



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**OPTIMALISASI BAHAN PENGIKAT PADA MEDIUM  
PELET KOMPOS DALAM BIOSORPSI GAS DINITROGEN  
MONOKSIDA**

**SKRIPSI**

**JANNATI SAGALA  
0806367960**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**HALAMAN JUDUL**

**OPTIMALISASI BAHAN PENGIKAT PADA MEDIUM  
PELET KOMPOS DALAM BIOSORPSI GAS DINITROGEN  
MONOKSIDA**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Teknik**

**JANNATI SAGALA  
0806367960**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Jannati Sagala**

**NPM : 0806367960**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : Juli 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Jannati Sagala

NPM : 0806367960

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Optimalisasi Bahan Pengikat pada Medium Pelet Kompos  
Dalam Biosorpsi Gas Dinitrogen Monoksida

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Tania Surya Utami, ST., MT ( )

Pembimbing II : Dr. Eny Kusriani, S.Si ( )

Penguji I : Dr.Ing. Misri Gozan, M.Tech ( )

Penguji II : Dianursanti, ST. MT ( )

Penguji III : Ir. Mahmud Sudibandiyo, M.Sc, PhD ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya sangat menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua, saudara-saudara dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan moril dan material;
2. Ibu Tania Surya Utami, ST., MT. dan Ibu Dr. Eny Kusrini, S.Si selaku dosen pembimbing, yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran, serta kesabaran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
3. Dianursanti ST., MT selaku kepala laboratorium Bioproses Departemen Teknik Kimia, atas izin penggunaan laboratorium
4. Pihak Departemen Teknik Kimia yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang diperlukan;
5. Lia Sinaga dan Arna, sahabat satu penelitian biofilter yang selalu meluangkan waktunya untuk diskusi dalam penyusunan skripsi ini;
6. Rieza Azmil, dan sahabat-sahabat yang selalu memotivasi dan membantu saya dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jannati Sagala  
NPM : 0806367960  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“ Optimalisasi Bahan Pengikat pada Medium Pelet Kompos Dalam Biosorpsi Gas Dinitrogen Monoksida.”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : Juli 2011

Yang menyatakan

(Jannati Sagala)

## ABSTRAK

Nama : Jannati Sagala  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Optimalisasi Bahan Pengikat pada Medium Pelet Kompos  
Dalam Biosorpsi Gas Dinitrogen Monoksida.

Biofilter merupakan teknologi alternatif yang digunakan untuk mereduksi gas polutan  $N_2O$  dengan medium filter pelet kompos. Penelitian biofilter skala laboratorium dilakukan dengan sistem aliran *semibacth* selama 12 jam, bertujuan untuk mengevaluasi rasio perbandingan bahan pengikat dengan kompos, dan diteliti juga perubahan sifat fisik-kimia medium filter selama proses biosorpsi dan perkembangan mikroba sebelum dan setelah proses biosorpsi serta membuat model matematis proses biosorpsi. Efisiensi reduksi  $N_2O$  dianalisis menggunakan GC dan hasil kualitatif mikroorganisme dianalisis dengan metode TPC. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi reduksi  $N_2O$  sebesar 79% pada pelet kompos dengan bahan pengikat tepung beras pada rasio 5:95% dan jumlah mikroorganisme meningkat 20% setelah proses biosorpsi. Sifat fisik dan kimia pelet kompos selama proses biofiltrasi mengalami perubahan yang tidak signifikan dan masih berada dalam kondisi optimim. Estimasi parameter dengan persamaan adsorpsi Langmuir menunjukkan bahwa  $K_L = -0,0021 \text{ m}^3/\text{g}$  dan  $q_m = 169,1 \text{ g } N_2O/\text{kg}$  dan estimasi dengan Michaelis Menten menunjukkan bahwa  $V_m = 1037,94 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot \text{jam}$  dan  $K_s = 217,39 \text{ g}/\text{m}^3$  kompos pada bahan pengikat tepung beras dengan rasio 5:95%.

Kata kunci : Adsorpsi, biofilter, efisiensi reduksi kompos,  $N_2O$  dan pelet.

## ABSTRACT

Name : Jannati Sagala  
Study Programe : Chemical Engineering  
Title : Optimization of The Binder in the Medium Pellet Compost  
in Dinitrogen Monoxide Gas Biosorption

Biofilter is an alternative technology that is used to reduce pollutant gases  $N_2O$  with compost pellet medium filter. Research conducted by a laboratory-scale biofilter semibatch flow system for 12 hours, its purpose to evaluate the ratio of the binder with compost, and also examined changes in physical-chemical properties of the filter medium during the process of biosorption and microbial growth before and after the process and create a mathematical model of the biosorption process.  $N_2O$  reduction efficiency was analyzed using GC and qualitative results of the microorganisms were analyzed by the method of TPC. The results showed the removal efficiency of  $N_2O$  as 79% in compost pellet binder with rice flour at a ratio of 5:95% and the number of microorganisms increased 20% after the biosorption process. Physical and chemical properties of compost pellets during biofiltration experienced no significant changes and still be in optimum condition. Estimated parameters with the Langmuir adsorption equation shows that  $K_L = -0.0021 \text{ m}^3 \text{ g}^{-1}$  and  $q_m = 169,1 \text{ g}_{N_2O} \text{ kg}^{-1}$  and Michaelis-Menten estimates indicate that  $V_m = 1037.94 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$  and  $K_s = 217.39 \text{ g m}^{-3}$  of compost on rice flour binder with a ratio of 5:95%.

Key words: Adsorption, biofiltration, compost efficiency reduction,  $N_2O$  and pellets.

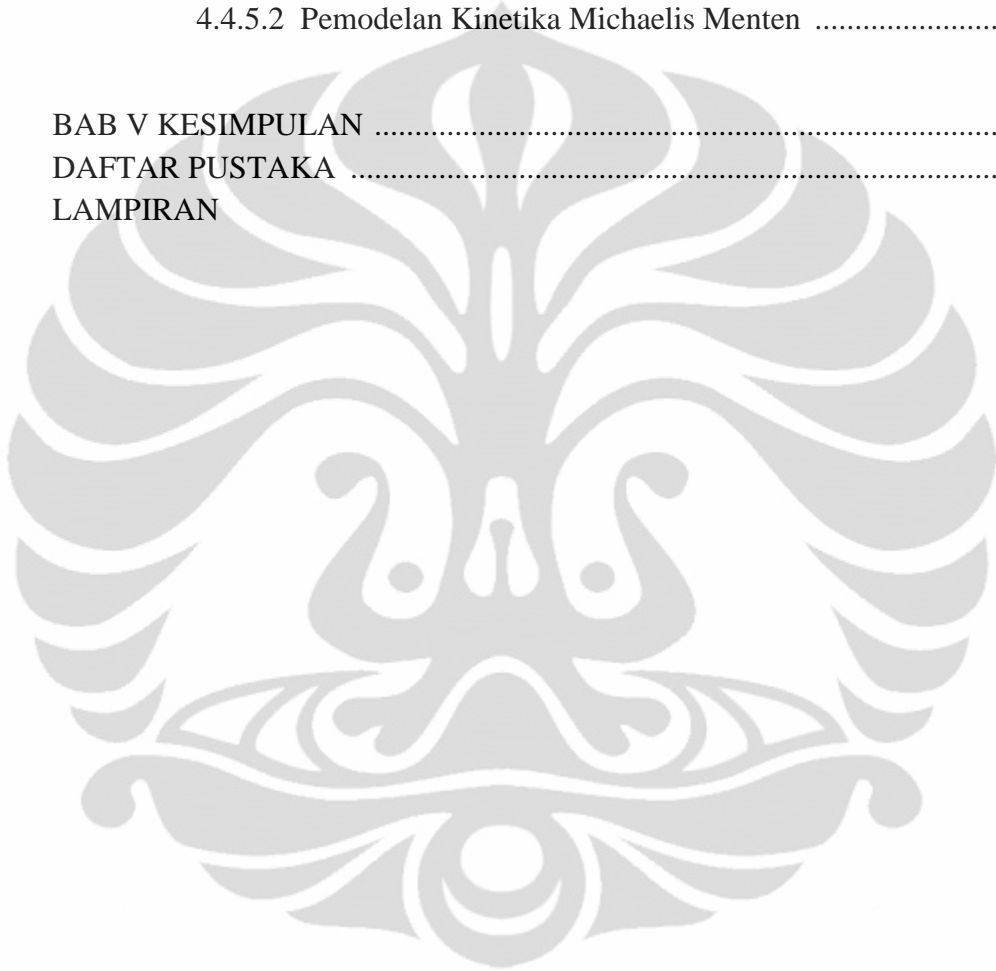


## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL.....                                  | i    |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....                | ii   |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                             | iii  |
| KATA PENGANTAR .....                                | iv   |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....       | v    |
| ABSTRAK .....                                       | vi   |
| ABSTRACT.....                                       | vii  |
| DAFTAR ISI .....                                    | vii  |
| DAFTAR GAMBAR .....                                 | xi   |
| DAFTAR TABEL.....                                   | xiii |
| <br>  |      |
| BAB I PENDAHULUAN.....                              | 1    |
| 1.1 Latar Belakang Masalah.....                     | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                           | 4    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                         | 4    |
| 1.4 Batasan Masalah.....                            | 4    |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....                     | 5    |
| <br>  |      |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                       | 7    |
| 2.1 Dinitrogen Monoksida (N <sub>2</sub> O).....    | 7    |
| 2.2 Biofilter .....                                 | 8    |
| 2.2.1 Terminologi Biofilter .....                   | 10   |
| 2.2.2 Karakteristik Performa Biofilter .....        | 11   |
| 2.2.3 Parameter yang Mempengaruhi Biofiltrasi ..... | 12   |
| 2.2.3.1 pH .....                                    | 12   |
| 2.2.3.2 Kelembapan .....                            | 13   |
| 2.2.3.3 Temperatur .....                            | 13   |
| 2.2.3.4 Beda Tekanan ( <i>Pressure Drop</i> ) ..... | 14   |
| 2.2.3.5 Kandungan Oksigen .....                     | 14   |
| 2.2.3.6 Mikrobiologi pada Biofilter .....           | 15   |
| 2.2.3.7 Nutrisi .....                               | 15   |
| 2.2.3.8 Medium Filter .....                         | 16   |
| 2.3 Metabolisme Nitrogen .....                      | 17   |
| 2.3.1 Denitrifikasi.....                            | 19   |
| 2.3.2 Nitrifikasi .....                             | 20   |
| 2.4 Kompos Kambing Sebagai Medium Filter .....      | 21   |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.5 Kompos Dalam Bentuk Pellet .....  | 23        |
| 2.6 State of The Art .....  | 24        |
| 2.6.1 Biofiltrasi H <sub>2</sub> S dengan HBF.....  | 24        |
| 2.6.2 Biofiltrasi H <sub>2</sub> S Menggunakan Medium Pelet Karbon Aktif .....                                  | 27        |
| 2.6.3 Biofiltrasi Hidrogen Sulfida dengan Kompos Berbentuk Pelet .....  | 31        |
| 2.6.4 Biofiltrasi Senyawa VOC dan VIC (NO <sub>x</sub> ) dalam <i>Indoor Air Purification</i> .....             | 33        |
| 2.6.5 Biofiltrasi NO <sub>x</sub> dengan medium lumpur aktif .....  | 34        |
| 2.6.6 Biofiltrasi Gas N <sub>2</sub> O dengan medium filter kompos .....  | 36        |
| 2.7 Ringkasan State of The Art .....  | 38        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>   | <b>41</b> |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian .....   | 41        |
| 3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....   | 43        |
| 3.2.1 Alat Biofilter .....  | 43        |
| 3.2.2 Bahan .....   | 43        |
| 3.3 Prosedur Penelitian .....   | 45        |
| 3.3.1 Preparasi Medium Filter.....  | 45        |
| 3.3.2 Uji Sifat / Karakterisasi Kompos Sebelum dan Sesudah Biofiltrasi ..                                       | 46        |
| 3.3.3 Uji Kebocoran Alat dan Uji Blanko .....   | 48        |
| 3.3.4 Kalibrasi Gas N <sub>2</sub> O .....  | 49        |
| 3.4 Eksperimen Biofilter .....  | 49        |
| 3.4.1 Variasi Rasio Bahan Pengikat .....  | 49        |
| 3.5 Data Penelitian .....   | 50        |
| 3.6 Pengukuran dan Analisis .....   | 51        |
| 3.6.1 Analisis Gas N <sub>2</sub> O .....   | 51        |
| 3.6.2 Analisis Perkembangan Bakteri .....   | 52        |
| 3.7 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data .....  | 54        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>56</b> |
| 4.1 Preparasi Medium Filter .....   | 58        |
| 4.2 Pembuatan Medium Pelet Kompos .....   | 60        |
| 4.3 Persiapan Eksperimen .....  | 62        |
| 4.3.1 Uji Kebocoran dan Uji Waktu Tinggal .....   | 62        |
| 4.3.2 Kalibrasi Gas N <sub>2</sub> O .....  | 64        |
| 4.4 Uji Kinerja Biofilter .....   | 66        |
| 4.4.1 Pengaruh Rasio Bahan Pengikat dalam Mereduksi N <sub>2</sub> O .....                                      | 67        |
| 4.4.2 Karakteristik medim filter pelet kompos berbasis kotoran kambing<br>sebelum dan sesudah biofiltrasi ..... | 71        |

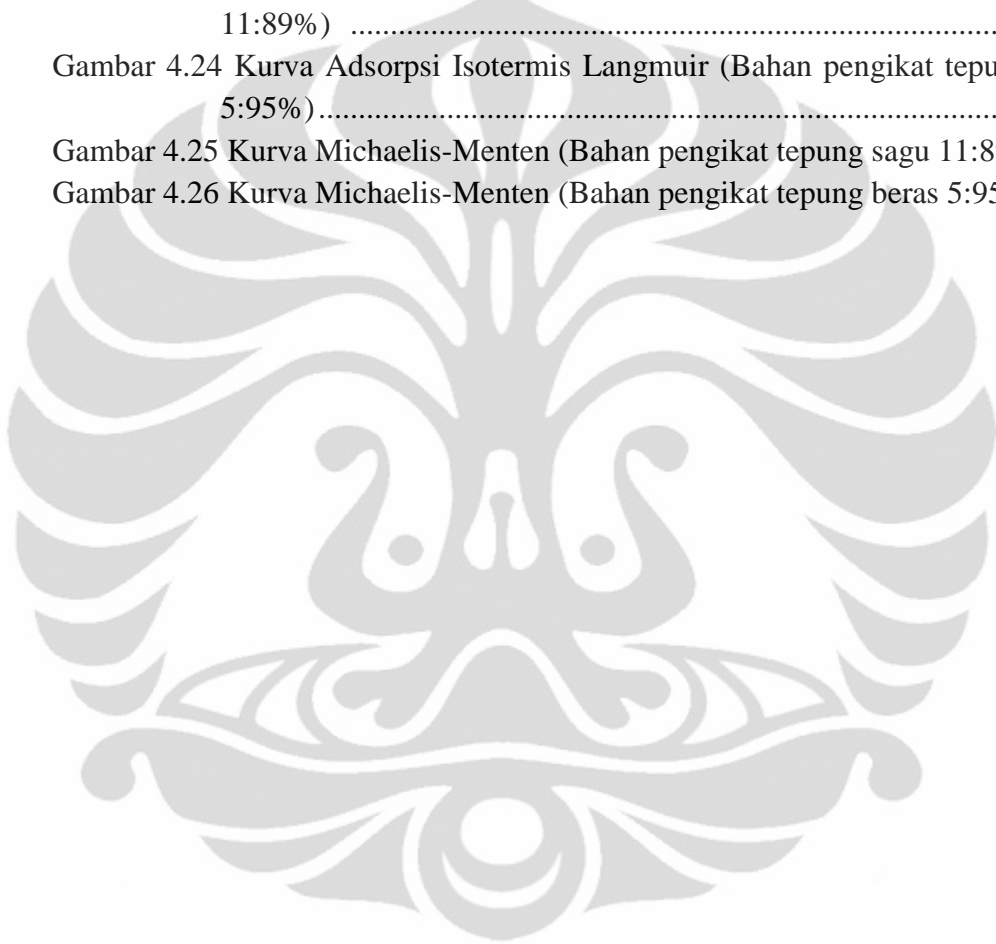
|  |        |
|--|--------|
| 4.4.3 Pengaruh <i>Pressure Drop</i> , suhu dan Kelembapan Terhadap Proses Biofilter .....            | 73     |
| 4.4.4 Hasil Uji Perkembangan Mikroba pada Pelet Kompos Metode TPC ( <i>Total Plate Count</i> ) ..... | 76     |
| 4.4.5 Pemodelan Hasil Eksperimen .....   | 81     |
| 4.4.5.1 Pemodelan Adosrpsi .....   | 81     |
| 4.4.5.2 Pemodelan Kinetika Michaelis Menten .....  | 86     |
| <br>BAB V KESIMPULAN .....   | <br>92 |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 93     |
| LAMPIRAN   |        |



## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 Jalur Metabolisme Umum Nitrogen .....  | 18 |
| Gambar 2.2 Struktur Kimia $N_2O$ .....  | 19 |
| Gambar 2.3 Mekanisme Adsorpsi.....  | 19 |
| Gambar 2.4 Efisiensi Biofiltrasi pada Variasi Konsentrasi Inlet, Waktu Proses dan pH .....  | 26 |
| Gambar 2.5 Efisiensi Biofiltrasi pada Variasi GRT .....   | 27 |
| Gambar 2.6 Diagram Skematik Proses Biofilter .....  | 28 |
| Gambar 2.7 Efisiensi Biofiltrasi pada Tahap Awal (a) Terhadap Variasi pH dan Retention Time; (b) Terhadap Konsentrasi Inlet dan Outlet VS Waktu Operasi ..... | 30 |
| Gambar 2.8 Biofiltrasi Hidrogen Sulfida dengan Kompos Berbentuk Pelet .....   | 32 |
| Gambar 2.9 Efisiensi Reduksi $NO_x$ terhadap Waktu .....  | 35 |
| Gambar 2.10 <i>Mapping State of The Art</i> Biofilter .....   | 40 |
| Gambar 3.1 Bagan alir rancangan penelitian .....  | 41 |
| Gambar 3.2 Bagan Alir Eksperimen Biofiltrasi .....  | 47 |
| Gambar 3.3 Diagram alir prosedur pengoperasian GC.....  | 51 |
| Gambar 4.1 Sistem Biofilter dan GC .....  | 57 |
| Gambar 4.2 Proses pengeringan kompos .....  | 59 |
| Gambar 4.3 Proses pengadukan kompos .....   | 59 |
| Gambar 4.4 Proses pengayakan kompos .....   | 59 |
| Gambar 4.5 Kompos sebagai medium filter .....   | 60 |
| Gambar 4.6 Proses pembuatan pelet kompos .....  | 61 |
| Gambar 4.7 Proses pembuatan larutan gelatin .....   | 61 |
| Gambar 4.8 Pelet Kompos dengan Ukuran 5x5mm.....  | 61 |
| Gambar 4.9 Uji EBRT Biofilter .....   | 63 |
| Gambar 4.10 Sampel grafik yang terdeteksi pada: (a) Gas $N_2O$ , dan (b) Udara bebas oleh GC .....  | 65 |
| Gambar 4.11 Grafik hasil kalibrasi volume gas $N_2O$ di dalam <i>syringe</i> terhadap luas <i>peak</i> $N_2O$ .....   | 66 |
| Gambar 4.12 Konsentrasi Output Variasi Jenis Bahan Pengikat Terhadap Reduksi $N_2O$ .....   | 68 |
| Gambar 4.13 Perbandingan Efisiensi Reduksi pada Variasi Rasio Bahan Pengikat .....  | 70 |
| Gambar 4.14 Profil Kelembapan Selama Proses Biofiltrasi .....   | 74 |
| Gambar 4.15a Profil <i>Pressure Drop</i> pada Bahan Pengikat Tepung Sagu .....  | 74 |
| Gambar 4.15b Profil <i>Pressure Drop</i> pada Bahan Pengikat Tepung Beras .....   | 75 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.16 Profil Temperatur Selama Proses Biofiltrasi .....                           | 76 |
| Gambar 4.17 <i>Transfer box</i> (ruangan steril) .....                                  | 78 |
| Gambar 4.18 Pembuatan media nutrien agar (NA) .....                                     | 78 |
| Gambar 4.19 Hasil Uji Blanko .....  | 79 |
| Gambar 4.20 Hasil Uji TPC Pelet Kompos Sebelum Proses Biosorpsi .....                   | 79 |
| Gambar 4.21 Hasil Uji TPC Pelet Kompos Setelah Proses Biosorpsi .....                   | 79 |
| Gambar 4.22 Hasil Uji TPC yang Terjadi Kontaminasi Jamur .....                          | 80 |
| Gambar 4.23 Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir (Bahan pengikat tepung sagu 11:89%) ..... | 84 |
| Gambar 4.24 Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir (Bahan pengikat tepung beras 5:95%).....  | 85 |
| Gambar 4.25 Kurva Michaelis-Menten (Bahan pengikat tepung sagu 11:89%) ..               | 89 |
| Gambar 4.26 Kurva Michaelis-Menten (Bahan pengikat tepung beras 5:95%) .....            | 90 |



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 <i>Global Warming Potential</i> untuk beberapa GRK .....   | 8  |
| Tabel 2.2 Organisme yang aktif dalam proses pengomposan .....  | 22 |
| Tabel 2.3 Spesifikasi Fisika pada Proses Biofiltrasi HBR .....   | 25 |
| Tabel 2.4 kondisi Operasi Biofiltrasi HBF .....  | 25 |
| Tabel 2.5 Spesifikasi Fisika pada Proses Biofiltrasi H <sub>2</sub> S .....  | 29 |
| Tabel 2.6 Spesifikasi Fisika pada Proses Biofiltrasi H <sub>2</sub> S .....  | 29 |
| Tabel 2.7 Efisiensi Penghilangan Minimum, Maximum dan Rata-Rata Biofiltrasi .....  | 33 |
| Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan dalam penelitian.....   | 43 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi Kromatografi Gas dalam Penelitian .....  | 51 |
| Tabel 4.1 Komposisi Bahan Pati Sagu dan Beras setiap 100 gr .....  | 70 |
| Tabel 4.2 Karakteristik medim filter pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu berbasis kotoran kambing sebelum dan sesudah biofiltrasi ..... | 71 |
| Tabel 4.3 Karakteristik medim filter pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu berbasis kotoran kambing sebelum dan sesudah biofiltrasi ..... | 71 |
| Tabel 4.4 Hasil Uji TPC Tepung Sagu dan %RE yang diperoleh .....   | 80 |
| Tabel 4.5 Hasil Uji TPC Tepung Beras dan %RE yang diperoleh .....  | 81 |
| Tabel 4.6 Persamaan Konstanta yang Diperoleh dari Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir .....  | 86 |
| Tabel 4.7 Persamaan, nilai $V_m$ dan $K_s$ dari kurva degradasi Michaelis – Menten hasil eksperimen .....  | 90 |

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan meningkatnya populasi dan bertambahnya kebutuhan manusia, mengakibatkan semakin besar pula terjadinya masalah-masalah pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan yang paling mempengaruhi keadaan iklim dunia adalah pencemaran udara. Pencemaran udara dikaitkan dengan pemanasan global. Pemanasan bumi secara global tidak bisa terlepas dari efek gas rumah kaca.

