebih besar, dimana pada kedalaman tersebut efisiensi reduksi yang dihasilkannya lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi reduksi pada kedalaman 50 cm. Hal ini tidak sesuai dengan pernyataan Yang, dkk., (2007) yang menyatakan bahwa kolom biofilter yang semakin tinggi akan menghasilkan performansi reduksi yang lebih tinggi pula. Efisiensi reduksi  $N_2O$  yang dihasilkan pada kedalaman 50 cm lebih tinggi apabila dibandingkan dengan efisiensi reduksi yang dihasilkan pada kedalaman yang lebih tinggi. Hal ini dapat dijelaskan dengan memperhatikan Gambar 4, dimana waktu yang diperlukan oleh gas  $N_2O$  untuk homogen di dalam kolom biofilter hingga mencapai kondisi *steady* pada kedalaman 50 cm hanya berlangsung hingga jam ke-2. Sementara itu, pada kedalaman  $\geq 60$  cm waktu yang diperlukan oleh gas  $N_2O$  untuk homogen hingga mencapai kondisi *steady* adalah 4 jam. Adapun sistem aliran biofiltrasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem *batch* yang berlangsung selama 9 jam. Oleh karena itu, agar dapat mengevaluasi efisiensi reduksi  $N_2O$  yang dihasilkan oleh kedalaman medium filter  $\geq 60$  cm diperlukan waktu pengamatan yang lebih lama karena gas  $N_2O$  memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai keadaan stabil. Penyebab dari kondisi ini akan dijelaskan dalam paragraf berikut.

Tabel 1 di bawah ini menunjukkan kondisi *pressure drop* yang terjadi selama penelitian variasi kedalaman medium filter terhadap performansi biofilter dalam mereduksi  $N_2O$ . Setelah beberapa lama waktu operasi, *clogging/channeling* akan terjadi di dalam medium filter, dan biasanya disebabkan oleh kompaksi medium yang disebabkan oleh laju alir gas atau pun pembentukan sejumlah besar biomassa. Proses untuk mencegah biofilter dari *clogging/channeling* meliputi pendekatan fisika/mekanik, kimia, dan biologi. Pada Tabel 1 terlihat bahwa *pressure drop* yang terjadi pada tiap kedalaman medium filter tidaklah signifikan, kecuali pada kedalaman 70 cm dimana *pressure drop* yang dihasilkan dapat mencapai 8 mm  $H_2O$ . Hal inilah yang menyebabkan rendahnya efisiensi reduksi  $N_2O$  yang dihasilkan oleh karena adanya kompaksi pada medium filter sehingga laju alir gas di dalam kolom akan terhambat dan menyebabkan berkurangnya adsorpsi yang terjadi pada gas  $N_2O$  oleh medium filter.

Tabel 1. *Pressure drop* yang terjadi pada variasi kedalaman medium filter

Kedalaman Medium (cm)	<i>Pressure Drop</i> Awal ( $t=0$ , cm $H_2O$ )	<i>Pressure Drop</i> Akhir ( $t=9$ , cm $H_2O$ )	<i>Pressure Drop</i> Total (cm $H_2O$ )
60	0	0,1	0,1
70	0,1	0,9	0,8
80	0	0,1	0,1
100	0,1	0	0,1

Tabel 2 berikut menunjukkan kedalaman medium filter yang terbaca pada kolom biofilter. Berdasarkan data kedalaman medium filter dapat diketahui bahwa pada kedalaman medium 100 cm dan 70 cm terjadi kompaksi medium karena kedalaman medium filter lebih rapat daripada yang diharapkan. Selain itu, kompaksi yang terjadi turut mengganggu penggunaan *perforated plates* pada kedalaman 100 cm karena *perforated plates* yang digunakan letaknya menjadi tidak rata dan adanya kompaksi membuat lubang-lubang pada *perforated plates* tersumbat oleh medium filter itu sendiri. Hal inilah yang mengakibatkan rendahnya efisiensi reduksi yang dihasilkan pada kedalaman medium 100 cm.

Tabel 2. Kedalaman medium filter yang terbaca pada kolom biofilter

Kedalaman medium yang diharapkan	Kedalaman medium aktual (cm)	Perbandingan kedalaman
60 cm	63,4	1,057
80 cm (dengan <i>perforated plates</i> )	82	1,025
100 cm (dengan <i>perforated plates</i> )	99	0,99
70 cm	69,2	0,989

### Pengujian Sifat Fisik dan Kimia Kompos

Pengujian sifat fisik dan kimia kompos yang dilakukan meliputi perhitungan densitas kompos, pengukuran pH, pengukuran *water content* kompos, dan perhitungan porositas kompos. Uji sifat ini dilakukan pada medium filter sebelum dan setelah biofiltrasi. Tabel 3 menunjukkan karakteristik dari medium kompos sebelum dan setelah biofiltrasi selama 9 jam.