Dalam atmosfer terdapat kumpulan dari berbagai macam gas yang menyelimuti bumi, salah satunya adalah gas rumah kaca. Pancaran sinar matahari yang berupa sinar tampak/gelombang pendek akan memasuki atmosfer. Dari radiasi tersebut sebagian ada yang diserap bumi dan sebagian dipantulkan kembali ke angkasa. Proses pancaran sinar matahari dari angkasa menembus atmosfer dan dipantulkan kembali oleh gas rumah kaca tersebut, efek yang terjadi adalah suhu permukaan bumi menjadi hangat yang biasanya disebut efek rumah kaca. Pada kondisi normal efek ini sangat banyak gunanya seperti pada waktu malam hari dimana jika tidak ada efek rumah kaca, maka temperatur malam hari akan lebih dingin dari yang dirasakan sekarang.

*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* menunjukkan suhu permukaan global akan meningkat 1,1 hingga 6,4°C (2,0 hingga 11,5°F) antara tahun 1990 dan 2100. Kenaikan konsentrasi gas-gas yang ada di atmosfer disebabkan oleh kenaikan pembakaran bahan bakar minyak, batu bara dan bahan organik yang melampaui kemampuan tumbuh-tumbuhan untuk menyerapnya. Efek rumah kaca disebabkan kenaikan konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, belerang dioksida, NO dan N<sub>2</sub>O serta beberapa senyawa organik seperti gas metana dan klorofluorokarbon (CFC) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Menurut IPCC, gas N<sub>2</sub>O memberi kontribusi terbesar pada pemanasan global yaitu 320 kali lebih besar per massa CO<sub>2</sub>. Meskipun konsentrasinya relatif rendah, gas N<sub>2</sub>O sangat sulit terurai di atmosfer.

Tingginya produksi  $\text{NO}_x$  dalam hal ini gas  $\text{N}_2\text{O}$  sebagai gas polutan yang beracun dan sulit terurai di atmosfer, menuntut untuk dilakukan pencegahan atau pengendalian jumlah polutan  $\text{N}_2\text{O}$ , sebelumnya ada beberapa teknologi yang digunakan untuk mereduksi atau mengontrol gas  $\text{N}_2\text{O}$ , seperti: *selective catalytic reduction* (SCR) dan *selective non-catalytic reduction* (SNCR) namun kedua metode tersebut kurang menguntungkan karena dalam pengoperasiannya membutuhkan suhu yang tinggi, penggunaan katalis, biaya instalasi dan operasi yang tinggi, serta menghasilkan produk buangan dalam jumlah cukup besar (Jin et al., 2005). Karena metode SCR dan SNCR kurang efektif maka para peneliti terpacu untuk mengembangkan teknologi yang lebih murah dan efisien untuk menghilangkan  $\text{NO}_x$  dari gas buangan dan teknologi yang digunakan, yaitu teknologi biofilter.

Biofilter adalah reaktor dengan material padat sebagai bahan pengisian dimana mikroba terjerat secara alami di dalamnya dengan membentuk *biolayer* (lapisan tipis). Gas polutan yang melalui biofilter akan teradsorb ke dalam lapisan *biolayer* dan akan didegradasi oleh mikroba yang tumbuh pada *biolayer* tersebut (Ottengraf, 1986). Biofilter dikembangkan karena biaya operasionalnya lebih murah, stabil pada waktu yang relatif lama, memiliki daya degradasi gas polutan yang tinggi, tidak menghasilkan produk yang berbahaya pada lingkungan (Yang, 2007). Pemilihan medium filter yang tepat merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja biofilter. Medium filter yang sering digunakan dalam teknologi biofilter adalah kompos, gambut (*peat*), tanah, karbon aktif, serpihan atau kulit kayu (*bark*), lava, *perlite*, serta media sintetis (Manik, 2005)

Proses biodegradasi pada biofilter dipengaruhi oleh aktivitas mikroba dalam medium filter. Karena itu, medium filter pada biofilter haruslah didesain untuk menyediakan lingkungan yang baik bagi pertumbuhan mikroba dan aliran gas yang melalui medium filter. Sejumlah faktor perlu dikontrol sehingga mikroba dapat mengadsorb dan mendegradasi gas buang secara efisien. Temperatur, kandungan kelembapan, pH, laju alir, nutrisi, besarnya kandungan polutan, dan mikrobiologi biofilter adalah sejumlah faktor yang mempengaruhi efisiensi biosorpsi (Chang et.al., 2006).



Dalam penelitian biosorpsi ini, medium filter yang akan digunakan untuk mereduksi gas  $N_2O$  adalah kompos, karena kompos memiliki retensi air yang baik, kandungan zat organik yang cocok untuk pertumbuhan mikroba dan juga kompos merupakan media yang murah dan banyak tersedia. Kompos yang digunakan sebagai medium filter adalah kompos berbasis kotoran kambing dalam bentuk pelet. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh *Research Group Industrial Bioprocess Engineering* bahwa kompos kambing memiliki kemampuan reduksi yang lebih tinggi daripada kompos sapi. Kompos kambing memiliki kandungan organik yang tinggi dan kelembapan yang cukup serta kandungan N dan K pada kotoran kambing lebih besar dari kotoran sapi. Penggunaan kompos dalam bentuk pelet yaitu untuk memperkecil *pressure drop* pada proses biosorpsi (Melvin, 2007). Prinsip pembuatan pelet sama dengan pembuatan pil atau tablet. Pada pembuatan pelet ditambahkan bahan pengikat yang berguna untuk mengikat komponen-komponen kompos agar mempunyai struktur yang kompak dan tidak mudah buyar. Tepung atau pati memiliki kandungan amilum yang dapat membentuk gelatin, sehingga dapat merekatkan kompos. Bahan pengikat yang digunakan adalah tepung beras dan tepung sagu sesuai dengan hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Sinaga. R, (2010) tentang Pengaruh Zat Pengikat pada Pelet Kompos Sebagai Medium Biofilter Dalam Proses Reduksi Gas Dinitrogen dan hasil yang diperoleh yaitu secara biosorpsi tepung beras dapat mereduksi gas sebanyak 82,53%, sedangkan untuk sifat fisik, tepung sagu lebih kuat dan kompak pada saat pembuatan pelet.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rasio perbandingan antara bahan pengikat dengan kompos. Parameter-parameter operasi yang akan dilakukan adalah pengaruh perbandingan rasio antara bahan pengikat dengan kompos terhadap kinerja biofilter dalam mereduksi  $N_2O$ , dan akan diteliti juga sifat-sifat fisik dan kimia medium pelet kompos (pH, densitas, kandungan air dan porositas), perubahan suhu, tekanan serta kelembapan medium filter selama proses biosorpsi dan perkembangan mikroorganisme sebelum dan setelah proses biosorpsi serta membuat model matematis proses biosorpsi dan biodegradasi gas  $N_2O$  pada medium filter.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan yang ada sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh rasio antara bahan pengikat dengan kompos sebagai medium filter terhadap efisiensi reduksi gas  $N_2O$ ?
2. Bagaimana perubahan sifat fisik dan kimia medium filter kompos berbasis kotoran kambing (densitas, *water content*, pH dan porositas) sebelum dan setelah biosorpsi?
3. Bagaimana pengaruh proses biosorpsi terhadap *pressure drop*, kelembapan dan temperatur dalam kolom biofilter selama proses biosorpsi?
4. Bagaimana perkembangan mikroorganismenya sebelum dan setelah proses biosorpsi?
5. Bagaimana model matematis proses biosorpsi gas  $N_2O$  pada *biofilm* medium filter pelet kompos berbasis kotoran kambing?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan kondisi optimum rasio antara bahan pengikat dengan kompos sebagai medium filter terhadap kinerja biosorpsi gas  $N_2O$ .
2. Mengkaji perubahan sifat fisik dan kimia medium filter pelet kompos berbasis kotoran kambing sebelum dan setelah proses biosorpsi.
3. Mengkaji pengaruh proses biosorpsi terhadap *pressure drop*, kelembapan dan temperatur.
4. Menganalisa perkembangan mikroba sebelum dan setelah proses biosorpsi.
5. Mengetahui kinerja medium filter melalui parameter-parameter yang dapat ditentukan dari model matematis biosorpsi  $N_2O$  pada permukaan medium filter pelet kompos berbasis kotoran kambing oleh mikroorganismenya.

## 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, pembahasan masalah terhadap masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioproses Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok.
2. Gas  $\text{NO}_x$  yang digunakan adalah gas  $\text{N}_2\text{O}$  berkonsentrasi 15.000 ppm dalam udara.
3. Tinggi dan diameter kolom biofilter berturut-turut adalah 120cm dan 8cm, sistem aliran semi *batch*.
4. Nutrisi yang digunakan adalah nutrisi sintetik.
5. Medium filter yang digunakan adalah kompos yang berbasis kotoran kambing berbentuk pelet dengan menggunakan tepung beras dan tepung sagu sebagai bahan pengikat.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dari makalah ini adalah sebagai berikut:

#### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini.

#### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan studi literatur secara umum dan secara khusus mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian seperti gas  $\text{N}_2\text{O}$ , biofilter, pembuatan kompos, serta pembahasan jurnal-jurnal internasional dan jurnal-jurnal nasional yang berkaitan dengan biofilter.

#### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas diagram alir penelitian, alat dan bahan yang akan digunakan, prosedur kerja, variabel penelitian serta pengambilan data dan pengolahan data yang diperoleh.

#### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas mengenai hasil dan pembahasan dari kalibrasi gas  $\text{N}_2\text{O}$ , uji kemampuan alat biofilter dalam mereduksi gas  $\text{N}_2\text{O}$  berkonsentrasi tinggi dengan variasi rasio bahan pengikat yang digunakan dalam pembuatan pelet kompos sebagai medium filter, perubahan sifat fisik dan kimia medium filter sebelum dan setelah proses biosorpsi, pengaruh proses biosorpsi terhadap

*pressure drop*, kelembapan dan suhu serta analisa pertumbuhan mikroorganisme di dalam kompos yang diamati melalui uji TPC.

#### **BAB V. KESIMPULAN**

Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan pembahasan.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Dinitrogen Monoksida (N<sub>2</sub>O)

Gas dinitrogen monoksida dengan rumus kimia N<sub>2</sub>O pertama kali dihasilkan pada tahun 1775 oleh Joseph Priestley. N<sub>2</sub>O pada suhu kamar sifatnya tidak berwarna dan mudah terbakar. Dalam dunia medis N<sub>2</sub>O merupakan gas anestetik lemah yang digunakan dalam pembedahan dan kedokteran gigi. N<sub>2</sub>O dikenal juga sebagai gas ketawa karena adanya efek euforia yang dihasilkan ketika menghirupnya. Gas dinitrogen monoksida ini juga kadang digunakan dalam duniaomotif sebagai penambah kecepatan dan digunakan pula dalam penyelaman untuk mempersiapkan para penyelam terhadap efek *nitrogen narcosis*.

Gas N<sub>2</sub>O banyak dihasilkan oleh mikroorganisme dalam tanah, dan merupakan produk samping dari penggunaan nitrogen di pertanian, seperti penanganan limbah binatang dan penyuburan tanah dapat memicu bakteri untuk memproduksi N<sub>2</sub>O lebih banyak serta dihasilkan juga dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil. N<sub>2</sub>O merupakan gas rumah kaca keempat terbesar di atmosfer setelah CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan uap air. Gas ini memberikan kontribusi dalam pemanasan global karena N<sub>2</sub>O sangat sulit terurai di atmosfer dan memiliki nilai GWP (*global warming potential*) yang cukup besar.

*ALGAS National Workshop Proceedings* (1997) menunjukkan dampak gas rumah kaca terhadap pemanasan global sangat bervariasi. Untuk jumlah yang sama, gas rumah kaca yang berbeda mempunyai dampak pemanasan global yang berbeda. Untuk membandingkan dampak yang bervariasi ini, digunakanlah indeks potensi pemanasan global (*Global Warming Potential=GWP*). Indeks GWP menggunakan CO<sub>2</sub> sebagai tolok ukur. Hal ini berarti, GWP ditentukan dengan membandingkan efek radiasi gas rumah kaca di atmosfer terhadap CO<sub>2</sub> dalam jumlah yang sama. Tabel 2.1 menunjukkan *Global Warming Potential* untuk beberapa GRK terhadap CO<sub>2</sub> dalam waktu 100 tahun.

**Tabel 2.1** *Global Warming Potential* untuk beberapa GRK terhadap CO<sub>2</sub> dalam waktu 100 Tahun

| Gas              | Global Warming Potential (GWP) |
|------------------|--------------------------------|
| CO <sub>2</sub>  | 1,0                            |
| CH <sub>4</sub>  | 24,5                           |
| N <sub>2</sub> O | 320,0                          |
| CO               | 3,0                            |
| NO <sub>x</sub>  | 290,0                          |

Sumber: *ALGAS National Workshop Proceedings*, 1997

Dari indeks GWP ini diketahui bahwa 1 ton emisi gas N<sub>2</sub>O dampaknya sama dengan 320 ton emisi gas CO<sub>2</sub>, sehingga bisa memberi efek negatif terhadap lingkungan. Selain N<sub>2</sub>O, gas nitrogen oksida lain juga memberikan dampak terhadap pemanasan global secara tidak langsung melalui kontribusi terhadap produksi ozon *troposferik* pada proses pembentukan *smog* (*ALGAS National Workshop Proceedings*, 1997).

## 2.2 Biofilter

Salah satu teknologi dalam mereduksi gas polutan adalah biofilter. Biofilter merupakan teknologi alternatif yang lebih baik untuk segi efisiensi biaya dari teknologi sebelumnya dalam menghilangkan gas polutan dengan media filter berbahan alam. Biofilter adalah reaktor dengan material padat sebagai bahan pengisi dimana mikroba terjerat secara alami didalamnya dengan membentuk *biofilm* untuk mendegradasi gas polutan. Teknologi biofilter merupakan salah satu pengolahan biologi kering yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk mereduksi gas-gas polutan yang tidak diharapkan (Manik, 2005)

Dalam biofilter, aliran udara yang terkontaminasi dialirkan melalui suatu medium berpori dimana kontaminan dalam aliran udara akan teradsorpsi oleh biofilm. Untuk memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme, maka medium filter harus mengandung nutrisi yang cukup seperti fosfat, nitrogen, dan sulfur. Zat-zat di udara terserap dan dikonsumsi oleh mikroorganisme. Selain itu, biofilter dapat mendukung pertumbuhan biologi dari mikroorganisme yang terdapat di dalam media berpori. Mikroorganisme tersebut tinggal di dalam *biofilm*, yang mengelilingi permukaan medium filter. Selama proses biosorpsi, aliran udara yang terpolusi dialirkan melalui biofilter dan polutan diadsorpsi ke

dalam media filter. Gas kontaminan didifusikan ke dalam biofilter dan diadsorp ke dalam biofilm. Ini memberikan kesempatan bagi mikroorganisme untuk mendegradasi polutan (Seodomo, 1988).

Partikel-partikel dari media filter dikelilingi oleh suatu lapisan biologi basah disebut *biofilm*. Penyisihan gas-gas polutan dalam biofilter merupakan hasil akhir dari interaksi antara dua fenomena yaitu proses fisik-kimia dan biologi. Proses penyisihan secara biologi didasarkan pada kapasitas oksida gas oleh mikroorganisme. Mikroorganisme menggunakan medium filter sebagai substratnya dan substansi filter sebagai nutrient dan pembangunan sel. Mikroorganisme tersebut dapat mengoksidasi gas-gas polutan yang terlarut dalam *biofilm*. (Seodomo, 1988).

Proses fisik-kimia mencakup adsorpsi dan absorpsi pada dan di dalam media filter. Pada proses ini, kelembapan dan keasaman (pH) media yang sangat berpengaruh terhadap perkembangan mikroorganisme sementara tekanan dan temperatur yang sangat berpengaruh terhadap optimalisasi proses (Manik, 2005). Mikroorganisme yang ada di dalam biofilter akan tumbuh dan berkembang biak membentuk *biofilm*. Semakin banyak *biofilm* yang terbentuk maka proses pendegradasi zat-zat pencemar dapat lebih baik. Dan gas polutan yang terdegradasi lebih banyak (Purnamasari, 2008)

Desain biofilter berdasarkan pada laju alir volumetrik udara yang akan diolah, kontaminan udara spesifik, konsentrasi, karakteristik media, ukuran biofilter (area), kontrol kandungan air, perawatan, dan biaya. Efektivitas biofilter tergantung pada aktivitas populasi mikroba dan jenis pengayaan (*enrichment*) yang dilakukan selama tahap inokulasi. Selain itu efisiensi biofilter juga dipengaruhi oleh material yang digunakan sebagai media filter dan faktor-faktor lain seperti transfer massa, aliran gas, kelembapan, masa inkubasi dan lain sebagainya.

Kinerja sistem biofilter dapat dinilai berdasarkan beberapa hal berikut (Manik, 2005):

1. Laju atau kapasitas degradasi maksimum (g-senyawa polutan/kg-media kering/hari).

2. Kecepatan tercapainya kondisi aklimatisasi mikroba. Parameter ini akan menunjukkan kinerja dari bioavailabilitas konsorsium mikroba yang dikembangkan untuk mendegradasi gas polutan. Semakin cepat masa adaptasi mikroba (*log phase*), maka kinerja biofilter akan semakin baik.
3. Kemampuan mempertahankan rasio degradasi gas (efisiensi degradasi) dalam waktu yang lama. Rasio degradasi polutan gas dari biofilter umumnya di atas 95% dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang relatif lama.
4. Kemampuan bahan pengisi dalam mempertahankan kondisi pH, temperatur dan kadar air. Kemampuan ini menggambarkan kinerja biofilter terhadap fluktuasi beban polutan gas yang tinggi, kurangnya humidifikasi dan masa tidak terpakainya biofilter akibat fluktuasi proses produksi pada industri.

### 2.2.1 Terminologi Biofilter

Terminologi biofilter dikaitkan dengan mekanisme biofilter itu sendiri, karena biosorpsi banyak berkaitan dengan proses fisika kimia, mikrobiologi, matematika dan banyak terminologi yang berkaitan didalamnya. Berikut ini beberapa terminologi yang berkaitan dengan biosorpsi (Devinny et al., 1999) :

○ ***EBRT (Empty Bed Residence Time)***

*EBRT (Empty Bed Residence Time)* dapat didefinisikan sebagai volum total kolom biofilter kosong dibagi dengan laju alir udara kontaminan. *EBRT* merupakan bentuk umum yang digunakan untuk mendeskripsikan biofilter karena dapat digunakan dalam memperkirakan ukuran filter untuk laju alir udara yang diberikan.

$$EBRT = \frac{V_f}{Q} \quad (2.1)$$

dengan:  $V_f$  = volum kolom biofilter kosong ( $m^3$ )

$Q$  = laju alir udara kontaminan ( $m^3/s$ )

Waktu tinggal (*residence time*) sebenarnya, yang merupakan waktu udara berada di dalam kolom biofilter, dapat didefinisikan sebagai volum total kolom biofilter dikalikan dengan porositas medium filter, lalu dibagi dengan laju alir udara:



$$\tau = \frac{V_f \times \theta}{Q}$$

(2.2)

dengan:  $\tau$  = waktu tinggal sebenarnya (s)

$\theta$  = porositas = volum ruang kosong/ volum medium filter

o **Loading Massa**

Laju *loading* massa (baik permukaan maupun volumetrik) adalah massa udara terkontaminasi yang memasuki biofilter setiap unit area atau volum pada medium filter per satuan waktu. Jika aliran tetap konstan selama berada dalam kolom, *loading* massa sepanjang panjang kolom medium filter akan menurun sebagai penanda udara kontaminan telah tereduksi. *Loading* massa secara menyeluruh pada sebuah sistem dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

*Loading* Massa (permukaan):

$$= \frac{Q \times C}{A} \quad (2.3)$$

*Loading* Massa (volumetrik):

$$= \frac{Q \times C}{V_f} \quad (2.4)$$

dengan: C = konsentrasi inlet ( $\text{g/m}^3$ )

### 2.2.2 Karakteristik Performa Biofilter

Kinerja biofilter dapat diketahui melalui penentuan karakteristik performa biofilter. Berikut ini adalah parameter untuk menentukan kinerja biofilter (Devinny et al., 1999):

o **Efisiensi Reduksi/ Removal Efficiency (RE)**

Efisiensi reduksi pada biosorpsi digunakan untuk mendeskripsikan hasil kerja suatu biofilter. RE (*Removal Efficiency*) adalah fraksi kontaminan yang dapat direduksi oleh biofilter dan dapat ditinjau sebagai suatu persentase.

*Removal Efficiency*:

$$= \left( \frac{C_i - C_o}{C_i} \right) \times 100\% \quad (2.5)$$

dengan :  $C_i$  = konsentrasi kontaminan yang masuk ( $\text{ppmv}$ ,  $\text{g m}^{-3}$ )

$C_o$  = konsentrasi kontaminan yang keluar (ppmv,  $g\ m^{-3}$ )

o **Kapasitas eliminasi**

EC (*Elimination Capacity*) adalah massa kontaminan yang terdegradasi per satuan volum medium filter per satuan waktu. Tipe unit untuk kapasitas eliminasi adalah jumlah gram polutan per  $m^3$  dari medium filter setiap jam. Secara keseluruhan EC (*Elimination Capacity*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Elimination Capacity} = \frac{(C_i - C_o) \times Q}{V} \quad (2.6)$$

Metode biofilter baik untuk dikembangkan karena menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan dengan metode tradisional dalam mengontrol zat polutan udara dengan konsentrasi rendah. Biofilter memberikan porositas yang tinggi, memiliki ketersediaan nutrisi yang tinggi, kapasitas *buffering* yang tinggi untuk mempertahankan pertumbuhan mikrobial, biaya investasi dan operasionalnya rendah, stabil dalam waktu yang relatif lama dan memiliki daya penguraian/pengolahan yang tinggi. Bahan *packing* yang sering digunakan adalah *peat*, kompos, karbon aktif, tanah, *heather*, serpihan kayu, batu lava dan sabuk kelapa. Bahan-bahan tersebut mengandung sejumlah nutrisi yang bagus untuk pertumbuhan mikroba sehingga penambahan nutrisi tidak terlalu diperlukan untuk pemakaian yang terlalu tidak lama (kurang dari 3 bulan) (Manik, 2005).

### 2.2.3 Parameter yang Mempengaruhi Kinerja Biofilter

Berikut merupakan parameter-parameter penting yang akan menentukan efisiensi reduksi gas polutan yang dihasilkan pada biosorpsi :

#### 2.2.3.1 Derajat Keasaman (pH)

Untuk memperoleh kinerja optimum dari biofilter maka rentang pH medium filter harus diperhatikan, karena mikroorganismenya mempunyai rentang pH tertentu untuk mendukung pertumbuhan dan aktivitasnya. Tidak semua medium filter yang digunakan mempunyai pH netral, beberapa diantaranya bersifat *buffer* yang diperlukan untuk mendapatkan kondisi optimum terutama untuk mendegradasi gas polutan yang mengandung klorin, sulfide, dan ammonia. Pada berbagai penelitian menunjukkan bahwa sifat *buffer* tanah

lebih baik dibandingkan dengan kompos yang memiliki kemampuan *buffer* 5 kali lebih besar dari serpihan kayu/ kulit kayu (Kennes & Thalasso, 2005), pH optimum berkisar antara 6,5 – 7,5 sedangkan pada pH > 8,5 dan pH < 5, kecepatan mikroorganisme akan menjadi turun, sehingga efisiensi kurang optimal (Ottograft et al., 1992). Untuk H<sub>2</sub>S dapat teroksidasi pada pH asam oleh mikroorganisme seperti *Thiobacillus* (Ravichandra et al., 2009).

#### **2.2.3.2 Kelembapan (Moisture)**

Kelembapan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme dan turut memberikan kontribusi pada kapasitas *buffer*. Kelembapan optimal bervariasi terhadap medium filter yang berbeda, tergantung pada area permukaan medium dan porositasnya. Kelembapan dalam media filter sebaiknya berkisar antara 40 – 60 %. Kelembapan yang kurang dapat menyebabkan terjadinya *channeling* dan dapat menyebabkan kekurangan kadar air bagi mikroorganisme serta mengakibatkan terjadinya laju penurunan biodegradasi polutan. Dan sebaliknya kelembapan yang tinggi menyebabkan transfer oksigen terganggu, polutan *hidrofobik* ke dalam *biofilm*, munculnya zona anaerobik dalam medium filter, laju reaksi terhambat, terjadi tekanan balik karena pengurangan volume ruang kosong dan gas *channeling* dalam medium filter.

#### **2.2.3.3 Temperatur**

Untuk proses biosorpsi, temperatur operasi harus dijaga pada kondisi konstan, karena laju pertumbuhan mikroorganisme dan jenis spesies dalam komunitas mikrobial sangat dipengaruhi oleh temperatur. Temperatur biofilter dipengaruhi oleh temperatur aliran udara masuk dan juga oleh reaksi biologis secara eksotermik pada medium filter. Sebagian besar aplikasi biofilter terjadi pada temperatur *mesofilik* yaitu berkisar antara 25°C – 40°C, dengan temperatur 35°C–37°C dianggap sebagai temperatur optimum (Swanson et al., 1997). Meskipun kadang-kadang terjadi pula temperatur *psychofilik* (temperatur rendah) dan *thermofilik* (suhu tinggi). Proses reaksi eksotermis juga akan mempengaruhi suhu karena akan menghasilkan panas, disamping itu juga dipengaruhi oleh kondisi cuaca (suhu lingkungan) dan suhu dari gas masuk.

#### **2.2.3.4 Beda Tekanan (*Pressure Drop*)**

Pada proses biofilter, *pressure drop* sangat dipengaruhi oleh kelembapan, medium filter yang digunakan dan laju alir gas polutan. Terdapat hubungan yang mendekati linear antara peningkatan *pressure drop* terhadap peningkatan laju alir, dengan kata lain *pressure drop* akan semakin meningkat apabila laju alir gas polutan besar. Partikel yang lebih kecil akan mempunyai *pressure drop* yang tinggi dan sebaliknya. Jika *pressure drop* semakin kecil maka waktu tinggal akan semakin berkurang, sehingga akan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme yaitu menjadi lambat dan akhirnya mempengaruhi efisiensi penurunan polutan organik. Di samping itu kandungan moisture juga sangat mempengaruhi *pressure drop* sampai 100% (Ottengraft et al., 1992).

Secara umum, terdapat hubungan yang mendekati linear antara peningkatan *pressure drop* terhadap peningkatan laju alir udara (Allen & Yang, 1991), yang menjadi eksponensial pada laju alir yang semakin tinggi (Morgan et al., 2001). Sebagai tambahan, pada laju alir udara tertentu, *pressure drop* akan meningkat secara eksponensial terhadap peningkatan biomassa (Morgan et al., 2001) dan terhadap penurunan ukuran partikel, khususnya untuk ukuran partikel yang lebih kecil dari 1 mm. Peningkatan eksponensial terhadap biomassa berarti *pressure drop* keseluruhan yang lebih rendah akan diperoleh jika pertumbuhan biomassa didistribusikan di keseluruhan medium, dan tidak hanya pada daerah tertentu (Morgan et al., 2001). Kompaksi medium filter selama jangka waktu penggunaan yang panjang dan karena kelebihan pemberian air juga akan menyebabkan terjadinya kenaikan *pressure drop* (Ravichandra et al., 2009).

#### **2.2.3.5 Kandungan Oksigen**

Oksigen merupakan suatu parameter operasi yang penting untuk proses biosorpsi, karena kebanyakan mikroorganisme yang digunakan dalam proses biosorpsi bersifat aerobik dan membutuhkan oksigen untuk metabolisme. Bakteri *heterotrofik aerobik* yang ada dalam medium filter membutuhkan paling sedikit 5-15% oksigen pada aliran gas masukan untuk bertahan hidup. Secara umum, bagi kebanyakan sistem kontrol polusi udara, kandungan

oksigen biasanya tidak menjadi masalah karena jumlahnya yang banyak pada aliran udara masuk dan relatif sedikit pada *biofilm*.

#### **2.2.3.6 Mikrobiologi pada biofilter**

Menurut Bohn (1996) populasi mikrobiologi pada biofilter sekitar 1 milyar mikroorganisme per gram material organik. Beberapa kelompok mikroorganisme tersebut diketahui termasuk mikroorganisme pereduksi polutan udara pada biofilter, termasuk bakteri, *actinomycetes* dan jamur (Ottengraf, 1987). Komposisi kelompok mikroba dan kondisi hidup mikroba tersebut tergantung pada kondisi fisika dan kimia pada medium filter. Keanekaragaman mikroorganisme tersebut adalah suatu fungsi dari komposisi aliran gas yang masuk dan medium filter yang digunakan. Medium filter alami seperti kompos mengandung sejumlah jenis mikroorganisme yang cukup untuk biodegradasi kontaminan. Pada tahap awal, dibutuhkan waktu bagi mikroorganisme untuk beradaptasi yaitu waktu yang dibutuhkan selama periode aklimatisasi pada mikroorganisme tersebut. Efisiensi dalam proses biofilter umumnya ditingkatkan oleh pertumbuhan mikroorganisme yang aktif saat fase adaptasi berlangsung.

Populasi mikroorganisme akan tumbuh dari energi yang berasal dari transformasi polutan udara yang mengalir pada biofilter. Dengan kata lain, pertumbuhan mikroorganisme tersebut merupakan hasil dari metabolisme polutan. Adapun mineral yang dibutuhkan oleh mikroorganisme mengandung N, S, P, Ca, K, Na, Mg, Fe, Co, dan Zn (Manik, 2005).

#### **2.2.3.7 Nutrisi**

Medium filter harus mengandung nutrisi yang dibutuhkan mikroorganisme. Mikroba memerlukan makanan dengan nutrisi seimbang untuk dapat bertahan hidup dan memperbanyak diri. Kandungan nutrisi yang cukup harus tersedia, agar diperoleh performa yang baik dari biofilter. Oleh karena itu selain karbon dan energi dari degradasi kontaminan, mikroba juga memerlukan nutrisi utama untuk memperpanjang hidup. Pembusukan medium filter organik dapat menyediakan nutrisi utama tersebut. Namun, jika medium filter tidak dapat menyediakan beberapa nutrisi dengan baik, maka mikroba akan berhenti tumbuh dan mati, seperti halnya pada medium sintetik

*rockwool*. Medium ini tidak mengandung kebutuhan nutrisi yang sesuai, sehingga diperlukan adanya penambahan nutrisi secara terpisah selama operasi. Nutrisi yang ditambahkan dapat berupa nutrisi alami dan nutrisi sintetik.

Nutrien yang dibutuhkan mikroorganisme berupa senyawa organik, senyawa anorganik (mineral), dan vitamin untuk mensintesis komponen sel dan sebagai sumber energi. Unsur makro yang dibutuhkan oleh mikroorganisme adalah: karbon, belerang, nitrogen, dan fosfor. Sedangkan unsur mikro yang diperlukan dalam jumlah kecil adalah ion-ion logam seperti:  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , dan  $Fe^{2+}$  yang berfungsi sebagai kofaktor. Selain itu, mikroorganisme juga membutuhkan vitamin yang banyak berfungsi koenzim (Jamaran et al., 1995).

#### **2.2.3.8 Medium Filter**

Dalam biofilter, pemilihan medium filter sebagai tempat hidup mikroorganisme, merupakan hal yang sangat penting untuk mendukung kehidupan mikroorganisme. Menurut Shareefdeen dan Singh (2005), medium filter merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi kinerja biofilter. Kinerja optimum dari biofilter dapat diperoleh dengan mengoptimalkan: area permukaan untuk *biofilm*, kestabilan fisik jangka panjang, penurunan tekanan yang rendah, retensi kelembapan yang baik, kapasitas *buffer* pH yang baik dan ketersediaan nutrisi. Jenis medium filter juga akan mempengaruhi stabilitas jangka panjang dan kinerja biofilter (Kennes & Thalasso., 1998). Untuk itu perlu pertimbangan karakteristik fisika, kimia dan biologinya untuk mendapatkan medium filter yang baik (Kennes et al., 1998). Penggunaan medium filter yang tepat dapat mencapai biodegradasi yang optimum. Medium filter yang umum digunakan aplikasi biofilter adalah kompos, *peat*, dan serbuk kayu. Beberapa biofilter juga diisi adsorben seperti karbon teraktivasi. Karbon teraktivasi dapat mereduksi sejumlah kontaminan yang lolos selama masa aklimasi mikroorganisme (Govind, 1998), tetapi karbon teraktivasi pada operasi *steady-state* tidak dapat meningkatkan performansi biofilter. Sedangkan menurut Bohan, perlu

dipertimbangkan karakteristik fisika, kimia dan biologis untuk mendapatkan media filter yang baik (Kennes & Thalasso, 1998).

Sedangkan ciri – ciri medium filter yang baik (Govind, 2009) :

1. Memiliki fraksi kekosongan (*void fraction*) yang tinggi. Fraksi kekosongan dalam media sintetik harus besar (>80%). Hal ini memungkinkan biofilm untuk berkembang dan perkembangan dari biomassa tidak mudah untuk menyumbat media filter.
2. Luas permukaan/unit volume dari *bed* biofilter yang tinggi. Biofilm hanya dapat berkembang pada permukaan media pendukung.
3. Memiliki *pressure drop* yang rendah. Pada umumnya total *pressure drop* gas kurang dari 0,3 inch dari air.
4. Memiliki permukaan yang *hidrofilik*, untuk membantu menyerap air. Sangatlah penting untuk menjaga dan mempertahankan kandungan air dalam lapisan biofilm.
5. Memiliki harga yang murah dan terjangkau. Faktor ini merupakan faktor terpenting dalam memilih medium filter yang akan digunakan.

Penentuan bahan pengisi biofilter mutlak dilakukan. Karena bahan yang dipilih akan menjadi media tempat tumbuhnya mikroba, sehingga bahan pengisi dipilih yang bisa mendukung kehidupan bakteri.

Persyaratan untuk bahan pengisi/penyangga biofilter antara lain:

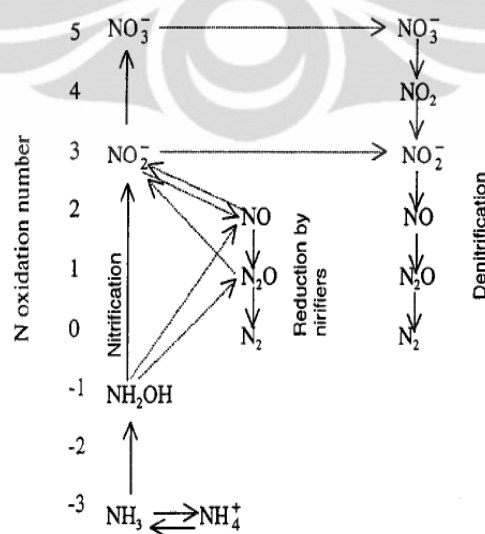
- Kapasitas menahan air yang tinggi (*Water Holding Capacity*).
- Porositas dan luas permukaan yang besar, baik untuk adsorpsi kontaminan maupun untuk pertumbuhan mikroba.
- Kemampuan untuk menyerap nutrisi atau polutan yang akan difiltrasi.
- Penurunan tekanan yang rendah pada berbagai kandungan air.
- Material yang digunakan relatif murah.
- Perubahan bentuk yang sedikit pada waktu penggunaan yang lama.
- Karakteristik fisik, seperti kestabilan fisik, mudah dalam penanganan dan mampu menyerap bau yang sesuai.

### 2.3 Metabolisme Nitrogen

Transformasi mikroba dari nitrogen ada 5 macam, yaitu:

1. Respirasi atau denitrifikasi, penggunaan senyawa nitrogen atau ion-ion sebagai terminal akseptor nitrogen yang memiliki kegunaan yang sama dengan oksigen.
2. Nitrifikasi, penggunaan senyawa nitrogen sebagai sumber energi.
3. Asimilasi, penggabungan senyawa nitrogen atau ion-ion ke dalam jaringan sel baru.
4. Fiksasi, konversi nitrogen molekular menjadi amonia.
5. Produksi amonia melalui deaminasi amina.

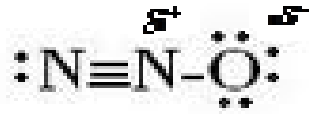
Nitrogen merupakan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan dalam jumlah besar, dan pada basis kering merupakan elemen ketiga yang paling banyak terdapat dalam jaringan. Sebagian besar spesies bakteri mampu mengasimilasi nitrogen pada berbagai jangkauan bilangan oksidasi, biasanya antara -3 ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) dan +5 ( $\text{NO}_3^-$ ). Nitrogen yang tergabung ke dalam senyawa sel seperti protein dan asam nukleat selalu berada dalam bilangan oksidasi -3. Jika nitrogen yang tersedia berada dalam bilangan oksidasi di atas -3, maka biasanya akan tereduksi melalui reaksi katalitik enzim. Sebagian besar nitrogen yang berada di alam ditemukan dalam bilangan oksidasi -3 atau +5, dan kebanyakan literatur mengenai metabolisme nitrogen menggambarkan situasi ini. Gambar metabolisme nitrogen secara keseluruhan yang menunjukkan titik dimana nitrifikasi dan denitrifikasi saling berhubungan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jalur metabolisme umum nitrogen  
(Hudepohl, 1999)



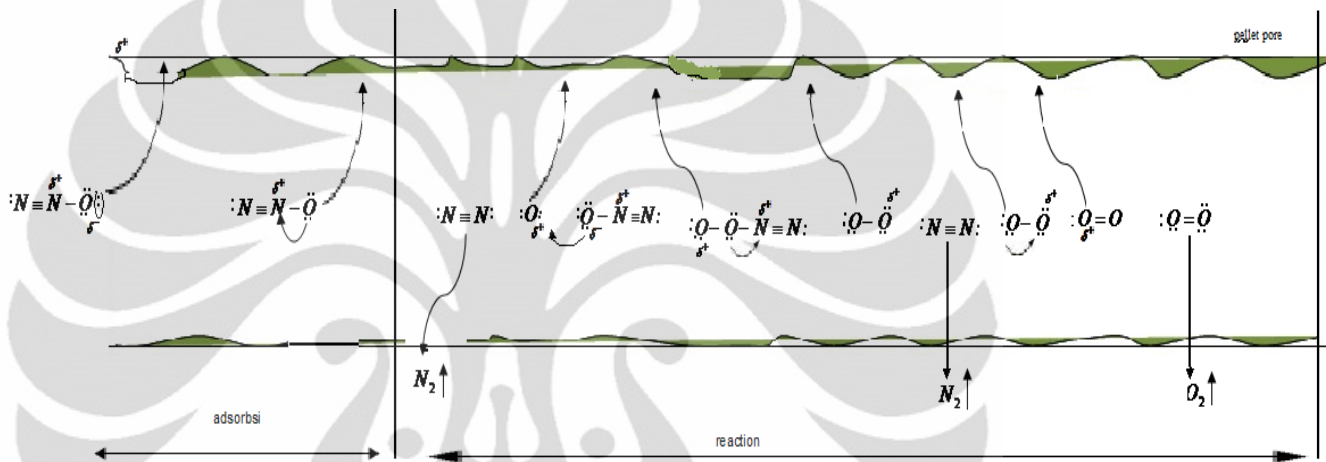
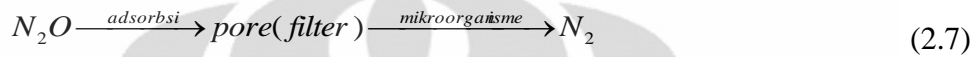
Dimana struktur kimia N<sub>2</sub>O adalah:



Gambar 2.2 Struktur Kimia N<sub>2</sub>O

(Widjanarko, 2010)

Mekanisme adsorbs pada pellet kompos kotoran kambing:

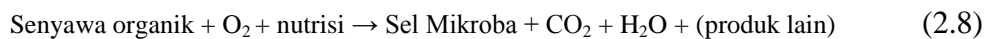


Gambar 2.3 Mekanisme Adsorbsi

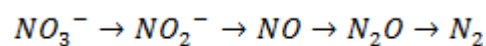
(Widjanarko, 2010)

### 2.3.1 Denitrifikasi

Denitrifikasi, tidak seperti reduksi asimilatif nitrogen, dilakukan oleh sejumlah bakteri tertentu. Konsep dari proses ini hampir sama dengan penggunaan oksigen, dan senyawa nitrogen teroksidasi mengambil tempat oksigen pada persamaan berikut:



Reaksi yang terlibat pada proses denitrifikasi masih belum dapat dimengerti sepenuhnya, namun NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N<sub>2</sub>O, dan NO telah diidentifikasi sebagai intermediet. Tahapan reaksi reduksi dapat dilihat pada persamaan berikut :



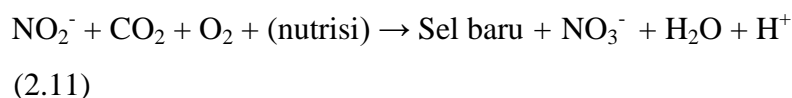
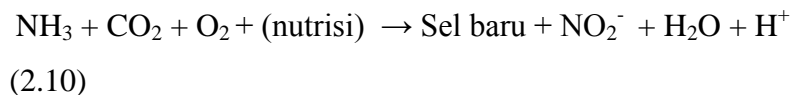
(2.9)

Bilangan oksidasi nitrogen berubah dari +5 menjadi +3 menjadi +2 menjadi +1 menjadi 0 dalam 4 langkah. Setiap intermediet dapat dilepas pada keadaan tertentu. Misalnya  $\text{NO}_2^-$  sering terakumulasi pada hari-hari awal operasi proses denitrifikasi, namun menghilang secara bertahap ketika reaksi menjadi setimbang.  $\text{NO}$  dan  $\text{N}_2\text{O}$  dapat dilepaskan sebagai hasil dari kondisi lingkungan yang bervariasi seperti pH rendah atau fluktuasi temperatur secara mendadak.

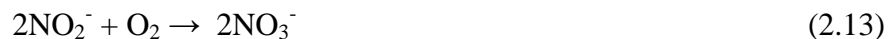
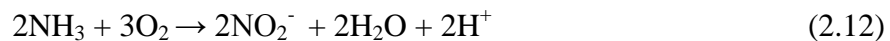
Penggunaan  $\text{NO}_3^-$  sebagai elektron akseptor menghasilkan energi yang lebih sedikit untuk pertumbuhan apabila dibandingkan oksigen. Hasilnya oksigen lebih disukai sebagai elektron akseptor dan senyawa nitrogen teroksidasi tidak digunakan dalam jumlah signifikan jika oksigen tersedia. Kondisi dimana konsentrasi oksigen rendah atau kekurangan oksigen dapat menyebabkan keadaan kompetitif bagi spesies bakteri untuk menggunakan nitrogen teroksidasi sebagai elektron akseptor. Pada keadaan tertentu, bakteri denitrifikasi menghasilkan enzim yang penting untuk melaksanakan proses reduksi.

### 2.3.2 Nitrifikasi

Kumpulan bakteri yang mampu mereduksi senyawa nitrogen (misalnya  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) sebagai sumber energi, dan  $\text{CO}_2$  sebagai sumber karbon, dalam proses dua tahap dikenal sebagai nitrifikasi. Tahap pertama, oksidasi dari amonia menjadi ion nitrit dibawa oleh 4 genus bakteri yang memiliki nama *Nitroso* sebagai bagian dari namanya (misalnya *Nitrosomonas europaea*, *Nitrosococcus mobilis*), sedangkan tahap kedua dibawa oleh 3 genus bakteri yang memiliki nama *Nitro* sebagai bagian dari namanya (misalnya *Nitrobacter*, *Nitrospira*) seperti ditunjukkan pada persamaan berikut.



Stoikiometri dari transformasi pada persamaan (2.11) dan (2.12) tidak diberikan karena bervariasi terhadap kondisi lingkungan. Akan tetapi, produksi sel selalu rendah pada kedua reaksi dan pendekatan terbaik diberikan pada persamaan (2.13) dan (2.14).



Nitrifikasi terjadi pada kondisi aerobik, dengan aktivitas optimal pada temperatur mesofilik dan netral terhadap pH alkalin, tanpa pertumbuhan atau aktivitas pada pH asam (Prosser, 1989). Pada kondisi kekurangan oksigen, bakteri nitrifikasi telah diamati dapat melaksanakan reaksi denitrifikasi yang melibatkan NO dan N<sub>2</sub>O pada tanah.

#### 2.4 Kompos Kambing Sebagai Medium Filter

Kompos merupakan hasil akhir dari suatu proses dekomposisi tumpukan sampah seperti tanaman dan bahan organik lainnya. Bahan baku pengomposan adalah semua material organik yang mengandung karbon dan nitrogen, seperti kotoran hewan, sampah hijauan, sampah kota, lumpur cair dan limbah industri pertanian (Djaswadi et al., 2001).

Komposisi hara pada masing-masing kotoran hewan berbeda tergantung pada jumlah dan jenis makanannya, serta jumlah kotoran (*litter*). Secara umum, kandungan hara dalam kotoran hewan jauh lebih rendah daripada pupuk kimia sehingga takaran penggunaannya juga akan lebih tinggi. Perkiraan kandungan unsur hara beberapa jenis hewan dan perbandingan komposisi elemen utama pada medium filter kompos kambing dan sapi.

Selain itu kompos juga memiliki komunitas mikroba yang kompleks dan memiliki kandungan nutrisi (organik nitrogen dan mikronutrisi lainnya) yang tinggi sehingga tidak memerlukan penambahan nutrisi (Pagans et.al., 2005). Umumnya kelompok bakteri yang terkandung dalam kompos atau *peat* dalam mereduksi polutan adalah spesies dari spesies dari genus *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Sphingomonas*, *Xanthomonas*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus*, *Xanthobacter*, *Clostridium* dan *Enterobacter* (Kennes et al., 2001). Mikroorganisme yang mungkin ada dalam kompos dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Sutanto, 2002).