Tabel 3. Karakteristik kompos sebelum dan setelah biofiltrasi selama 9 jam

Data	Densitas (g/mL)	Porositas	pH	Water Content
<b>Sebelum Biofiltrasi</b>				
<b>Kompos Awal</b>	0,5554	80,2%	8,1	57,72%
<b>Setelah Biofiltrasi</b>				
<b>Kompos variasi laju alir</b>	0,5554	n.a.	7,6	65,10%
<b>Kompos variasi kedalaman medium</b>	0,5554	n.a.	7,1	63,65%

Sebagian besar mikroorganisme memiliki rentang pH tertentu, sehingga perubahan pH dapat sangat mempengaruhi aktivitas mereka. Pengasaman medium filter dapat menjadi masalah dalam pengolahan bahan kimia karena biodegradasi akan menghasilkan produk akhir asam, seperti pada H<sub>2</sub>S dan senyawa terklorinasi (Devanny, dkk., 1999). Banyak bakteri memiliki pH optimum antara 6 dan 8 (Ottengraph, 1977), tetapi H<sub>2</sub>S juga dapat teroksidasi pada pH asam oleh mikroorganisme seperti *Thiobacillus* (Chung, dkk., 2000). Namun demikian, pH dalam biofilter dapat dijaga melalui penambahan *buffer* ke dalam medium filter pada saat memulai biofiltrasi, dan ketika *buffer* tersebut telah habis, maka medium filter diganti dengan yang baru.

Berdasarkan Tabel 3 di atas, dapat diketahui bahwa nilai pH sebelum biofiltrasi akan berkurang pada saat setelah biofiltrasi, atau dengan kata lain pH kompos setelah biofiltrasi menjadi lebih asam meskipun penurunan pH yang terjadi sedikit sekali. Hal ini disebabkan oleh terjadinya proses biodegradasi yang menghasilkan produk akhir asam. Meskipun demikian, Dumont, dkk., (2008) menyatakan bahwa pengasaman dari medium tidak berpengaruh pada efisiensi reduksi yang dihasilkan.

Sementara itu, adanya porositas dan luas permukaan yang besar dapat mendukung terjadinya adsorpsi kontaminan maupun untuk pertumbuhan mikroba. Namun, porositas kompos setelah biofiltrasi akan berkurang dibandingkan kompos awal karena telah terjadi kompaksi medium akibat adanya aliran gas polutan di dalam medium filter. Adanya peningkatan kandungan *moisture* (MC) atau *water content* dari nilai awal 57,72% menjadi nilai akhir 65,1% pada akhir variasi laju alir dan 63,65% pada akhir variasi kedalaman medium filter disebabkan oleh adanya absorpsi *moisture* dari gas keluaran. Dari data yang diperoleh dalam penelitian, hanya sedikit perbedaan yang terjadi antara sifat awal dan akhir selama biofiltrasi yaitu pH, porositas, *water content*, dan rasio C/N. Namun, perubahan yang terjadi tidaklah signifikan.

#### 4. Kesimpulan

1. Efisiensi reduksi optimum dicapai pada laju alir 88 cc/menit sebesar 61,3%.
2. Kedalaman 50 cm merupakan kedalaman medium filter optimum dalam mereduksi N<sub>2</sub>O dengan efisiensi reduksi sebesar 61,3 %.
3. pH medium awal sebelum biofiltrasi akan berkurang pada saat setelah biofiltrasi karena terjadi proses biodegradasi yang menghasilkan produk akhir asam.
4. Porositas kompos setelah biofiltrasi akan berkurang dibandingkan kompos awal karena telah terjadi kompaksi medium akibat adanya aliran gas polutan di dalam medium filter.
5. Kandungan *moisture* (MC) atau *water content* mengalami peningkatan dari nilai awal 57,72% menjadi nilai akhir 65,1% pada akhir variasi laju alir dan 63,65% pada akhir variasi kedalaman medium filter disebabkan oleh adanya absorpsi *moisture* dari gas keluaran.

#### Daftar Pustaka

- Chung, Y.C., Huang, C., Tseng, C.P., Pan, J.R., (2000), "Biotreatment of H<sub>2</sub>S and NH<sub>3</sub> containing waste gases by co-immobilized cells biofilter", *Chemosphere*, 41, hal. 329–336.
- Devinny, J.S., M.A. Deshusses, and T.S. Webster, (1999), "*Biofiltration for air pollution control*", Lewis publishers.
- Kardono, K., E.R. Allen, (1995), "Elimination of benzene using a compost biofilter", 88th Annual AWMA Meeting & Exhibition, 95-TP9C.01.
- Lackey, L., T. Holt, (1996), "Not for the birds", *WEF Industrial Wastewater*, 4, hal. 31–33.
- Liu, Yonghui, Xie Quan, Yazhi Zhao, Shuo Chen, and Huimin Zhao, (2004), "Removal of Ternary VOCs in air streams at high loads using a compost-based biofilter", Dalian University of Technology, China.
- Morgenroth, E. et al., (1995), "Nutrient limitation in a compost biofilter degrading hexane", 88th Annual AWMA Meeting & Exhibition, 95-TP9C.05.
- Ottengraph, S.P.P., (1977), "Theoretical model for a submerged biological filtration", *Biotechnol. Bioeng.*, 19, hal. 1411–1418.
- Yang, Wan-Fa, Haoj-Jan Hsing, Yu-Chiung Yang and Jieh- Yu Shyung, (2007), "The Effect of Selected Parameters on The Nitric Oxide Removal by Biofilter". National Taiwan University, Taiwan.
- Zilli, M. et al., (1993), "Phenol removal from waste gases with a biological filter by *Pseudomonas putida*", *Biotechnol. Bioeng.*, 41, hal. 693–699.