Tabel 2.3. Organisme yang Aktif dalam Proses Pengomposan

| Kelompok Organisme | Organisme                                | Jumlah/gr kompos lembab |
|--------------------|--|-------------------------|
| Mikroflora         | Bakteri; Aktinomicetes; Kapang           | $10^8 - 10^9$           |
|                    | Fungi                                    | $10^5 - 10^8$           |
| Mikrofanuna        | Protozoa                                 | $10^4 - 10^8$           |
| Makroflora         | Jamur tingkat tinggi                     | $10^4 - 10^5$           |
| Makrofauna         | Cacing tanah, rayap, semut, kumbang, dll |                         |

Sumber: Sutanto, 2002

Penggunaan kompos sebagai medium filter karena nutrisi dari kompos dapat dibentuk melalui mineralisasi dan terdifusi ke dalam *biofilm* untuk menggantikan yang telah dikonsumsi oleh mikroorganisme. Walaupun demikian, kompos memiliki variasi rasio C:N tertentu dan yang lebih penting, beberapa kompos melepaskan seluruh nutrisinya dalam waktu beberapa minggu, sementara yang lain mempunyai laju pelepasan yang rendah tetapi dapat menyediakan nutrisi selama bertahun-tahun. Selain itu, dari hasil penelitian diketahui bahwa kompos memiliki kapasitas penyimpanan air yang baik, pH netral, dan nutrient. Penurunan tekanan pada kompos pada umumnya lebih tinggi daripada *peat*, dan menjadi persoalan pemadatan isian (Devinny et.al., 1999).

Kompos merupakan medium filter biofilter yang relatif mudah untuk didegradasi apabila dibandingkan dengan gambut dan karbon aktif. Selain itu kompos merupakan media yang telah digunakan secara ekstensif dalam beberapa tahun terakhir karena mereka memiliki komunitas mikroba kompleks yang mampu mendegradasi beberapa polutan, dan memiliki retensi air yang baik dan kandungan zat organik yang cocok. Kompos merupakan media yang murah dan banyak tersedia. Tambahan nutrisi biasanya tidak diperlukan karena kompos telah memiliki jumlah nitrogen organik dan mikronutrien lain (Pagans et.al., 2005)

Pupuk kandang secara kualitatif relatif lebih kaya hara dan mikrobia dibandingkan dengan limbah pertanian. Kadar nitrogen dari pupuk kambing adalah tinggi. Kadar airnya lebih rendah daripada pupuk kandang sapi oleh sebab itu perubahannya berlangsung cepat seperti pupuk kandang kuda. Kompos kambing memiliki kemampuan reduksi  $N_2O$  yang lebih tinggi daripada kompos sapi (Noviani, C. 2009). Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa

kompos berbasis kotoran kambing memiliki kemampuan reduksi N<sub>2</sub>O yang lebih tinggi daripada kompos berbasis kotoran sapi. Rasio C/N kompos berbasis kotoran kambing = 17,44, lebih tinggi dari kompos berbasis kotoran sapi =12,93 (Noviani, C. 2009).

## 2.5 Kompos Dalam Bentuk Pelet

Medium filter kompos dalam bentuk pelet akan meningkatkan kinerja biofilter dalam mereduksi gas polutan. Pelet berbentuk silinder dengan lubang di pusatnya yang rasio tinggi/diameternya kurang dari 1. Namun dalam beberapa kasus adapula pelet yang rasio tinggi/diameternya hingga 50-200%. Tujuan menggunakan medium filter dalam bentuk pelet adalah untuk mengurangi *pressure drop*. Keuntungan lain adalah dapat meningkatkan kadar energi metabolisme, menurunkan jumlah kompos yang tercecer, memperpanjang waktu penyimpanan, dan menjamin keseimbangan zat-zat nutrisi kompos (Ravichandra et al, 2009).

Karakteristik material yang dapat dibuat pelet antara lain memiliki ukuran partikel yang seragam, material memiliki kandungan moisture tertentu, partikel dapat mengisi cetakan, dapat menggumpal pada saat dipadatkan. Proses pembuatan pelet pada prinsipnya sama dengan proses pembuatan pil pada industri farmasi, dimana sejumlah bahan dicampur dengan sejumlah kecil binder (guna mempertahankan bentuk baru yang permanen) lalu dimasukkan ke dalam suatu cetakan yang sebelumnya telah diolesi sejumlah kecil *lubricant*, kemudian ditekan. Proses pengolahan pelet merujuk pada terdiri dari 3 tahap, yaitu pengolahan pendahuluan, pembuatan pelet, dan perlakuan akhir. Pelet dibuat dengan pengepresan uniaksial, pada proses ini diperlukan bahan pengikat (*binder*), seperti amilum, gelatin, gom arab, tragakan, derivat selulosa, dan polivinil pirolidon.

Medium filter yang berbentuk pelet berpori dengan adanya nutrisi tambahan memiliki kelebihan dan keuntungan di dalam penghilangan kontaminan-kontaminan dalam udara dibandingkan dengan medium filter konvensional seperti kompos, tanah, dan gambut (Govind, 1998).

Berikut ini adalah beberapa keuntungannya :

- Meningkatkan distribusi aliran udara dan sebagai pengatur kelembapan air dalam kolom filter dengan *pressure drop* yang rendah, serta meningkatkan proses performansinya.
- Mempertahankan pH medium filter (pengontrol pH).
- Meningkatkan kapasitas efisiensi dalam proses penghilangan kontaminan (>800ppmv).

## 2.6 State of The Art

Berbagai penelitian telah banyak dilakukan untuk mengkaji proses biosorpsi dengan menggunakan berbagai jenis medium filter dengan tujuan untuk mendegradasi gas polutan yang berbeda-beda.

### 2.6.1 Biosorpsi H<sub>2</sub>S dengan HBF (*Horizontal Biotrickling Filter*)

Penelitian yang dilakukan oleh Huiqi Duan, Lawrence Choon Chiaw Koe , Rong Yan (2004) untuk biosorpsi H<sub>2</sub>S menggunakan HBF (*Horizontal Biotrickling Filter*) dan medium filter yang digunakan adalah pelet karbon aktif biologis (BAC) diperoleh dari Calgon Karbon Corporation (CalgonAP460, Pittsburgh,Pa) yaitu lumpur aktif dengan kultur campuran bakteri pengoksidasi sulfida yaitu bakteri *Acidithiobacillus thiooxidans*. Fungsi utama dari karbon aktif adalah sebagai tempat tumbuh mikroorganisme dan sebagai penyangga beban yang fluktuatif. Proses biosorpsi dilakukan selama 120 hari dengan parameter operasi yang dianalisa seperti performa biofilter selama proses dan Gas Retention Time (GRT). Peralatan yang digunakan masih dalam skala laboratorium. Untuk spesifikasi fisika pada proses biosorpsi HBR dan kondisi operasi dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 dibawah ini:

Tabel 2.3 Spesifikasi Fisika pada Proses Biosorpsi HBR

| Kondisi   | Parameter                            |
|---|--------------------------------------|
| Nama komersil karbon  | Calgon AP460                         |
| Bakteri imobilisasi   | <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> |
| Berat karbon basah, W1 (g)                                  | 4.914                                |
| Berat karbon kering, W2 (g)                                 | 3.145                                |
| Kandungan air, $m = (W1 - W2) / W1$ (%)                     | 36                                   |
| Kapasitas adsorpsi H <sub>2</sub> S (Basis berat kering, %) | 5.5                                  |
| Kapasitas eliminasi selama 120 hari (Basis berat kering, %) | 22.1                                 |
| Dimensi kolom (cm)  | (15x15x10)x3 <sup>b</sup>            |
| Volume packing, V (l)                                       | 6.4                                  |
| Densitas, $d = W1 / V$ (kg/m <sup>3</sup> )                 | 768                                  |
| Luas area permukaan, m <sub>2</sub> /g                      | 928                                  |
| Luas area permukaan eksternal, m <sup>2</sup> /g            | 494                                  |
| Diameter pelet karbon, D (mm)                               | 4                                    |
| Space kolom   | 37                                   |
| Densitas partikel, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )              | 490                                  |

Sumber: Duan et al., 2004

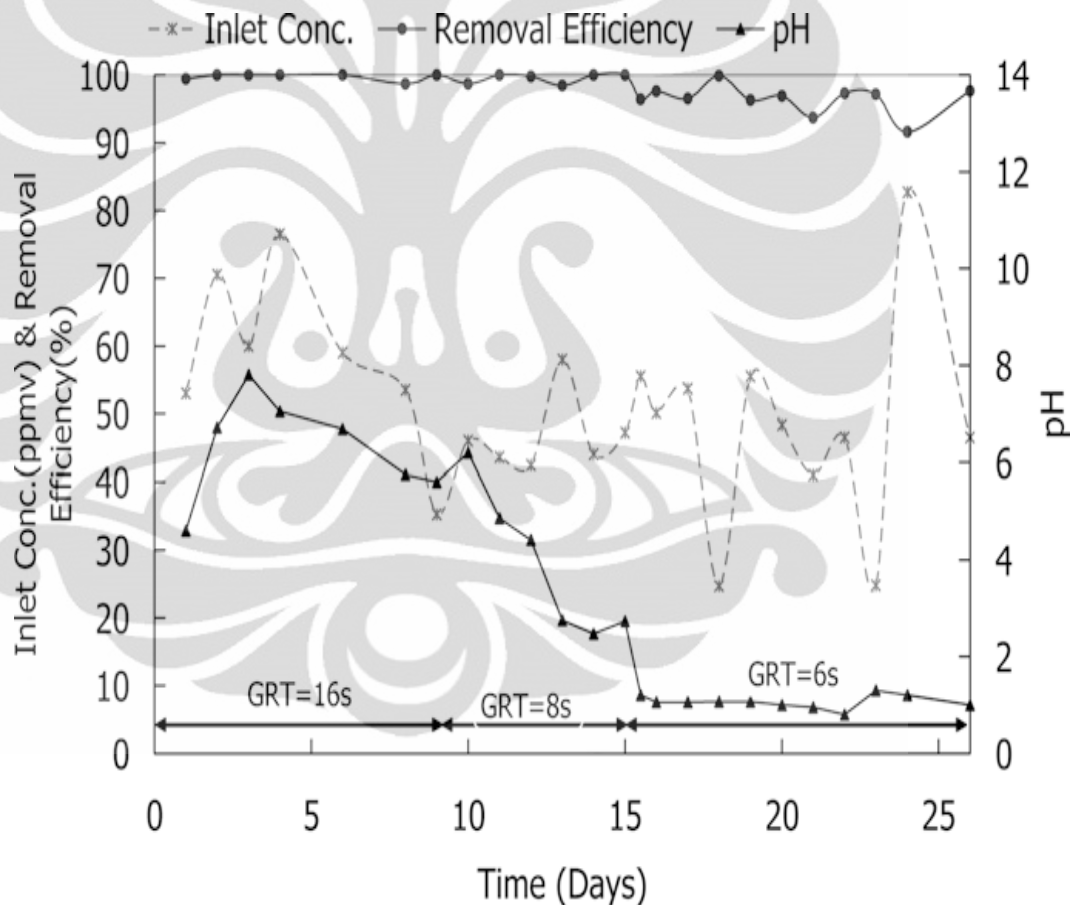
Tabel 2.4 kondisi operasi Biosorpsi HBF

| Parameter operasi                  | range               |
|------------------------------------|---------------------|
| Gas retention time (GRT)           | 4-16 s              |
| Konsentrasi Inlet H <sub>2</sub> S | 20-100 ppmv         |
| Laju Alir Gas                      | 24-192 l/min        |
| Perbandingan Gas Liquid            | 32-160              |
| Kecepatan Alir Liquid              | 0.02-0.09 cm/s      |
| Kecepatan Alir Gas                 | 0.018-0.071 m/s     |
| Resirkulasi Larutan                | 1 kali dalam 4 hari |
| pH Larutan                         | 1.0-2.0             |

Sumber: Duan et al., 2004

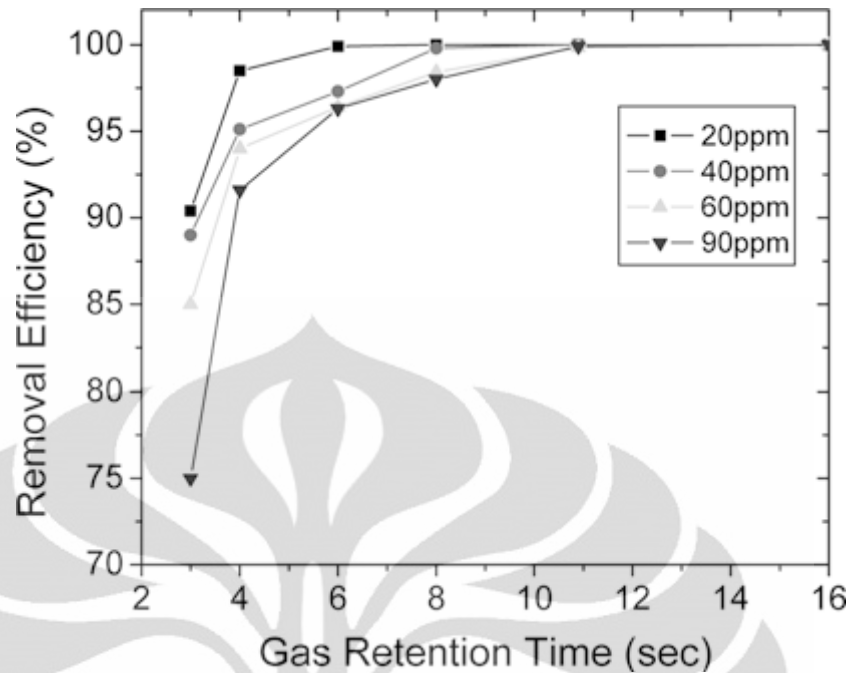
Konsentrasi gas, *pressure drop* dan beberapa parameter operasi lainnya diukur secara berkala dengan peralatan instrument. Kinerja biofilter HBF selama 120 hari dilaporkan pada Gambar 2.4 GRT ini menurun dari 16 s ke 6 s selama 30 hari pertama, dan terus di 4 s untuk sisa jangka waktu pengelolaan. Untuk 40 hari pertama proses biosorpsi dengan variasi konsentrasi gas inlet dari 20-100 ppmv tidak ada perubahan efisiensi yang signifikan. Terkecuali terjadi beberapa kali penurunan efisiensi yang dikarenakan *shock loading inlet* dan juga penurunan

nutrient pada medium filter. Selain itu, perubahan bobot inlet per satuan waktu berpengaruh pada tingkat efisiensi reduksi H<sub>2</sub>S. Dimana, dengan rata-rata massa inlet dibawah 100g H<sub>2</sub>S m<sup>-3</sup>h<sup>-1</sup>, sistem biosorpsi ini dapat mendegradasi sampai tingkat efisiensi di atas 90%, sedangkan rata-rata massa inlet di atas 100 – 130g H<sub>2</sub>S m<sup>-3</sup>h<sup>-1</sup>, efisiensi akan terus menurun secara berangsur-angsur. Untuk biofilter sistem HBF, pH sangat berpengaruh (dapat dilihat pada Gambar 2.5 RE turun dari 99,4% menjadi 88,5%) ini terjadi karena aktivitas mikroorganismenya terganggu. Populasi bakteri dalam biofilter asam menunjukkan kapasitas untuk menghilangkan H<sub>2</sub>S selama rentang pH yang luas (pH 1-7).



Gambar 2.4 Efisiensi Biosorpsi pada Variasi Konsentrasi Inlet, Waktu Proses dan pH (Duan et al., 2004)



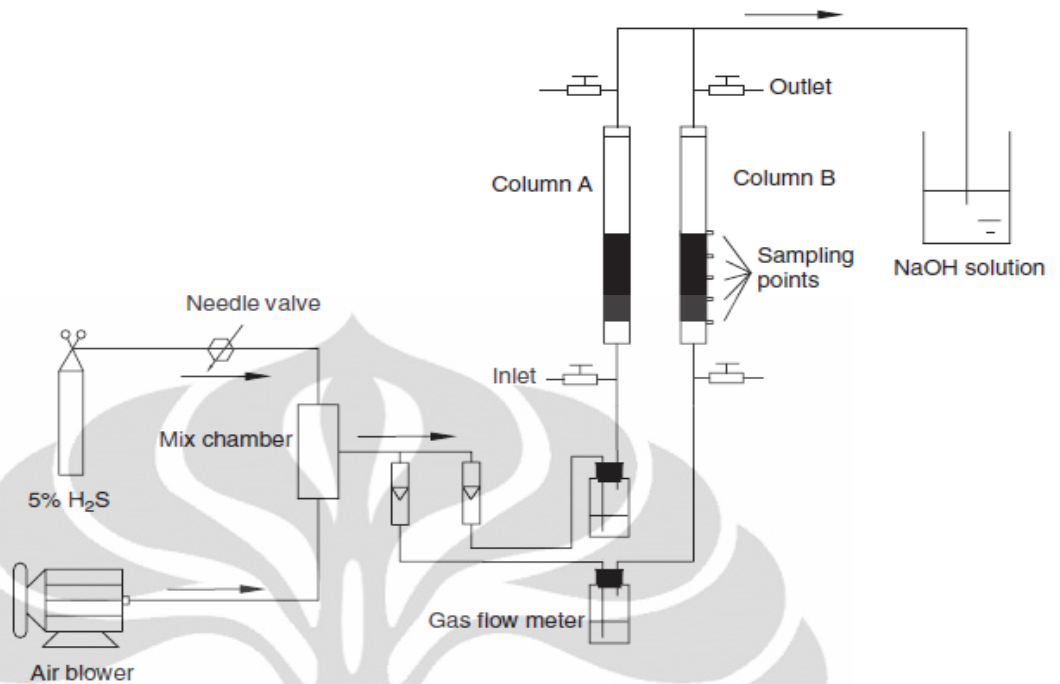


Gambar 2.5 Efisiensi Biosorpsi pada Variasi GRT (Duan et al., 2004)

Pada loading volumetrik  $900 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$  (92 ppmv konsentrasi inlet  $\text{H}_2\text{S}$ ), BAC menunjukkan kapasitas eliminasi maksimum ( $113 \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3\text{h}^{-1}$ ) dan removal efficiency 96%. Jika konsentrasi masuk dipertahankan sekitar 20 ppmv,  $\text{H}_2\text{S}$  yang tereduksi tinggi (lebih dari 98%) dicapai pada GRT dari 4 s, nilai sebanding dengan yang saat ini dilaporkan untuk biotrickling filter. Sebagai kesimpulan, biosorpsi sistem HBF berdasarkan BAC bisa menjadi alternatif yang layak dan ekonomis untuk menghilangkan  $\text{H}_2\text{S}$  dengan sistem *biotrickling*.

### 2.6.2 Biosorpsi $\text{H}_2\text{S}$ Menggunakan Medium Pelet Karbon Aktif

Pada penelitian ini Huiqi Duan, Lawrence C.C. Koe, Rong Yan, Xiaoge Chen (2006) membandingkan penggunaan medium filter karbon aktif biologis dengan medium filter karbon aktif murni tanpa imobilisasi bakteri. Material yang digunakan terbuat dari lumpur aktif dan tiosulfat (TS). Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Rancangan skematik proses biofilter penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram Skematik Proses Biofilter (Duan et al., 2006)

Sistem biofilter skala laboratorium dirancang dan dibangun dengan 2 kolom vertikal paralel ganda, yang dapat dioperasikan secara bersamaan dan dikendalikan secara terpisah.

- kolom A diisi dengan 5 ml mikroba dan 45 ml nutrient medium segar kemudian ditambahkan 50 ml larutan bakteri dengan konsentrasi sebesar  $1.96 \times 10^8 \text{ cfu mL}^{-1}$  dari atas kolom, untuk menenggelamkan medium filter setinggi 5 mm air di atasnya
- kolom B diisi dengan 5 ml mikroba dan 45 ml nutrient medium segar, namun pada kolom B ini, tidak ditambahkan 50 ml larutan bakteri melainkan 50 ml aquades untuk menggantikannya.

Untuk menganalisa parameter operasi digunakan peralatan instrument, seperti scanning elektron mikroskopi (SEM) digunakan untuk mengidentifikasi perkembangan biofilm pada permukaan medium filter.

Tabel 2.5 Spesifikasi Fisika pada Proses Biosorpsi H<sub>2</sub>S

| Kondisi  | Kolom              |                   |
|--|--------------------|-------------------|
|  | A                  | B                 |
| Bakteri imobilisasi  | Ya                 | tidak             |
| Berat karbon basah, W1 (g)                                 | 183.4              | 181.6             |
| Berat karbon kering, W2 (g)                                | 105.6              | 106.9             |
| Kandungan air, $m=(W1-W2)/W1$ (%)                          | 42.4               | 41.1              |
| Kapasitas adsorpsi H <sub>2</sub> S (Basis berat kering,%) | 20.08 <sup>a</sup> | 0.44 <sup>b</sup> |
| Diameter kolom (cm)  | 3.6                | 3.6               |
| Luas area permukaan karbon, m <sup>2</sup> /g              | 807                | 807               |
| Diameter pelet karbon (mm)                                 | 4                  | 4                 |
| Tinggi media dalam kolom (cm)                              | 20                 | 20                |
| Volume packing, V (l)                                      | 0.2                | 0.2               |
| Densitas, $d=W1/V$ (kg/m <sup>3</sup> )                    | 917                | 908               |
| Densitas karbon aktif, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )         | 490                | 490               |

Sumber: Duan et al., 2006

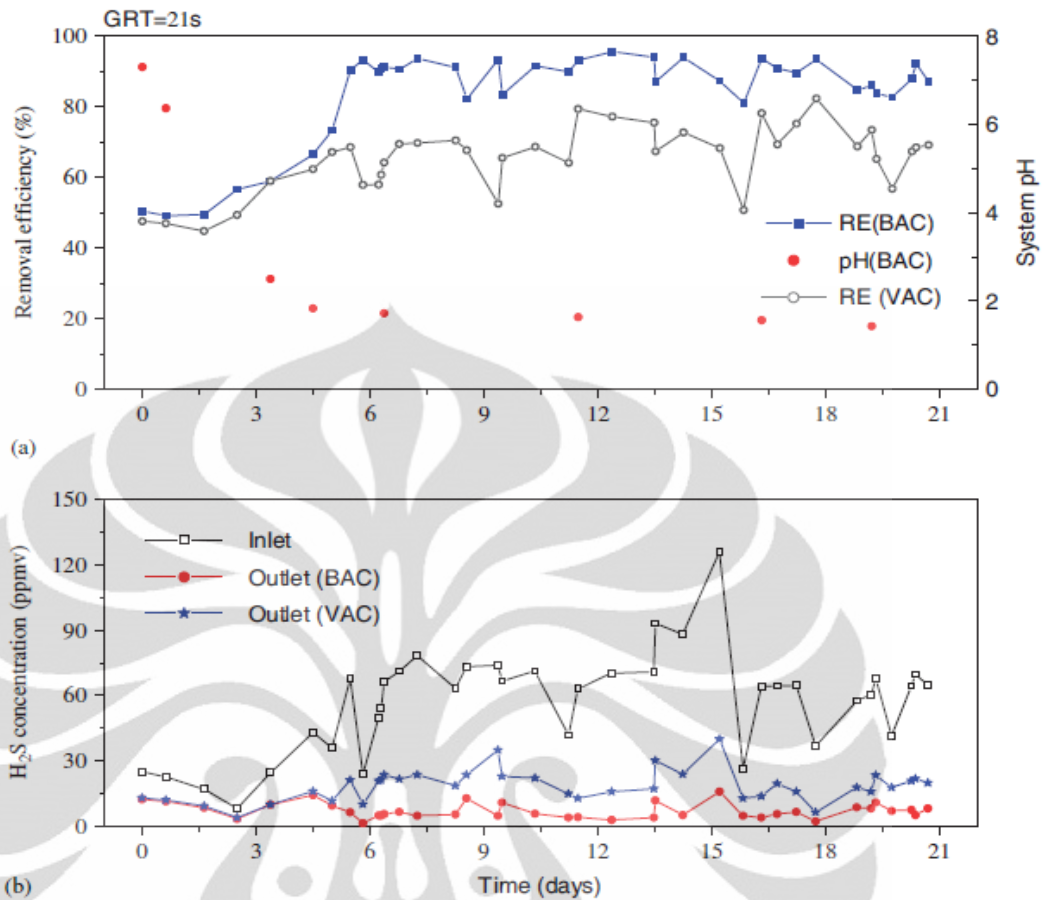
Tabel 2.6 Spesifikasi Fisika pada Proses Biosorpsi H<sub>2</sub>S

| Parameter operasi                  | Range        |
|------------------------------------|--------------|
| Gas retention time (GRT)           | 2-21 s       |
| Konsentrasi Inlet H <sub>2</sub> S | 5-100 ppmv   |
| Laju Alir Gas                      | 0.57-4 L/min |
| Perbandingan Gas Liquid            | 32-160       |
| Kecepatan Alir Gas                 | 0.95-10 cm/s |
| pH Larutan                         | 1.0-2.0      |

Sumber: Duan et al., 2006

Gas inlet yang dimasukkan ke dalam kolom biofilter, terlebih dahulu dihumidifikasi pada *humidification chamber* dan dilakukan pengirigasian dua kali sehari selama 10 menit. Penelitian dilakukan dibagi dalam 3 tahap dengan hasil analisa yaitu:

- Periode permulaan (1-21 hari). Kinerja biofilter untuk periode awal dapat dilihat pada Gambar 2.7:



Gambar 2.7 Efisiensi Biosorpsi pada Tahap Awal (a) Terhadap Variasi pH dan Retention Time; (b) Terhadap Konsentrasi Inlet dan Outlet VS Waktu Operasi (Duan et al.,2006)

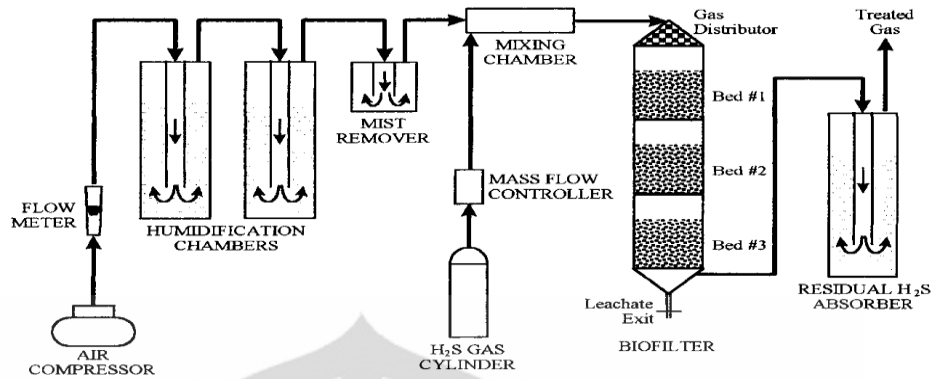
- Untuk operasi selama 21 hari RE dapat mencapai 90% setelah 1 hari operasi untuk kolom A (medium filter BAC) sedangkan untuk kolom B diperoleh RE 70%, sementara pH untuk kolom A menurun setelah 4 hari operasi. Berdasarkan data yang diperoleh, biofilter kolom A setelah 6 hari dan dapat menghasilkan efisiensi degradasi 94%.
- Periode jangka panjang. Untuk periode jangka panjang, pengukuran dilakukan pada hari ke-79, pada konsentrasi inlet  $100\text{g H}_2\text{S}/\text{m}^3\text{h}$  diperoleh efisiensi biofilter sebesar 97% dan untuk inlet volumetrik  $1600\text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$  ( $87\text{ ppmv}$  konsentrasi inlet  $\text{H}_2\text{S}$ ) diperoleh RE 94% ( $181\text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3\text{h}$ ) pada medium filter BAC.
- BAC vs. virgin activated carbon

Dilakukan analisa pada hari ke-34, dimana RE untuk kolom A (medium filter BAC) sebesar 99% sedangkan untuk kolom B (karbon murni) mendegradasi H<sub>2</sub>S 0,49wt% ( berat basah) dan kolom A 20,08% berat basah. Maka dapat disimpulkan bahwa medium filter BAC baik digunakan untuk mendegradasi gas polutan dan dapat memperpanjang masa hidup karbon aktif.

### **2.6.3 Biosorpsi Hidrogen Sulfida dengan Kompos Berbentuk Pellet**

Biosorpsi Hidrogen Sulfida dengan kompos berbentuk pellet, merupakan penelitian yang dilakukan oleh Ana Elias, Astrid Barona<sup>1</sup>, F. Javier Rfos, Anje Arreguy, Miguel Munguira, Javier Penas dan J. Luis Sanz (2000) yang bertujuan untuk mengetahui kinerja dari medium filter kotoran babi dicampur dengan serbuk gergaji dalam bentuk pellet dalam mendegradasi gas polutan H<sub>2</sub>S. Sistem biosorpsi yang digunakan adalah skala laboratorium dan kapasitas bioreaktor sebesar 7 liter dan ketinggian serta diameter masing-masing 1 m dan 10 cm. EBRT adalah 27 s, volume medium filter sebesar 5,9 liter. Desain reaktor dibagi menjadi 3 modul. Sedangkan pellet dibentuk dengan kompresi mekanik tanpa penambahan bahan kimia. Pellet yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 6,3 – 8 mm dan panjang antara 20 dan 80 mm. kompos disimpan dalam kantong plastik tertutup pada suhu ruang untuk menjaga materi tetap dalam kondisi lembab.

Dalam penelitian ini dilakukan penambahan larutan nutrisi. Dan laju alir inlet gas H<sub>2</sub>S adalah 10-50 g H<sub>2</sub>S m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> dan dioperasikan lebih dari 360 jam operasi dan 140 jam untuk memastikan aklimasi mikrobiologi terhadap kontaminan. Ada tiga parameter yang diukur selama operasi, yaitu suhu, kadar air dan kadar H<sub>2</sub>S di aliran gas inlet dan outlet. Suhu diukur dalam tiga modul reaktor sedikit bervariasi antara 20 dan 22°C selama waktu operasi. Suhu sepanjang tiga modul hanya berbeda sebesar 1,5°C. Modul pertama (di bagian atas reaktor) mencapai suhu sedikit lebih tinggi dari yang lain, sebagai akibat dari kandungan massa H<sub>2</sub>S yang lebih tinggi, sehingga aktivitas mikrobiologi lebih besar.



Gambar 2.8 Biosorpsi Hidrogen Sulfida dengan Kompos Berbentuk Pellet

(Elias et al., 2000)

Kadar air menurun selama 190 jam pertama waktu operasi, yang merupakan bukti aktivitas degradasi mikroba. Setelah 190 jam, kadar air pada modul 1 tetap konstan pada nilai 12%, yang agak rendah, meskipun ada perubahan dalam efisiensi removal diamati. Selama periode operasi ini, udara yang disediakan adalah 80% air jenuh. Untuk memperoleh tingkat yang kadar air lebih tinggi dalam biofilter, air deionisasi ditambahkan ke ruang humidifikasi setelah 250 jam operasi sehingga aliran udara dari inlet sebesar 100% air jenuh. Setelah penambahan ini, tingkat kadar air meningkat menjadi 17% pada medium filter 1 dan 25% medium filter 3.

Konsentrasi inlet  $H_2S$  ditingkatkan sepanjang waktu, dan untuk memastikan pengoperasian yang stabil, sistem irigasi dilakukan pada inlet dari medium atas. tingkat kelembapan diperoleh untuk masing-masing medium 1, 2 dan 3 masing – masing adalah 35, 39 dan 57%.

Dan hasil yang diperoleh nilai pH sepanjang waktu operasi tidak bervariasi secara signifikan (antara 8 dan 8,8), yang menunjukkan kapasitas *buffer* alami dari keseluruhan sistem. Akibatnya, tidak ada bahan kimia yang diperlukan untuk penyangga produksi asam. Namun demikian, setelah periode irigasi, nilai pH menurun pada ketiga modul mencapai pH 7,5 dicapai pada modul ketiga, yang terkait dengan adanya senyawa asam dari modul atas. Penurunan pH, akibat dari irigasi dengan fakta bahwa laju beban  $H_2S$  dalam aliran nutrisi meningkat sampai  $40 \text{ g } H_2S \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ , mengakibatkan penurunan efisiensi penyisihan hingga 90%. Namun, keterbatasan dalam efisiensi penyisihan pada akhir periode percobaan juga bisa berkaitan dengan sulfat akumulasi, yang dikenal untuk menghambat eliminasi hidrogen sulfide.

Kesimpulan dari hasil yang diperoleh adalah efisiensi mencapai 90% pada aliran gas inlet sebesar  $40 \text{ g H}_2\text{S m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ . Medium filter kompos kotoran babi yang dicampur dengan serbuk gergaji menunjukkan kinerja yang baik dalam proses bidegradasi gas polutan  $\text{H}_2\text{S}$ .

#### 2.6.4 Biosorpsi Senyawa VOC dan VIC (NOx) dalam Indoor Air Purification

Penelitian yang dilakukan oleh Michel Ondarts, Cecile Hort, Vincent Platel, Sabine Sochard (2010) menerapkan sistem biosorpsi untuk mereduksi gas polutan dalam ruangan yang mengandung VOC (butanol dan toluen), aldehid (formaldehid), dan VIC (nitrogen dioksida/ $\text{NO}_2$ ). Penelitian ini dilakukan selama 75 hari, dengan menggunakan kompos alami berupa limbah tanaman dari *Recyclage Organique Mobile Company*, Francis, sebagai medium filter. Penelitian ini dilakukan terhadap 8 jenis senyawa yang merupakan polutan dalam ruangan, dimana pada konsentrasi rendah saja senyawa-senyawa ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan kronis. EBRT diatur pada waktu selama 23 detik dengan laju alir sebesar  $0.6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  dan relatif humidity sebesar  $80\% \pm 2\%$ .

Metode pengukuran yang digunakan dalam percobaan ini adalah gas chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS, Trace MS Plus, Thermoelectron SA), untuk pengukuran senyawa VOC (toluen) dan beberapa alat instrument lainnya. Dan diperoleh hasil penelitian seperti tercantum pada Tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7 Efisiensi Penghilangan Minimum, Maximum dan Rata-Rata Biosorpsi

| Compounds     | Min. (%) | Max.(%) | Average (%) |
|---------------|----------|---------|-------------|
| Butanol       | 55.5     | 99.5    | 98.0        |
| Butil asetat  | 98.7     | 99.7    | 99.7        |
| Formaladehid  | 77.8     | 99.5    | 95.5        |
| Limonen       | 70.7     | 99.7    | 99.3        |
| $\text{NO}_2$ | 86.3     | 99.6    | 93.8        |
| Toluen        | 13.9     | 99.7    | 97.9        |
| TCE           | -        | 33.0    | -           |
| Undecan       | 98.1     | 99.7    | 99.6        |

Sumber: Ondarts et al .,2010

Proses biosorpsi dilakukan selama 75 hari dalam kondisi *steady state*. Selama 75 hari pengamatan, kecuali untuk trikloroetilen (TCE), efisiensi rata-rata mencapai 99,5 -99,8 %. Hanya TCE yang tidak dapat dihilangkan dengan metode biofilter. Efisiensi biosorpsi yang tercapai pada tepat waktu hanya mencapai 20 sampai 30%. Dari hasil pengamatan dimana efisiensi biosorpsi terhadap TCE menunjukkan angka yang sangat kecil maka secara tidak langsung dapat diketahui bahwa TCE tidak mengalami biodegradasi tetapi hanya mengalami adsorpsi. TCE dikenal sebagai senyawa yang bandel dan biosorpsi TCE tanpa perlakuan khusus sangat sulit dicapai.

Penurunan jumlah mikroorganisme di dalam medium filter tidak homogen. Pada inlet biofilter, koloni mikroorganisme mengalami penurunan sebanyak 7 kali sedangkan pada bagian bawah biofilter mikroorganisme mengalami penurunan sebanyak 18 kali. Pada biosorpsi polutan dengan konsentrasi tinggi fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh penyumbatan pada kolom biofilter. Ketidakstabilan selama proses biosorpsi disebabkan oleh dua hal, yang pertama adalah pengeringan mempengaruhi penurunan efisiensi pada reduksi senyawa hidrofilik dan yang kedua adalah kurangnya nutrisi menyebabkan mikroba tidak dapat tumbuh dan menurunkan potensinya dalam mendegradasi gas polutan.

#### **2.6.5 Biosorpsi NO<sub>x</sub> dengan Medium Lumpur Aktif**

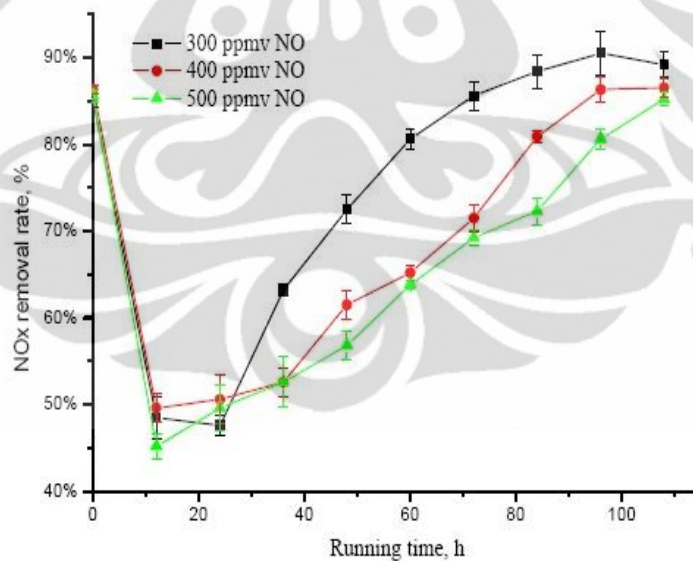
Penelitian yang dilakukan oleh R. Jiang, S. Huang, dan J. Yang (2007) tentang biosorpsi *bench-scale* dan medium filter yang digunakan adalah lumpur aktif dan ditambahkan oksigen konsentrasi tinggi, guna mengevaluasi efisiensi reduksi gas NO<sub>x</sub> dan ditambahkan penambahan bakteri nitrifikasi yang telah diinokulasi.

Penambahan oksigen pada konsentrasi 2 % di dalam inlet-aliran gas, membuat biofilter mampu mereduksi NO pada tingkat efisiensi mencapai 20%, sedangkan pada kondisi bebas oksigen efisiensinya mampu mencapai lebih dari 50%. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan bakteri denitrifikasi aerob untuk membangun proses denitrifikasi aerobik. Tidak ada alam ekologi yang spesifik untuk denitrifier aerobik melainkan dengan penerapan tekanan selektif seperti kondisi aerasi sehingga dapat meningkatkan metabolisme nitrat-oksigen.



Penelitian ini dioperasikan pada laju alir gas NO 1 L/menit, konsentrasi NO inlet awal 50 sampai 600 ppmv dengan penambahan konsentrasi pada setiap kelipatan 50 ppmv/5 hari, kandungan oksigen mencapai 20% dengan penambahan tiap 0,2%. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini, dengan spesifikasi kondisi tersebut di atas adalah sebagai berikut:

- Setelah 10 hari terus beroperasi konsentrasi NO dalam gas influent bertahap meningkat menjadi sekitar 300 ppmv, sementara konsentrasi O<sub>2</sub> tetap konstan pada 0,8%. Dengan kondisi tersebut, efisiensi reduksi mencapai 84,6%, namun turun menjadi sekitar 50% pada konsentrasi O<sub>2</sub> meningkat menjadi 8%. Kemudian dengan percobaan yang sama dilakukan dengan konsentrasi NO 300-500 ppmv, membutuhkan waktu 72 jam untuk kembali meningkatkan efisiensi reduksi NO<sub>x</sub> mencapai 80% lagi, dan membutuhkan waktu selama 4 hari untuk konsentrasi 400 ppmv NO<sub>x</sub>, dan sekitar 108 jam untuk 500 ppmv NO<sub>x</sub> untuk kembali pada tingkat efisiensi di atas 80%, seperti tertera pada Gambar 2.9 di bawah ini:



Gambar 2.9 Efisiensi Reduksi NO<sub>x</sub> terhadap Waktu  
(Jiang et al., 2008)

- Efisiensi reduksi NO<sub>x</sub> tertinggi mencapai 89,2%, 88,5%, 89,6% masing-masing ketika parameter percobaan sebagai berikut : 600 ppmv NO dan O<sub>2</sub> 3,6%, 500 ppmv NO dan O<sub>2</sub> 4,8%, 400 ppmv NO dan O<sub>2</sub> 12%.

### 2.6.6 Biosorpsi Gas N<sub>2</sub>O dengan Meium Filter Kompos

Penelitian untuk mereduksi gas N<sub>2</sub>O dengan menggunakan medium filter berupa pupuk kandang sebagai medium filter dengan skala laboratorium telah dilakukan oleh *Research Group Industrial Bioprocess Engineering* di Departemen Teknik Kimia UI. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman medium, laju alir, dan penggunaan nutrisi terhadap kinerja biofilter dalam mereduksi gas N<sub>2</sub>O. Hasil yang diperoleh adalah :

- Kedalaman medium filter yang menghasilkan efisiensi reduksi tertinggi (67,86%) adalah pada kedalaman medium filter yang paling tinggi =50 cm karena semakin dalam medium filternya, maka waktu kontak antara gas N<sub>2</sub>O dengan medium filter akan semakin lama.
- Laju alir gas N<sub>2</sub>O yang menghasilkan efisiensi reduksi tertinggi (70,22%) adalah pada Laju alir gas N<sub>2</sub>O yang paling tinggi = 200 cc/menit karena pada laju alir sirkulasi gas N<sub>2</sub>O yang lebih tinggi, aliran gas lebih banyak bersirkulasi di dalam sistem sehingga waktu kontak antara gas dan medium biofilter lebih lama.
- Dengan adanya penambahan nutrisi pada ketinggian medium filter 50 cm dan laju alir 200cc/menit, akan menghasilkan efisiensi reduksi 91,49 % dan tanpa penambahan nutrisi 70,217%. Di mana nutrisi yang digunakan adalah C, N, dan P dengan rasio C:N:P=100:10:1 dalam satu liter air.

Penelitian dilanjutkan dengan menggunakan medium filter berupa kompos berbasis kotoran kambing dengan sekam beras dan *cocopeat* sebagai *bulking agent* (Utami et al., 2009). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju alir gas dan kandungan air pada medium filter terhadap efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O, serta menganalisis dan membandingkan pengaruh penambahan nutrisi alami dan sintetik terhadap efisiensi biosorpsi.

Adapun hasil yang diperoleh :

- Laju alir gas N<sub>2</sub>O yang menghasilkan efisiensi reduksi tertinggi (56,7%) adalah pada laju alir gas N<sub>2</sub>O yang terkecil = 72 cc/menit.
- Kandungan air optimum untuk menghasilkan efisiensi reduksi yang optimum (70,13%) adalah sebesar 60% (w/w) kompos.

- Penambahan nutrisi alami (limbah cair dari peternakan sapi) dan nutrisi sintetik (*trace element*) dilakukan pada kedalaman filter 50 cm, laju alir 72cc/menit, dan kelembapan 60% (w/w) kompos. Nutrisi sintetik dapat meningkatkan efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O 2,2% lebih tinggi daripada nutrisi alami.
- Efisiensi reduksi sebesar 75,9% dapat dicapai dengan ketinggian medium filter 50 cm, laju alir N<sub>2</sub>O 72 cc/menit, dan penambahan nutrisi sintetik serta *Nitrobacter, sp* pada kompos.

Penelitian lain dilakukan untuk mereduksi konsentrasi N<sub>2</sub>O (Noviani, C. 2009). Penelitian ini juga dilakukan di Departemen Teknik Kimia UI dengan menggunakan medium filter berbasis kotoran sapi dengan *cocopeat* dan sekam beras sebagai *bulking agentnya*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh laju alir dan kedalaman medium filter terhadap efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O dan pertumbuhan mikroorganisme di dalam kompos. Penelitian ini dilakukan dengan sistem *batch* selama 9 jam waktu operasi dengan memvariasikan laju alir dan kedalaman medium filter.

Adapun hasil yang diperoleh :

- Efisiensi reduksi tertinggi terdapat pada laju alir gas N<sub>2</sub>O 88 cc/menit yaitu sebesar 61,3 %.
- Efisiensi reduksi tertinggi pada kedalaman medium filter 50 cm yaitu sebesar 61,35%.
- Sifat-sifat dari kompos adalah: densitas = 0,5554 g/mL, *water content* kompos awal = 57,72%, *water content* kompos akhir = 65,10% dengan variasi laju alir, *water content* kompos akhir dengan variasi kedalaman medium = 63,65%, dan porositas kompos awal: 80,2%.
- Rasio C/N kompos berbasis kotoran sapi:12,93 dan rasio C/N kompos berbasis kotoran kambing: 17,44.
- Efisiensi reduksi N<sub>2</sub>O pada kompos berbasis kotoran sapi pada laju alir 88 cc/menit dengan kedalaman medium 50 cm adalah sebesar 61,35%.
- Berdasarkan metode-metode uji yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa kompos berbasis kotoran kambing merupakan medium filter yang lebih baik dalam dalam mereduksi gas N<sub>2</sub>O.

Biosorpsi dengan menggunakan medium filter kompos berbasis kotoran kambing yang dicampur dengan *cocopeat* dan sekam beras sebagai *bulking agent* dalam proses biosorpsi  $N_2O$ , juga oleh *Research Group Industrial Bioprocess Engineering* dan hasil yang diperoleh oleh:

- Linda, M. (2010), dengan variasi waktu inkubasi medium filter dengan larutan nutrisi serta variasi kedalaman medium filter kompos berbasis kotoran kambing adalah efisiensi reduksi tertinggi untuk laju alir 88cc/menit dapat dicapai pada kedalaman medium 100cm untuk variasi kedalaman kering sebesar 78,63% dan efisiensi reduksi sebesar 100% dapat dicapai oleh kompos yang diinkubasikan dengan larutan nutrisi sintetik selama minimal 26,5 jam, dan hasil optimum dicapai oleh kompos masa inkubasi 131 jam yang memiliki sifat fisis, kimia, dan mekanis paling stabil.
- Arisanto, I. (2010), dengan variasi ukuran pelet kompos dan variasi penambahan larutan nutrisi pada medium filter terhadap kinerja biofilter dalam mereduksi  $N_2O$  adalah efisiensi reduksi optimum diperoleh pada ukuran pelet 5x5 mm dan kandungan nutrisi 40% berat pelet kompos.
- Sinaga, R. (2011), untuk mengetahui pengaruh jenis bahan pengikat dan pengaruh rasio bahan pengikat pada proses pembuatan pelet kompos sebagai medium dalam mereduksi gas  $N_2O$  dengan penambahan bahan pengikat bahan. Hasil yang diperoleh adalah efisiensi reduksi gas  $N_2O$  optimum sebesar 77,32% dengan menggunakan tepung beras sebagai bahan pengikat serta rasio tepung sagu sebesar 10 % merupakan rasio optimum dengan efisiensi reduksi sebesar 66,50%.

## 2.7 Ringkasan *State of The Art*

Gambar 2.10 berikut menunjukkan sejarah penelitian biofilter yang telah dilakukan di berbagai negara dalam mereduksi berbagai gas polutan antara lain  $N_2O$ , NO, VOCs, dan  $H_2S$ , yang hingga kini sedang dikembangkan. Penelitian biofilter dalam mereduksi  $NO_x$  yang dilakukan oleh Elias et al.,(2000) menggunakan medium filter pelet kompos dalam mereduksi  $H_2S$ , diperoleh hasil bahwa pelet kompos kotoran babi mampu mereduksi  $H_2S$  sebesar 90%. Dan penelitian yang dilakukan oleh Ondarts et al., (2010) dengan medium filter

kompos alamiah limbah tanaman dalam mereduksi senyawa VOC dan  $\text{NO}_x$  dan efisiensi rata-rata efisiensi mencapai 99,5% - 99,8%.

Biosorpsi gas  $\text{N}_2\text{O}$  dengan menggunakan medium filter alami, pertama kali dilakukan di Departemen Teknik Kimia UI dengan menggunakan serpihan kayu dan pupuk kandang sebagai medium filter untuk sistem aliran sirkulasi 6 jam (Simanjuntak, 2008). Arisantoro, I. (2010) melakukan biosorpsi  $\text{N}_2\text{O}$  menggunakan

medium filter kompos berbasis kotoran kambing dengan sistem *batch* 12 jam. Sinaga, R. (2011) melakukan biosorpsi gas  $\text{N}_2\text{O}$  dengan memvariasikan bahan pengikat pada medium filter pelet kompos. Saat ini, akan dilakukan biosorpsi  $\text{N}_2\text{O}$  dengan menggunakan medium filter pelet kompos dengan memvariasikan rasio bahan pengikat terhadap kompos ruah dan dilakukan pada sistem *batch* selama 12 jam dengan tujuan untuk menentukan kondisi optimum rasio antara bahan pengikat dengan kompos sebagai medium filter terhadap performansi biosorpsi gas  $\text{N}_2\text{O}$ .

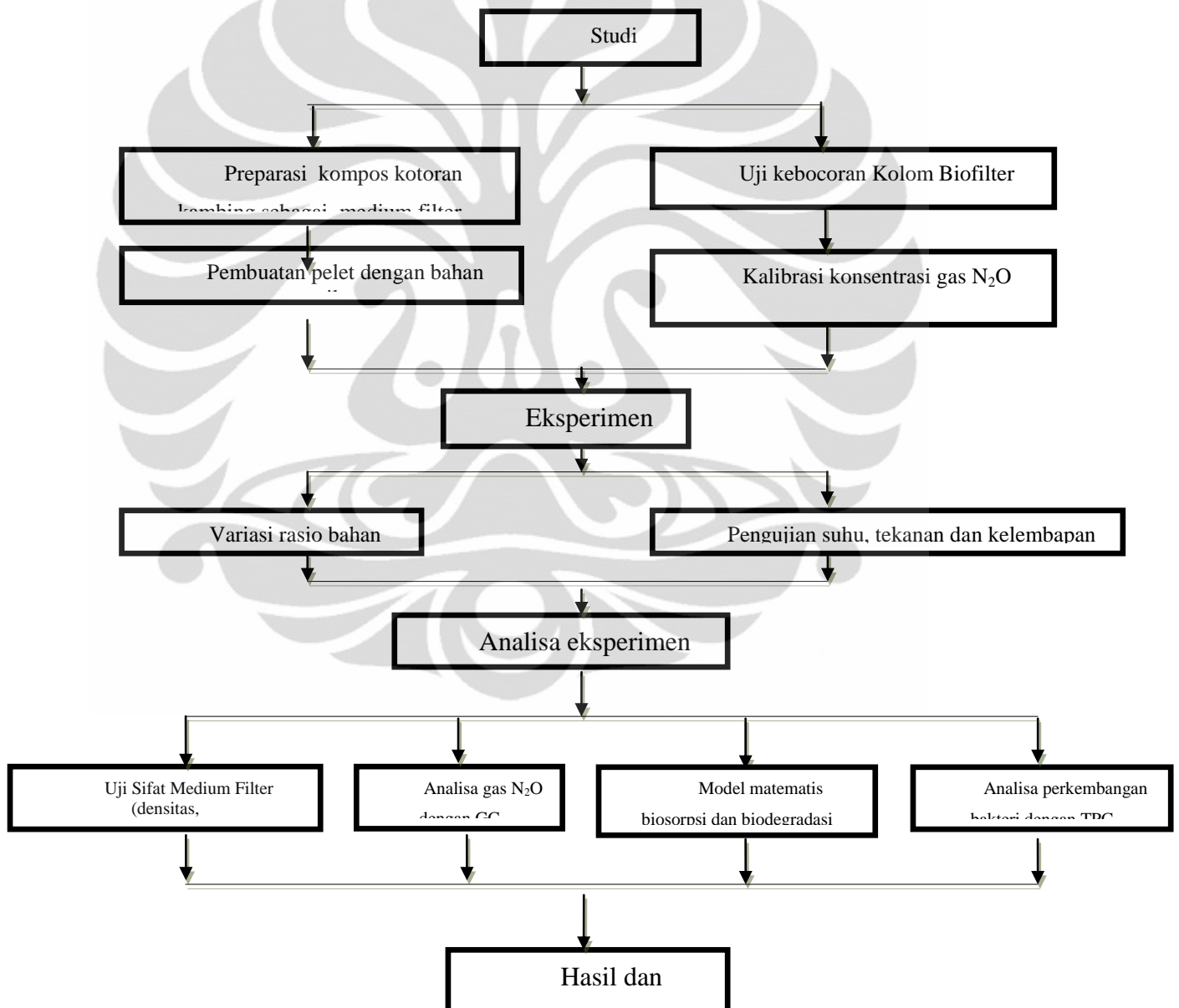
|                  |                       |   |   |  |   |  |
|------------------|-----------------------|---|---|--|---|--|
| <b>Emisi Gas</b> | <b>N<sub>2</sub>O</b> |   |   |  | Cynthia Noviani (2009)<br>Josia Simanjuntak, 2008 (sistem sirkulasi, berbasis kotoran sapi) | Penelitian ini, 2011 (Pelet kompos berbasis kotoran kambing, dengan variasi rasio bahan pengikat).<br>Yusmalia R.Sinaga (2011)<br>Irawan Warta Arisanto, 2010 (sistem batch) |
|                  | <b>NO</b>             |   |   | R. Jiang, S. Huang, dan J. Yang (2008) | Michel Ondarts, Cecile Hort, Vincent Platel, Sabine Sochard (2010)                          |  |
|                  | <b>VOC</b>            |   |   |  | Michel Ondarts, Cecile Hort, Vincent Platel, Sabine Sochard (2010)                          |  |
|                  | <b>H<sub>2</sub>S</b> | Huiqi Duan, Lawrence Choon Chiaw Koe, Rong Yan (2004) | Huiqi Duan, Lawrence C.C. Koe, Rong Yan, Xiaoge Chen (2006) |  |   | Ana Elias, Astrid Barona1, F. Javier Rfos, Anje Arreguy, Miguel Munguira, Javier Penas dan J. Luis Sanz (2002)   |
|                  |                       | <b>Karb on aktif biologis</b>                         | <b>Karb on aktif alami</b>                                  | <b>Lumpur aktif</b>                    | <b>Kompos</b>   | <b>Pelet kompos</b>  |
|                  |                       |   |   |  | <b>Medium Filter</b> →  |  |

Gambar. 2.10. Mapping State of The Art Biofilter

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Bioproses Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, Depok. Diagram alir penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Bagan alir rancangan penelitian

Tahap awal penelitian adalah studi literatur, studi literatur dilakukan dengan mempelajari jurnal publikasi mengenai biosorpsi dan teori-teori yang terkait tentang biofilter. Sistem aliran gas N<sub>2</sub>O pada proses biosorpsi ini adalah system semi *batch* dan peralatan biofilter yang digunakan merupakan alat skala laboratorium. Langkah berikutnya adalah preparasi kompos kambing sebagai medium filter. Preparasi diawali dengan pembuatan kompos dengan bahan dasar kotoran kambing, kemudian dilakukan pengeringan kompos pada kondisi ruang, yaitu 26°C dengan humiditas ruang 81% selama 10 hari, setelah kompos kering dilakukan pengayakan untuk mendapatkan ukuran kompos yang seragam. Setelah preparasi tersebut dilakukan maka kemudian dilakukan pembentukan pelet kompos dengan cetakan pelet. Pelet dicetak dengan tinggi 1cm dan diameter 5mm. Setelah mendapatkan bentuk pelet, pelet dikeringkan selama 3 hari.

Kemudian melakukan uji kebocoran alat yang bertujuan untuk memastikan konsentrasi N<sub>2</sub>O berkurang karena proses adsorpsi dan degradasi, bukan kerana kebocoran. Selanjutnya, dilakukanlah kalibrasi luas *peak* N<sub>2</sub>O pada volum sampel N<sub>2</sub>O standar.

Tahap kedua yaitu eksperimen biosorpsi yang bertujuan untuk mereduksi konsentrasi N<sub>2</sub>O menggunakan biofilter dengan mengevaluasi pengaruh rasio bahan pengikat yang digunakan pada proses pembuatan pelet kompos dalam mereduksi gas N<sub>2</sub>O.

Tahap ketiga yaitu analisis eksperimen. Gas yang keluar dari kolom biofilter dianalisa dengan *gas chromatography* (GC) untuk mengetahui efisiensi penghilangan gas N<sub>2</sub>O. Sifat-sifat fisik dan kimia kompos berupa densitas, pH, *water content*, porositas kompos di dalam kolom biofilter dianalisa sebelum dan sesudah eksperimen, serta temperatur, kelembapan dan *pressure drop* terhadap waktu selama proses biosorpsi kompos dalam kolom. Perkembangan mikroba pada kompos sebelum dan sesudah proses biosorpsi juga dianalisa perkembangan koloni mikroorganismenya dengan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). Setelah itu, hasil analisis akan dibahas dalam pembahasan untuk mencapai kesimpulan.



### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1. Alat Biofilter

Rincian peralatan yang digunakan dalam penelitian biosorpsi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan dalam penelitian

| o. | Alat                   | Fungsi   |
|----|------------------------|--|
|    | Sistem Biofilter       | Tempat dilakukan pengujian biosorpsi gas N <sub>2</sub> O                          |
|    | Tampah                 | Tempat mengeringkan dan menjemur kompos  |
|    | Ember                  | Wadah untuk kompos yang telah diayak (sebelum dimasukkan ke dalam kolom biofilter) |
|    | Gelas ukur             | Alat untuk mengambil larutan dalam jumlah tertentu                                 |
|    | Erlenmeyer             | Wadah pencampuran nutrient agar dan air  |
|    | Spatula kaca/pengaduk  | Mengaduk nutrien agar dan aquadest   |
|    | Kaca Arloji            | Tempat untuk menimbang nutrien agar  |
|    | Gas Chromatograph (GC) | Menganalisa konsentrasi N <sub>2</sub> O dalam sampel                              |
|    | Syringe                | Mengambil gas sampel   |
| 0  | Cawan Petri            | Perhitungan populasi/koloni bakteri  |
| 1  | Tabung Reaksi          | Tempat pengenceran larutan   |
| 2  | Timbangan              | Mengukur berat kompos dan air  |
| 3  | Autoklaf               | Sterilisasi sampel   |
| 4  | Bunsen                 | Sterilisasi transfer sampel  |
| 5  | Transfer box           | Tempat transfer sampel pada kondisi steril   |
| 6  | Inkubator              | Inkubasi bakteri   |
| 7  | Hot Plate              | Memanaskan medium agar untuk TPC   |
| 8  | Mikropipet             | Mengambil sejumlah volume larutan yang kecil (1000 µl)                             |
| 9  | Oven                   | Mensterilisasi alat-alat yang akan digunakan pada metode TPC                       |
| 0  | Extruder               | Alat untuk pencetak kompos menjadi berbentuk pelet                                 |

#### 3.2.2. Bahan

Pada penelitian biosorpsi N<sub>2</sub>O menggunakan medium filter kompos pelet berbasis kotoran kambing. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini

meliputi gas sampel berupa campuran  $N_2O$  dalam udara, kompos sebagai bahan pengisi biofilter, bahan pengikat, nutrisi agar dan *aquadest*.

Perincian bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Kompos** yang terdiri dari bahan organik berupa kotoran kambing dan *bulking agent* berupa *cocopeat* dan sekam beras.
2. **Gas sampel  $N_2O$** , dimana gas yang akan digunakan untuk pengujian ini merupakan gas  $N_2O$  dengan konsentrasi sebesar 15000 ppm dalam udara.
3. **Nutrien agar** sebagai media agar untuk perhitungan bakteri.
4. **Aquadest** sebagai pelarut kompos dalam pengukuran pH serta sebagai pelarut nutrisi agar, pelarut tepung sagu dalam pembuatan pelet.
5. **Bahan pengikat** yang digunakan adalah tepung sagu dan tepung beras agar pelet tidak mudah pecah.
6. **Larutan nutrisi yang digunakan adalah sintetik.**

**Larutan nutrisi** sebagai nutrisi tambahan untuk bakteri nitrifikasi yang tumbuh pada medium filter. Nutrisi yang ditambahkan berupa:

❖ **Nutrisi sintetik**, komposisi larutan nutrisi terdiri dari (dalam 1L  $H_2O$ )

|                  |         |
|------------------|---------|
| - $K_2HPO_4$     | (0.4g)  |
| - $KH_2PO_4$     | (0.15g) |
| - $NH_4Cl$       | (0.3g)  |
| - $MgSO_4.7H_2O$ | (0.4g)  |
| - $CH_3COONa$    | (2.93g) |

❖ **Larutan *trace element***, komposisi larutan nutrisi terdiri dari (dalam 1L  $H_2O$ )

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| -EDTA                         | (50g)   |
| - $ZnSO_4.7H_2O$              | (2.2g)  |
| - $CaCl_2.2H_2O$              | (5.5g)  |
| - $MnCl_2.4H_2O$              | (5.06g) |
| - $FeSO_4.7H_2O$              | (5.0g)  |
| - $(NH_4)_6.Mo_7O_{24}.4H_2O$ | (1.1g)  |
| - $CuSO_4.5H_2O$              | (1.57g) |
| - $CoCl_2.H_2O$               | (1.61g) |

Yang *et.al.* (2007) pernah menggunakan larutan nutrisi tersebut untuk mengembangkan bakteri penitrifikasi aerobik.

### 3.3 Prosedur Percobaan

#### 3.3.1. Preparasi Medium Filter

Medium filter yang digunakan untuk biosorpsi ini adalah kompos yang berbasis kotoran kambing.

Kandungan kompos terdiri dari:

1. Pupuk kandang sebagai bahan dasar pembuatan kompos. Pupuk kandang yang digunakan adalah kotoran kambing.
2. Sekam dan *cocopeat* (sabut kelapa yang telah dikeringkan dan dihancurkan): sebagai *bulking agent* kompos. Bahan tersebut dapat meningkatkan adanya ruang kosong, mencegah pemadatan, dan memperbesar ventilasi pada sistem biofilter.
3. Gula pasir sebagai sumber glukosa.
4. Kapur untuk meningkatkan pH pupuk.
5. Dedak sebagai protein mikroba.
6. Larutan EM4 sebagai starter (bioaktifator)

Adapun perincian prosedur pembuatan kompos sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan-bahan yang digunakan, seperti: pupuk kandang, sekam, *cocopeat*, gula pasir, kapur dan dedak.
2. Membuat komposisi pembuatan kompos dari bahan-bahan di atas dengan rasio (kg) = 5 pupuk kandang : 2 sekam : 2 *cocopeat* : 2 dedak : 1 gula pasir :  $\frac{1}{4}$  kapur dan melakukan pengadukan.
3. Mencampur komponen di atas kemudian di aduk dengan larutan EM4 (*Effective Microorganism*) 120 ml, dengan penambahan 10 liter air limbah. Penggunaan EM4 sebagai bioaktifator untuk mempercepat pengomposan.
4. Setelah dicampur, kompos disekap di dalam terpal selama 10 hari dengan dilakukan pengadukan setiap 3 hari dalam 10 hari tersebut.

Persiapan kompos yang sudah jadi untuk medium filter kemudian dilanjutkan dengan pembuatan pelet kompos. Adapun prosedur pembuatan pelet kompos adalah sebagai berikut:

1. Meletakkan kompos yang sudah jadi di dalam tampah, dimana kondisi kompos cukup basah.
2. Menjemur kompos di dalam ruang selama 10 hari.
3. Mengayak kompos yang telah kering dengan diameter lubang ayakan 2mm.

Setelah kompos dipreparasi, langkah selanjutnya adalah membuat pelet kompos dengan menggunakan alat *pelletizer*. Berikut ini adalah prosedur pembuatan pelet kompos yang akan digunakan sebagai medium filter:

1. Memanaskan campuran bahan pengikat dengan air demin dengan perbandingan 1:10% berat, pada suhu 60°C hingga mengental dan berwarna bening (terbentuk amilum pregelatinasi).
2. Mencampur kompos yang sudah diayak dengan amilum pregelatinasi dari bahan pengikat tersebut dan diaduk-aduk hingga merata.
3. Kemudian dicetak dengan alat pembuat pelet (extruder).

### **3.3.2. Uji Sifat / Karakterisasi Kompos Sebelum dan Sesudah Biosorpsi**

Pelet kompos sebelum dan sesudah digunakan sebagai medium filter diambil sampelnya dan dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat medium kompos yang terdiri dari pengukuran kandungan air, pH, densitas dan porositasnya. Prosedur yang dilakukan pada pengujian sifat dan karakteristik pelet kompos adalah sebagai berikut.

#### **Prosedur pengukuran kandungan air pelet kompos**

1. Memanaskan cawan keramik di dalam oven pada temperatur 105 °C selama 2 jam.
2. Mengeluarkan cawan keramik dari dalam oven dan memasukkannya ke dalam desikator selama 5 menit.
3. Menimbang berat cawan keramik.
4. Menimbang sampel kompos sebanyak 5 gram.
5. Memasukkan 5 gram pelet kompos yang akan dihitung kandungan airnya ke dalam cawan keramik dan dipanaskan lagi dalam oven pada temperatur 105 °C selama 2 jam.

6. Mengeluarkan cawan keramik berisi pelet kompos dan memasukannya ke dalam desikator selama 5 menit kemudian ditimbang.

7. Menghitung kandungan air pada pelet kompos dengan persamaan:

$$\text{Massa}_{\text{kompos akhir}} = (\text{massa}_{\text{keramik kosong}} + \text{massa}_{\text{kompos sebelum dioven}}) - (\text{massa}_{\text{keramik + kompos setelah dioven}})$$

(3.1)

$$\text{Air yang Menguap} = \text{massa}_{\text{kompos awal}} - \text{massa}_{\text{kompos akhir}}$$

(3.2)

$$\% \text{Kandungan air pada kompos} = \frac{\text{air yang menguap}}{\text{massa}_{\text{kompos awal}}} \times 100 \%$$

(3.3)

#### **Prosedur pengukuran pH**

1. Menyiapkan dan menimbang sampel pelet kompos yang akan diukur pH-nya sebanyak 5 gram.
2. Melarutkannya dengan 50 ml air aquades.
3. Mengaduk campuran tersebut hingga tercampur merata.
4. Melakukan uji pH dengan pH meter dan pH indikator.

#### **Prosedur pengukuran densitas pelet kompos**

1. Menyiapkan dan menimbang *beaker glass* kosong berukuran 100 ml.
2. Memasukkan pelet kompos yang akan dihitung densitasnya ke dalam *beaker glass* dengan cara memadatkan kompos hingga mencapai volume 100 ml.
3. Menimbang massa kompos di dalam *beaker glass* tersebut.
4. Menghitung densitas pelet kompos dengan cara

$$\rho_{\text{kompos}} = \frac{\text{massa}_{\text{kompos}}}{\text{volum}_{\text{kompos}} (100\text{ml})}$$

(3.4)

#### **Prosedur pengukuran porositas pelet kompos**

1. Menimbang massa pelet kompos yang akan dihitung porositasnya.
2. Menghitung volume pelet kompos yang akan digunakan sebagai medium filter:

$$volum_{kompos} = \frac{massa_{kompos}}{\rho_{kompos}} \quad (3.5)$$

3. Menghitung volum kolom biofilter kosong dengan menggunakan kedalaman sesuai dengan eksperimen yang dilakukan.
4. Menghitung porositas kompos dengan persamaan:

$$\emptyset = \frac{volum_{kompos}}{volum_{tabung}} = \frac{volum_{kompos}}{\pi \cdot jari-jari_{tabung}^2 \cdot tinggi_{tabung}}$$

(3.6)

### 3.3.3 Uji Kebocoran Alat dan Uji Blanko

Uji kebocoran pada biofilter dilakukan untuk menghindari ketidakakuratan data percobaan sehingga diperoleh hasil yang baik. Dengan adanya uji kebocoran, maka dapat dipastikan bahwa konsentrasi gas N<sub>2</sub>O berkurang karena proses biosorpsi, bukan karena kebocoran. Uji kebocoran dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian dengan menggunakan sabun dan melalui uji blanko.

Prosedur uji kebocoran dengan menggunakan sabun yaitu :

1. Meneteskan sabun pada daerah persambungan pipa.
2. Mengalirkan udara kompresor ke dalam kolom biofilter.
3. Mengecek ada tidaknya gelembung buih sabun, jika ada artinya terdapat kebocoran.
4. Merekatkan kembali sambungan antar perpipaan dan *sampling port* jika terdapat kebocoran yang ditandai dengan timbulnya buih-buih sabun.
5. Mengecek kembali dengan sabun jika tidak ada buih, maka alat siap digunakan.

Sedangkan prosedur uji kebocoran dengan cara uji blanko yaitu sebagai berikut:

1. Mengalirkan gas N<sub>2</sub>O ke dalam kolom biofilter tanpa diisi dengan medium filter.
2. Mengambil sampel gas N<sub>2</sub>O keluaran kolom biofilter.
3. Melakukan analisis pada kromatografi gas.
4. Mengeplot grafik antara luas *peak* N<sub>2</sub>O dengan waktu yang dibutuhkan.

5. Jika tidak terjadi kebocoran pada alat biosorpsi, maka akan dihasilkan suatu grafik dimana luas area  $N_2O$  mendekati konstan terhadap waktu.

Uji blangko dilakukan juga untuk memastikan bahwa terjadinya penurunan luas area  $N_2O$  (setelah melewati kolom) hasil analisis GC dikarenakan adanya biosorpsi oleh medium filter kompos. Jika selama selang waktu tertentu (setelah melewati *empty bed residence time*), tidak terjadi penurunan konsentrasi gas  $N_2O$  setelah melewati kolom biofilter, maka penurunan konsentrasi saat memakai medium filter kompos merupakan hasil dari proses biosorpsi.

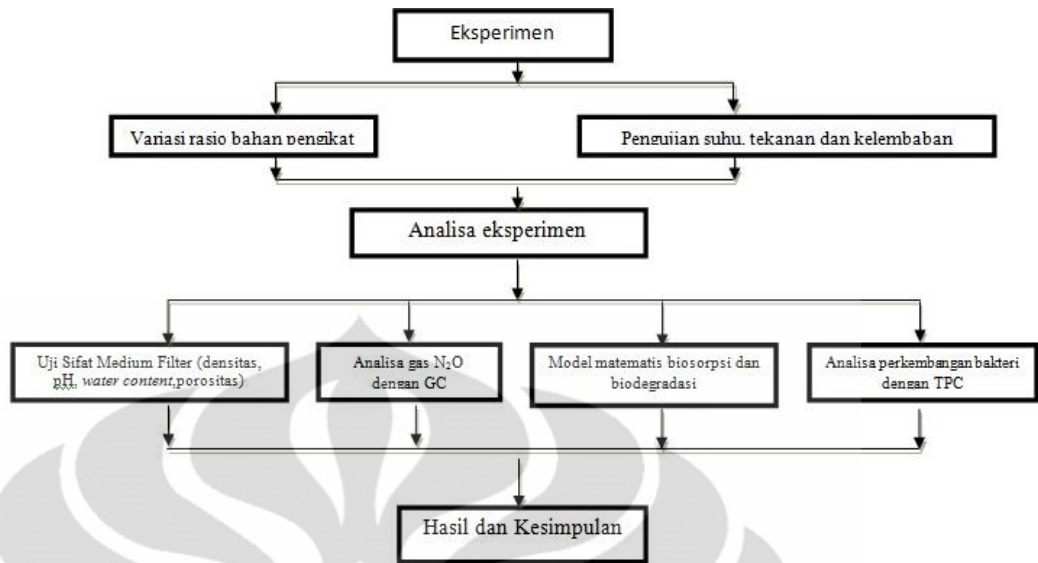
#### **3.3.4 Kalibrasi Gas $N_2O$**

Kalibrasi gas  $N_2O$  dilakukan dengan tujuan mengetahui konsentrasi aktual dan waktu retensi gas  $N_2O$  dimana harus diketahui berapa luas area dari gas  $N_2O$  sebelum diisi biofilter. Cara pengukuran uji kalibrasi gas yaitu sebagai berikut :

1. Mengalirkan gas  $N_2O$  ke dalam *gas trap* yang kemudian ditutup dengan rapat.
2. Sampel diambil dari *gas trap* dengan menggunakan *syringe* kaca, dimana volum gas yang diambil divariasikan dari 0,1; 0,3; 0,7; 1,0 ml.
3. *Syringe* kaca kemudian diinjeksikan ke dalam *Gas Chromatography* (GC) yang akan mendeteksi keberadaan gas beserta konsentrasinya.
4. Membuat plot antara volum gas  $N_2O$  terhadap luas *peak*  $N_2O$  sehingga didapat garis linear.
5. Kalibrasi gas  $N_2O$  dilakukan dengan pengambilan data sebanyak dua kali (metode duplikasi) untuk memastikan keakuratan hasil kalibrasi gas  $N_2O$ .

#### **3.4 Eksperimen Biofilter**

Tahapan pengerjaan Eksperimen Biofilter dapat dilihat pada Gambar 3.2:



Gambar 3.2 Bagan Alir Eksperimen Biosorpsi

### 3.4.1 Variasi Rasio Bahan Pengikat

1. Menyiapkan kompos yang sudah dipreparasi.
2. Membuat campuran bahan pengikat berupa tepung sagu dengan air demin dengan komposisi 1:10 antara tepung dengan air demin, kemudian memanaskannya di atas *hot plate stirrer* hingga mengental dan berwarna bening (terbentuk larutan amilum pregelatinasi).
3. Mencampur kompos dengan larutan amilum pregelatinasi dengan variasi rasio sebagai berikut: 5:95; 8:92; 10:90; 11:89; 15:85 %berat larutan pregelatinasi dengan kompos ruah dan diaduk sampai homogen. Kemudian dicetak membentuk pelet dengan alat ekstruder.
4. Menjemur pelet variasi bahan pengikat di dalam tampah pada suhu dan temperatur ruang selama lebih kurang 3 hari.
5. Menimbang pelet kompos yang dibutuhkan dan menambahkan larutan nutrisi pada pelet kompos dengan kandungan nutrisi 40% berat kompos kemudian diinkubasi.
6. Memasukkan medium filter tersebut ke dalam kolom biofilter dengan kedalaman 100 cm (1890 gram basis massa).
7. Mengalirkan gas sampel dengan kandungan  $N_2O$  sebesar 15.000 ppm dalam udara dengan laju alir 88 cc/menit untuk dilakukan biosorpsi.



8. Mengukur temperatur dan kelembapan dengan *mass flowmeter* serta *pressure drop* dengan manometer digital setiap 1kali dalam 1jam.
9. Mengambil gas sampel yang telah dibiosorpsi dengan *syringe* untuk dianalisis pada kromatografi gas setiap jam selama 12 jam dan
10. Mengambil sampel kompos setelah dilakukan biosorpsi untuk uji TPC (*Total Plate Count*) uji pH, densitas, kandungan air dan porositas sebelum dan setelah proses biosorpsi.

### 3.5 Data Penelitian

Dalam penelitian ini, data-data yang akan diambil adalah sebagai berikut :

1. Konsentrasi gas N<sub>2</sub>O sesudah dilakukan biosorpsi.
2. Jumlah koloni mikroorganisme pada medium filter sebelum dan setelah dilakukan biosorpsi untuk melihat pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme di dalam medium filter.
3. Data sifat dan karakteristik medium filter sebelum dan sesudah biosorpsi yang meliputi densitas, pH, porositas, kandungan air sedangkan suhu, kelembapan, tekanan selama proses biosorpsi.

### 3.6 Pengukuran dan Analisis

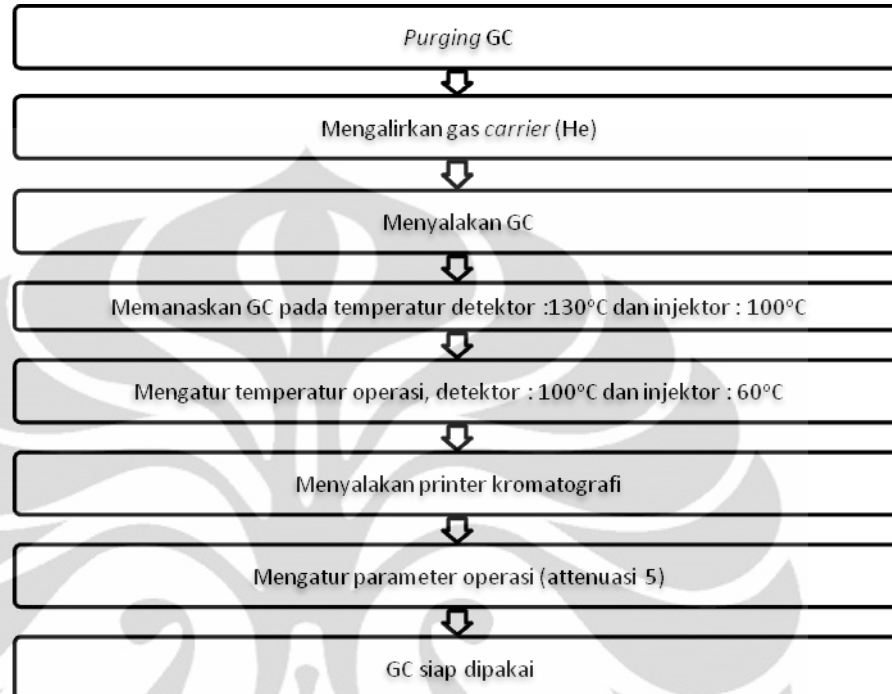
#### 3.6.1 Analisis Gas N<sub>2</sub>O

Konsentrasi efluen gas N<sub>2</sub>O dari kolom biofilter diukur dengan menggunakan kromatografi gas (GC) jenis TCD. Spesifikasi kromatografi gas (GC) yang digunakan adalah sebagai berikut

Tabel 3.2. Spesifikasi Kromatografi Gas dalam Penelitian

|                |           |
|----------------|-----------|
| Merek dan Tipe | Shimadzu  |
| Kolom          | Porapak Q |
| Suhu Kolom     |           |
| - Injektor     | 60 °C     |
| - Detektor     | 100 °C    |
| Gas Carrier    | He        |
| Jenis Detektor | TCD       |

Data yang diambil adalah luas *peak* dari gas N<sub>2</sub>O yang datanya akan diplot terhadap waktu. Prosedur pengoperasian kromatografi gas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:



Gambar 3.3 Diagram alir prosedur pengoperasian GC

### 3.6.2 Analisis Perkembangan Bakteri

#### ❖ Metode TPC (Total Plate Count)

Total Plate Count dilakukan sebelum dan sesudah proses biosorpsi untuk menguji seberapa besar aktivitas degradasi dengan mengetahui jumlah bakteri awal dan akhirnya. Teknik *Total Plate Count* (TPC) mempunyai keterbatasan, yakni koloni yang dihasilkan tidak lebih dari 30–300 koloni, dengan asumsi awal satu bakteri akan menghasilkan satu koloni. Jumlah bakteri dalam kompos sangat banyak, sehingga perlu dilakukan dilusi atau pengenceran. Rasio pengenceran yang akan digunakan pada uji degradasi bakteri hingga 1:10<sup>8</sup> agar keakuratan penghitungan jumlah koloni bakteri dapat terjaga.

Langkah-langkah pengencerannya adalah sebagai berikut:

1. Melarutkan kompos sebanyak 0,97 gram
2. Melarutkan sampel tersebut ke dalam aquades sebanyak 10 mL (untuk membuat rasio dilusi 1:10).

3. Mengambil 1 mL larutan dari dilusi 1:10 kemudian menambahkan aquades sebanyak 9 mL (untuk membuat rasio dilusi 1:100).
4. Mengocok larutan tersebut hingga homogen.
5. Mengulangi langkah di atas hingga diperoleh larutan dilusi kompos dengan rasio dilusi 1:10<sup>4</sup>, 1:10<sup>5</sup>, 1:10<sup>6</sup>, 1:10<sup>7</sup>, 1:10<sup>8</sup>, 1:10<sup>9</sup>, 1:10<sup>10</sup>, 1:10<sup>11</sup>, 1:10<sup>12</sup>, dan 1:10<sup>13</sup> (sesuai dengan banyaknya pengenceran yang diharapkan).
6. Untuk setiap rasio dilusi yang diinginkan, diambil 1 mL larutan sampel pengenceran dan dimasukkan ke dalam medium agar yang telah dituangkan ke dalam cawan petri untuk diinkubasikan selama satu hingga dua hari.
7. Setelah diinkubasikan, dilakukan penghitungan jumlah koloni bakteri setiap cawan secara manual.

Langkah – langkah pembuatan medium agar adalah sebagai berikut:

1. Melarutkan bubuk nutrien agar sebanyak yang diperlukan (takaran 23 gram untuk aquadest sebanyak 1 L, dimana satu cawan petri mampu menampung sedikitnya 15 mL larutan nutrien agar sebagai tempat perkembangbiakan mikroba).
2. Mendidihkan larutan tersebut dengan agitasi pada *hot plate stirrer* selama 15 menit terhitung dari larutan tersebut mendidih, hingga larutan menjadi homogen, yang mana ditandai dengan warna cairan menjadi kuning jernih.
3. Diamkan larutan tersebut selama 1 menit.
4. Sterilisasi dengan autoklaf sebelum digunakan dalam TPC selama 15 menit.

Langkah-langkah metode *Total Plate Count* adalah sebagai berikut :

1. Mengambil larutan dilusi yang sesuai sebanyak 1 mL dan ditanam secara tuang (*pour plate*) pada cawan petri dengan menggunakan medium agar kering.
2. Inkubasikan cawan petri tersebut pada suhu 37°C selama dua malam.
3. Menghitung jumlah koloni yang ada pada cawan petri dengan bantuan mikroskop atau kaca pembesar. Hitung jumlah bakteri per mL dengan rumus sebagai berikut :

$$\Sigma \text{bakteri} \left( \frac{\text{CFU}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{jumlah koloni bakteri}}{\text{volume pengenceran} \times \text{volume sampel pada cawan petri}} \times \frac{\text{massa sampel kompos}}{\text{volume air pada pengenceran 1:10}}$$

(3.7)

Analisis TPC (*Total Plate Count*) dilakukan dengan alat dan bahan yang steril. Oleh karena itu, perlu dilakukan sterilisasi untuk segala alat dan bahan yang digunakan pada metode analisis ini.

a. Sterilisasi Alat

Pada metode analisis TPC, digunakan cawan petri sebagai alat untuk medium agar untuk mengetahui jumlah bakteri yang ada. Penggunaan cawan petri harus dengan kondisi steril.

❖ Sterilisasi cawan petri dan pipet volume:

- mencuci bersih cawan petri, pipet volume, kemudian dibungkus dengan kertas koran
- cawan petri dan pipet volume di oven pada suhu 170<sup>0</sup>C selama 2jam setelah di oven disimpan dalam transfer box

❖ Sterilisasi *Micropipet*: *micropipet* dimasukkan ke dalam beaker glass 250ml, kemudian mulut beaker glass ditutup dengan plastik dan diikat dengan karet.

b. Sterilisasi Bahan

Bahan yang digunakan selain sampel yang diuji harus dalam keadaan steril, sehingga dapat dipastikan jumlah mikroba yang terhitung dalam metode TPC berasal dari sampel yang akan diuji tanpa kontaminasi.

❖ Sterilisasi media agar:

1. Mencuci erlenmeyer sampai bersih.
2. Media agar yang telah dimasak dimasukkan ke dalam erlenmeyer, kemudian ditutup dengan sumbatan, dibungkus dengan aluminium foil dan plastik kemudian diikat dengan karet.

❖ Sterilisasi aquades

1. Mencuci bersih tabung reaksi sebanyak 12 buah.
2. Mengisi tabung reaksi dengan aquadest sebanyak 9 ml.

3. Tabung reaksi yang telah berisi aquadest disumbat dengan sumbatan kemudian dibungkus dengan aluminium foil dan plastik kemudian diikat dengan karet.
  4. Tabung reaksi dimasukkan ke dalam beaker glass yang berisi dengan air. Kemudian beaker glass ditutup dengan plastik dan diikat dengan karet.
- ❖ Sterilisasi media agar, aquadest dan mikropipet: media agar aquadest dan mikropipet yang telah dipreparasi di autoklaf selama 15 menit.
- c. Teknik Transfer Aseptis

Kegiatan perpindahan bahan/sampel dilakukan dengan teknik transfer aseptis. Teknik ini adalah suatu metode/teknik untuk memindahkan kultur bakteri dari satu tempat ke tempat lain secara aseptis agar tidak terjadi kontaminasi oleh mikroba lain ke dalam kultur. Teknik transfer ini dilakukan dalam *transfer box* (ruang steril) dan selalu dilakukan dengan pemanasan dan penggunaan alkohol terlebih dahulu. Pada langkah ini sampel yang akan diuji dipindahkan ke medium agar yang sudah dibuat.

### 3.7 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Dalam penelitian ini, data-data yang akan diambil adalah:

1. Jumlah koloni bakteri pada medium filter sebelum dan setelah dilakukan biosorpsi menggunakan metode TPC.
2. Konsentrasi gas N<sub>2</sub>O yang di dalam kolom biofilter menggunakan metode GC.
3. Beberapa uji sifat fisik dan kimia kompos berupa uji densitas menggunakan wadah beaker glass, uji pH menggunakan pHmeter dan kertas pH, uji *water content* menggunakan oven. Perubahan karakteristik medium, meliputi uji *pressure drop* manometer digital, kelembapan dan temperatur dengan menggunakan *mass flow* meter digital.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dianalisa tentang hasil kinerja biofilter dalam mereduksi gas N<sub>2</sub>O dengan konsentrasi 15.000 ppm, karakteristik dan sifat-sifat fisik medium filter kompos sebelum dan setelah proses biosorpsi, dan jumlah koloni mikroorganisme pada medium filter kompos sebelum dan setelah proses biosorpsi.

#### **Sistem Biofilter**

Pada penelitian ini sistem biofilter yang digunakan adalah sistem biofilter yang digunakan pada penelitian sebelumnya oleh Utami et al., (2009). Sistem biofilter telah beberapa kali mengalami perbaikan dengan tujuan agar data yang diperoleh lebih akurat. Kolom biofilter yang digunakan terbuat dari *acrylic* dengan dimensi tinggi kolom 120 cm, diameter dalam 7,35 cm, dan tebal bahan 0,325.

Kolom biofilter sebagai tempat berlangsungnya biosorpsi dan perpipaan yang menghubungkan serta *sampling port* untuk pengambilan sampel gas N<sub>2</sub>O. Sistem biofilter yang digunakan dirancang beroperasi secara *semibatch* dan juga dilengkapi dengan *mass flow regulator* digital agar laju alir *inlet* gas N<sub>2</sub>O yang digunakan lebih akurat dan lebih stabil. Gas N<sub>2</sub>O dialirkan dari atas kolom biofilter (*down-flow mode*). *Down-flow mode* dipilih untuk meningkatkan kontrol terhadap kelembapan (Pagans et al., 2005). Selain pemasangan *mass flow regulator*, digunakan juga manometer digital untuk mengukur *pressure drop* sepanjang kolom biofilter. Pengukuran dilakukan karena *pressure drop* berhubungan dengan adanya resistensi gas yang mengalir melewati medium filter yang dapat diakibatkan oleh akumulasi pertumbuhan mikroorganisme. Mikroorganisme membentuk *biofilm* pada permukaan medium filter yang dapat mengakibatkan semakin kecilnya rongga antar partikel medium filter (kompaksi medium), sehingga gas yang akan mengalir melalui rongga medium filter akan sulit keluar dari sistem biosorpsi tersebut (Gabriel et al., 2007). Hal ini dapat menyebabkan *clogging* yaitu gas tidak bisa keluar dari sistem biosorpsi karena

celah jalur keluaran gas dalam medium filter tertutup, dan juga menyebabkan *channeling*, terjadi jika lapisan *biofilm* mengakibatkan hanya ada jalur tertentu yang dapat dilewati gas untuk keluar dari sistem biofilter. Sistem biofilter yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.1:



**Gambar 4.1** Sistem Biofilter dan GC

Keterangan:

1. Tabung gas N<sub>2</sub>O
2. Kolom biofilter
3. Sampling port atas (*inlet*)
4. Sampling port bawah (*outlet*)
5. *Upper pressure*
6. *Lower pressure*;
7. *Thermo-hygrometer*;
8. *Mass flow meter digital*;
9. *Gas Chromatography* Merk Shimadzu Seri 8A
10. *Mass flowmeter*
11. *Printer GC* Merk Shimadzu seri 6

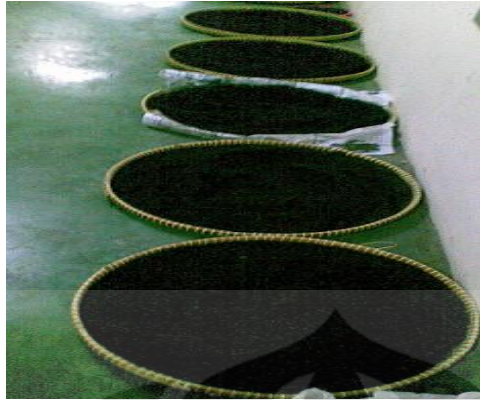
Sistem biofilter ini juga dilengkapi dengan *Thermo-Hygrometer* untuk mengukur temperatur dan kelembapan. Penambahan alat *Thermo-Hygrometer* ini berfungsi untuk mengetahui perubahan kelembapan dan temperatur yang terjadi di dalam kolom biofilter selama proses biosorpsi.

#### 4.1 Preparasi Medium Filter

Pada penelitian ini, medium filter yang digunakan adalah kompos berbasis kotoran kambing yang dicampur dengan *bulking agent* berupa *cocopeat* dan sekam beras, penambahan sekam beras karena sekam beras mampu mempertahankan kapasitas air dibawah kondisi yang berbeda dan sekam beras memiliki lignin yang tinggi sebagai material isolasi yang baik karena bersifat hidrofobik sehingga kecil kemungkinan untuk tumbuh jamur. Pemilihan kompos sebagai medium filter karena kompos media yang murah dan mudah tersedia serta merupakan medium filter yang relatif mudah untuk mendegradasi gas polutan bila dibandingkan dengan gambut dan karbon aktif (Ravichandra et al., 2009), selain itu kompos juga memiliki retensi air yang tinggi. Kompos memiliki komunitas mikroorganisme yang kompleks dan juga memiliki kandungan nutrisi seperti nitrogen, fosfor dan potasium (Bhon et al., 1996). Pada penelitian ini kompos yang digunakan diproduksi atas kerjasama dengan “Green Lab” Sekolah Alam Indonesia, Ciganjur.

Preparasi kompos yang digunakan sebagai medium filter diawali dengan preparasi kompos dalam bentuk *bulk* menjadi pelet. Kompos yang diperoleh dari “Green Lab” dijemur selama 10 hari dan dilakukan pengadukan setiap 3 hari sekali pada temperatur ruang sekitar 26°C dan kelembapan ruangan 81%. Proses pengeringan dengan menggunakan tampah yang terbuat dari bambu agar sirkulasi udara kompos yang dijemur pada tampah lebih bagus apabila dibandingkan dengan menggunakan wadah yang terbuat dari plastik, hal ini juga dapat membantu mempercepat proses pengeringan kompos. Proses pengeringan dapat dilihat pada Gambar 4.2





**Gambar 4.2** Proses pengeringan kompos



**Gambar 4.3** Proses pengadukan kompos

Setelah proses pengeringan selesai selanjutnya dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan 2 mm ditunjukkan pada Gambar 4.4 . Tujuan dari pengayakan adalah untuk menghasilkan partikel kompos yang homogen dengan ukuran yang seragam agar memudahkan dalam pembuatan pelet. Selain itu, proses pengeringan juga bertujuan untuk mendapatkan kelembapan yang sesuai dengan kondisi pertumbuhan mikroorganisme pendegradasi polutan. Kelembapan yang direkomendasikan untuk medium filter organik sebesar 40-60% (Ottengraf et al., 1986)



**Gambar 4.4** Proses pengayakan kompos

Kompos yang sudah dikeringkan dan diayak, serta siap digunakan sebagai medium filter dapat dilihat pada Gambar 4.5. Medium filter kompos yang siap dipakai biosorpsi ini memiliki pH netral (6-7) sehingga dapat langsung digunakan. Kompos yang sudah diayak disimpan di dalam wadah yang tertutup.



**Gambar 4.5** Kompos sebagai medium filter

#### **4.2 Pembuatan Medium Pelet Kompos**

Pada penelitian ini medium filter yang digunakan berbentuk pelet dengan ukuran 5x5mm berdasarkan pada hasil penelitian Arisantoro, I. (2010) yaitu diperoleh efisiensi reduksi sebesar 62,25 %. Keuntungan menggunakan medium filter berbentuk pelet adalah meningkatkan kadar energi metabolis, membunuh bakteri patogen, menurunkan jumlah kompos yang tercecer, memperpanjang lama penyimpanan, menjamin keseimbangan zat-zat nutrisi kompos, dan mencegah oksidasi vitamin (Ravichandra et al, 2009)..

Proses pembuatan medium filter pelet kompos berbasis kotoran kambing dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama yaitu pembuatan pelet kompos. Pembuatan pelet kompos dilakukan dengan mencampur kompos ruah yang telah dipreparasi dengan bahan pengikat yang berbentuk larutan amilum pregelatinasi. Pada penelitian ini bahan pengikat yang digunakan adalah tepung beras dan tepung sagu berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh Sinaga, R. (2011) yaitu diperoleh efisiensi reduksi sebesar 77,32% dengan menggunakan tepung beras sebagai bahan pengikat sedangkan efisiensi reduksi sebesar 66,50% dengan menggunakan tepung sagu sebagai bahan pengikat dan merupakan bahan pengikat yang mempunyai sifat fisik yang bagus. Tahap ini diawali dengan membuat larutan amilum pregelatinasi dari masing-masing bahan pengikat yaitu dengan cara memanaskan campuran bahan pengikat dengan air (perbandingan 1:10 % berat) di atas *hot plate with stirrer* pada suhu 100-150°C sambil diaduk dengan pengaduk kaca hingga mengental dan berwarna bening. Kemudian larutan gelatin

dicampurkan dengan kompos ruah yang telah dipreparasi dan diaduk hingga merata. Selanjutnya dilakukan pencetakan campuran tersebut dengan alat *pelletizer*. Pelet kompos yang dihasilkan berbentuk silinder dengan ukuran 5x5 mm. Pelet yang sudah jadi kemudian dikeringkan selama 3 hari pada kondisi ruangan dan disimpan dalam kantong plastik agar kondisi dari pelet kompos tetap stabil. Proses pembuatan pelet dan pembuatan larutan amilum pregelatinasi ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan 4.7.



**Gambar 4.6** Proses pembuatan pelet kompos gelatin



**Gambar 4.7** Proses pembuatan larutan



**Gambar 4.8** Pelet Kompos dengan Ukuran 5x5 mm

Tahap kedua yaitu preparasi pelet kompos untuk digunakan dalam proses biosorpsi gas  $N_2O$ . Pelet kompos yang telah dipreparasi selanjutnya diinkubasi dengan larutan nutrisi (Yang et al., 2007) selama 26,5 jam (Linda, M. 2010) karena laju pelepasan nitrogen dan pospor dari larutan nutrisi sintetik cukup

rendah selama 24 jam pertama, di mana jangka waktu tersebut disebut sebagai *minimum dissolution level*. Setelah melewati 24 jam, kestabilan laju kelarutan baru tercapai, dan pelepasan nitrogen dan pospor dari nutrisi sintetik baru akan mencapai homogenitas (Gaudin et al., 2007). Dengan kata lain, dibawah jangka waktu 24 jam, perkembangbiakan mikroorganisme belum cukup banyak untuk dapat mereduksi hingga 100% secara terus-menerus seperti pada kompos.

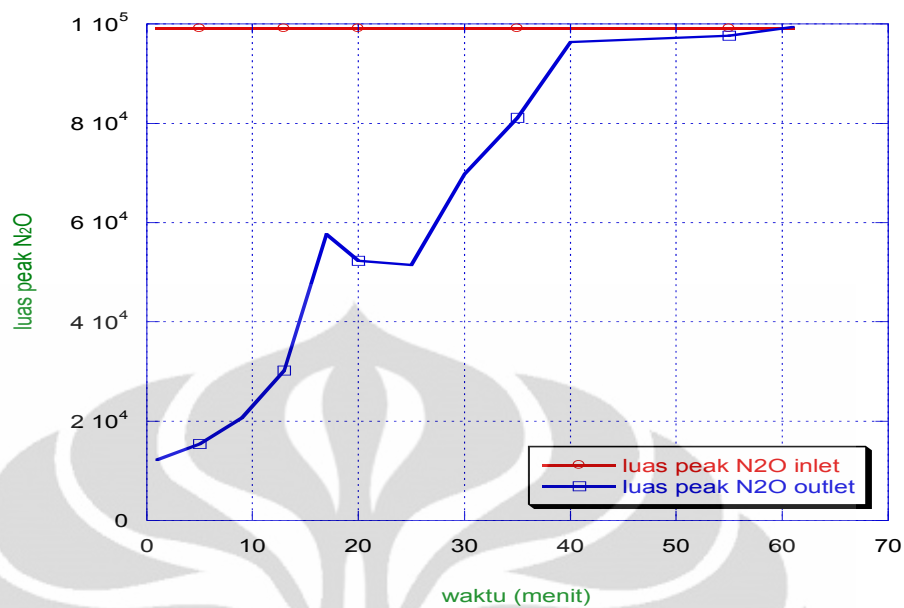
### **4.3 Persiapan Eksperimen**

#### **4.3.1 Uji Kebocoran dan Uji Waktu Tinggal**

Tujuan dilakukan uji kebocoran adalah untuk memastikan konsentrasi  $N_2O$  berkurang karena proses adsorpsi dan biosorpsi, bukan kerana kebocoran. Uji kebocoran dapat dilakukan dengan dua buah cara, yaitu secara mekanik dan analitik. Cara mekanik yaitu dengan cara meneteskan air sabun pada sambungan-sambungan pipa, skrup serta baut dan kolom biofilter yang rentan terhadap kebocoran. Selanjutnya gas dialirkan ke dalam kolom biofilter. Indikasi terjadinya kebocoran adalah timbulnya busa/buih sabun pada daerah yang mengalami kebocoran. Jika seluruh daerah pada sistem biofilter yang rentan kebocoran tidak berbusa setelah diolesi dengan air sabun, maka dapat dipastikan bahwa sistem biofilter tersebut tidak mengalami kebocoran.

Cara kedua untuk melakukan uji kebocoran yaitu dengan cara analitik, yang lebih dikenal dengan uji waktu tinggal atau EBRT (*Empty Bed Time Residence*). Cara analitis dilakukan dengan mengalirkan gas  $N_2O$  ke dalam kolom biofilter kosong, kemudian luas *peak*  $N_2O$  dicek pada *sampling port inlet* dan *sampling port outlet* sampai konsentrasi pada *sampling port inlet* sama dengan konsentrasi *sampling port outlet*. Jika waktu aktual ketika luas *peak*  $N_2O$  pada *sampling port inlet* sama dengan *sampling port outlet* hampir sama dengan waktu teoritis, maka dapat dipastikan bahwa tidak terjadinya kebocoran pada sistem biofilter dan eksperimen siap untuk dilakukan. Dalam perhitungan EBRT untuk penelitian ini, laju alir gas yang digunakan adalah laju alir gas  $N_2O$  yang menghasilkan %RE optimum dari hasil penelitian Noviani, C. (2009). Data untuk uji EBRT dapat dilihat pada Lampiran 1.





Gambar 4.9 Uji EBRT biofilter

Berdasarkan Gambar 4.9, dapat dilihat bahwa konsentrasi N<sub>2</sub>O pada *sampling port outlet* biofilter terus meningkat dari menit ke-1 hingga mencapai sekitar menit ke-61, konsentrasi gas telah menunjukkan kecenderungan stabil. Hasil dari Gambar 4.9 dibandingkan dengan kondisi teoritis. Perhitungan uji waktu tinggal secara teoritis dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (4.1) sebagai berikut

$$EBRT = \frac{\pi \times R^2 \times t}{Q} \quad (4.1)$$

Dengan : R = radius dinding dalam kolom biofilter (3,675 cm),

t = tinggi kolom biofilter (120cm), dan

Q = laju alir gas ke dalam kolom biofilter (88 cc/menit).

$$EBRT = \frac{\pi \times (3,675\text{cm})^2 \times 120\text{cm}}{88 \text{ cc/menit}} = 57.8286307 \text{ menit} \approx 58 \text{ menit}$$

Dari persamaan (4.1), dapat didefinisikan bahwa EBRT merupakan volume total kolom biofilter kosong dibagi dengan laju alir gas N<sub>2</sub>O. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi homogen secara teoritis dicapai ketika mencapai menit ke-58. Bila dibandingkan Gambar 4.9 hasil uji EBRT tersebut dengan hasil

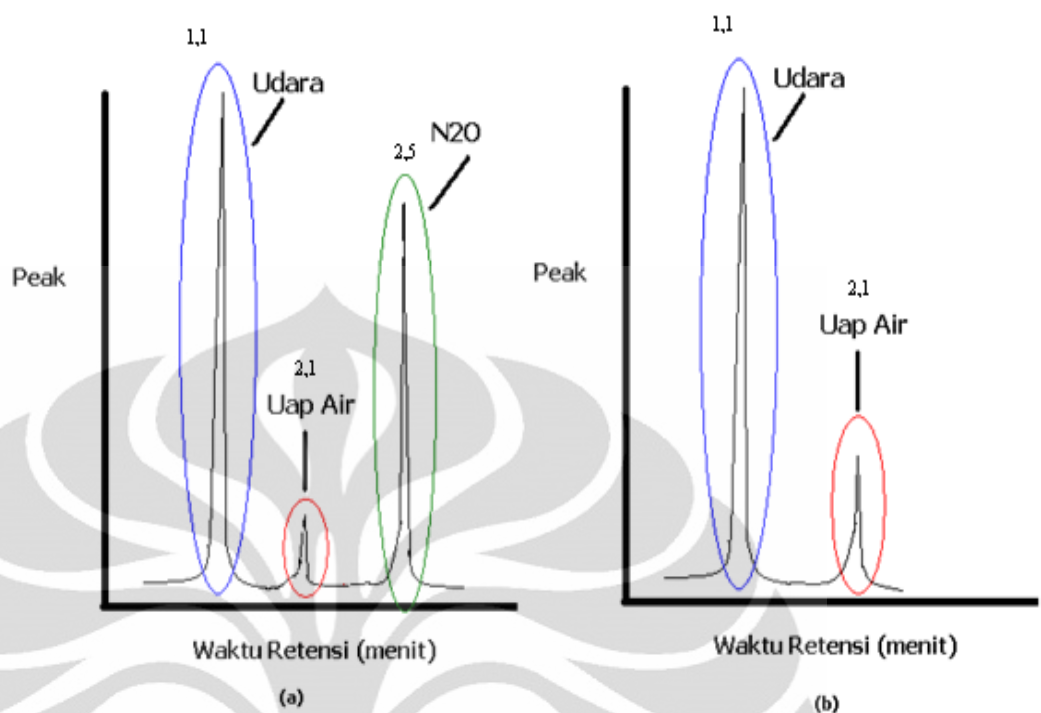
perhitungan EBRT secara teoritis (nilai EBRT empiris = 57,83~58 menit), maka hasilnya tidak berbeda jauh. Dapat diperkirakan bahwa kemungkinan pada menit ke-58 luas area *peak* N<sub>2</sub>O *sampling port* bawah telah sama dengan nilai luas area *peak* N<sub>2</sub>O *sampling port* atas (pada menit ke-58, gas N<sub>2</sub>O telah mengalir ke dalam kolom hingga menuju *sampling port* bawah dan terdistribusi secara merata/homogen di dalam kolom biofilter).

Nilai EBRT yang terlalu rendah berarti laju alir gas tinggi, *pressure drop* tinggi, dan konsumsi energi besar. Sedangkan nilai EBRT yang terlalu tinggi membutuhkan medium filter dengan volum yang banyak dan biaya kapital yang tinggi (Chang et al., 2006).

#### **4.3.2 Kalibrasi Gas N<sub>2</sub>O**

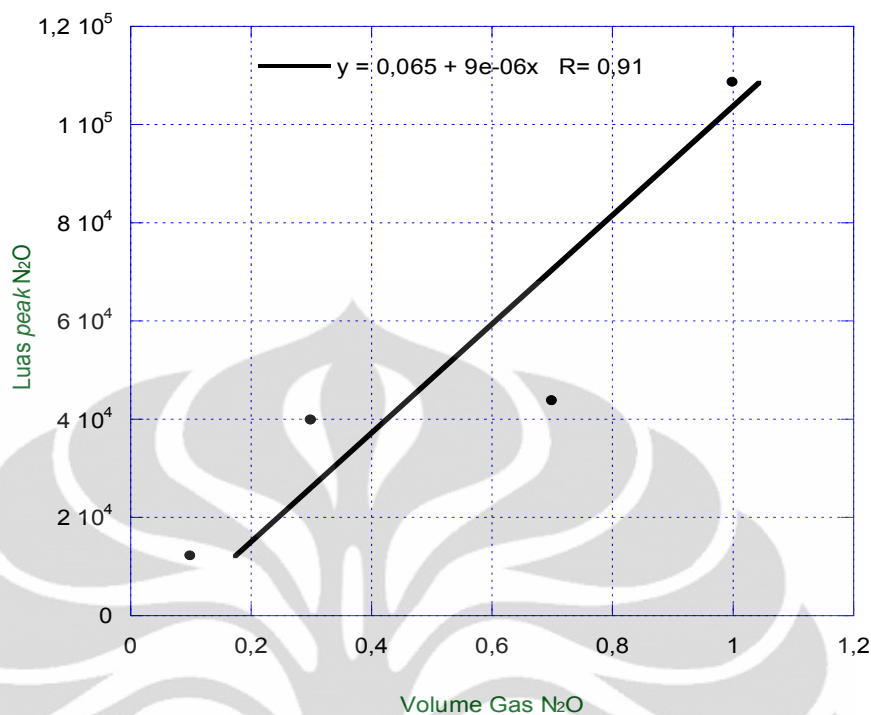
Kalibrasi luas *peak* dengan konsentrasi gas N<sub>2</sub>O dilakukan untuk mengetahui waktu retensi udara dan gas N<sub>2</sub>O, serta luas *peak*, volume, dan konsentrasi aktual gas N<sub>2</sub>O. Konsentrasi gas sampel N<sub>2</sub>O belum dapat diketahui sehingga untuk sementara gas N<sub>2</sub>O dianggap 100% dengan menyesuaikan terhadap luas *peak* yang tertera dari pembacaan GC.

Kalibrasi dilakukan dengan cara mengambil sampel gas dari *sampling port inlet* biofilter dengan *syringe* sebanyak volume gas di dalam *syringe* yang berbeda-beda antara 0,1 mL hingga 1 mL, kemudian sampel gas tersebut diinjeksikan ke dalam GC untuk dibaca luas area *peak* N<sub>2</sub>O yang terambil tersebut. Contoh pembacaan hasil kromatograf pada sampel gas N<sub>2</sub>O dengan volume 1,0 mL dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut ini.



**Gambar 4.10** Sampel grafik yang terdeteksi pada: (a) Gas N<sub>2</sub>O, dan (b) Udara bebas oleh GC

Dari hasil perbandingan antara sampel udara dan sampel gas N<sub>2</sub>O (gas N<sub>2</sub>O yang digunakan merupakan gas N<sub>2</sub>O dengan konsentrasi 15.000 ppm dalam udara) maka dapat diketahui letak *peak* N<sub>2</sub>O yang terletak setelah udara dan uap air. Pada kalibrasi udara hanya menghasilkan dua *peak* (Gambar 4.4.b ). Setelah mengetahui letak *peak* N<sub>2</sub>O, dilakukanlah variasi terhadap volume gas N<sub>2</sub>O yang diambil dari dalam *gas sampling* yaitu sebesar 0,1; 0,3; 0,7; dan 1 mL. Pengambilan data pada kalibrasi gas N<sub>2</sub>O dilakukan sebanyak tiga kali per variasi konsentrasi volume gas sampel dengan tujuan untuk memastikan keakuratan hasil yang diperoleh. Data yang diperoleh dari hasil kalibrasi gas N<sub>2</sub>O dapat dilihat pada Lampiran 2. Kemudian, data kalibrasi tersebut diplot antara luas *peak* N<sub>2</sub>O terhadap volume gas N<sub>2</sub>O dalam *syringe* sehingga diperoleh grafik seperti terlihat pada Gambar 4.11 berikut.



**Gambar 4.11** Grafik hasil kalibrasi volume gas N<sub>2</sub>O di dalam *syringe* terhadap luas *peak* N<sub>2</sub>O

Berdasarkan grafik yang diperoleh, dapat dilihat bahwa grafik kalibrasi volume gas N<sub>2</sub>O terhadap luas *peak* N<sub>2</sub>O juga memiliki kecenderungan garis linear, dengan persamaan garis  $y = 9E-06x + 0,0651$ . Hasil kalibrasi volume gas N<sub>2</sub>O dapat digunakan dalam penelitian biosorpsi selanjutnya untuk mengetahui volume dan konsentrasi gas N<sub>2</sub>O aktual.

#### 4.4 Uji Kinerja Biofilter

Uji kinerja biofilter dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kinerja biofilter dalam menganalisis parameter-parameter operasi. Parameter yang akan diteliti dalam penelitian biosorpsi ini adalah pengaruh rasio bahan pengikat pada proses pembuatan pelet kompos sebagai medium filter terhadap kinerja biofilter dalam mereduksi gas N<sub>2</sub>O. Selain itu juga akan diamati perubahan karakteristik medium filter sebelum dan sesudah biosorpsi. Serta pengaruh *pressure drop*, suhu dan kelembapan terhadap proses biosorpsi. Uji perkembangan mikroorganisme pada pelet kompos dengan metode TPC (*Total Plate Count*) juga akan dilakukan. Pengujian kinerja biofilter dilakukan melalui eksperimen dengan menggunakan aliran *semibatch* selama 12 jam.

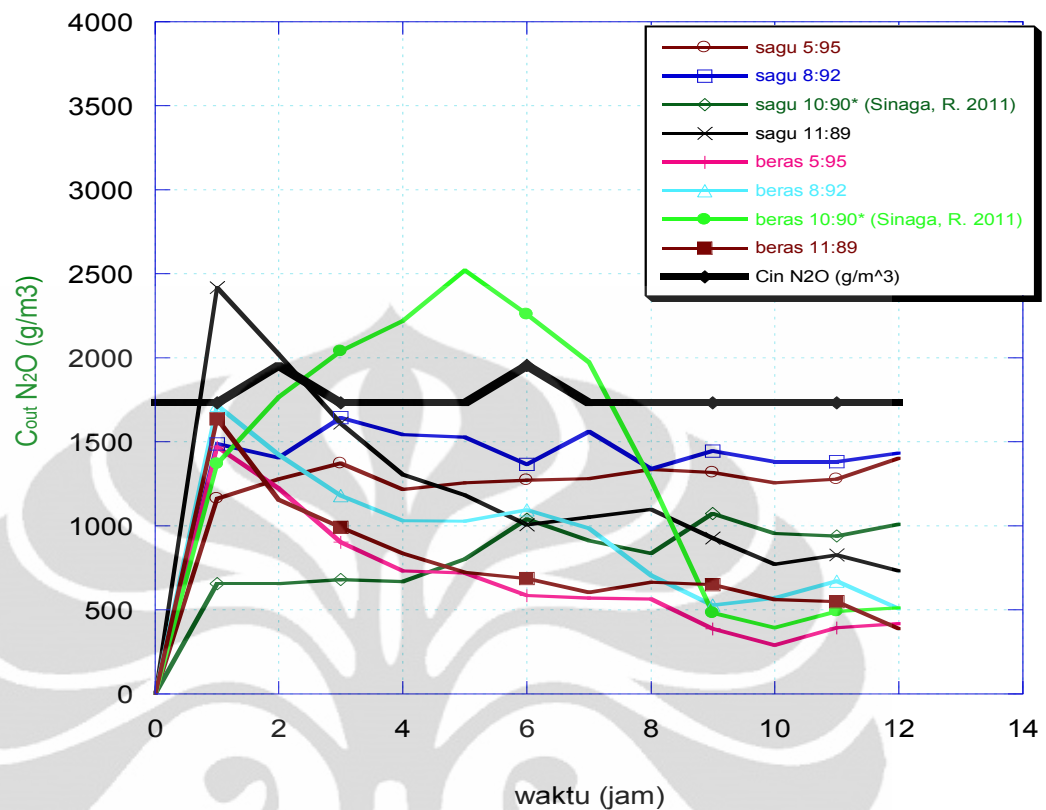


#### 4.4.1 Pengaruh Rasio Bahan Pengikat dalam Mereduksi N<sub>2</sub>O

Variasi rasio antara bahan pengikat yang ditambahkan dalam pembuatan pelet yang digunakan sebagai medium filter yang berbasis kotoran kambing bertujuan untuk mengoptimalkan rasio bahan pengikat dengan kompos. Bahan pengikat atau binder merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi pada proses pembuatan pelet. Bahan pengikat ditambahkan dalam bentuk kering atau cairan selama granulasi basah untuk membentuk granul atau menaikkan kekompakan kohesi bagi tablet yang dicetak langsung. Bahan pengikat/binder berfungsi untuk merekatkan partikel kompos sehingga terbentuk pelet dengan kekompakan yang baik. Salah satu persyaratan yang perlu diperhatikan dalam memilih bahan perekat adalah bahan harus memiliki daya rekat yang kuat. Bahan yang memiliki daya rekat yang cukup kuat biasanya yang mengandung protein dan amilum khususnya amilopektin yang cukup tinggi. (Haryanto, 1992).

Pada penelitian ini rasio antara bahan pengikat divariasikan dengan kompos yang telah dipreparasi. Bahan pengikat yang digunakan adalah tepung beras dan tepung sagu dengan variasi rasio 5:95; 8:92; 10:90 dan 11:89% berat amilum pregelatinasi dengan kompos yang telah dipreparasi (rasio 10:95% telah dilakukan sebelumnya oleh Sinaga, R. (2011)). Larutan amilum pregelatinasi yaitu bahan pengikat (tepung sagu dan tepung beras dengan masing-masing rasio) dicampur dengan aquadest kemudian dipanaskan dengan suhu 60°C, sehingga akan terbentuk amilum pregelatinasi. Larutan amilum pregelatinasi dicampurkan dengan kompos sambil diaduk rata hingga kompos siap dibuat pelet.

Gas N<sub>2</sub>O dialirkan pada laju alir sebesar 88 cc/menit dan tinggi medium filter 100 cm. Penggunaan ketinggian ini berdasarkan ketinggian optimum dalam mereduksi gas N<sub>2</sub>O pada penelitian sebelumnya di Departemen Teknik Kimia, UI (Linda, M. 2010). Selain dua kondisi di atas, digunakan kondisi-kondisi optimum dari penelitian sebelumnya yaitu kandungan nutrisi yang ditambahkan sebesar 40% (Arisanti, I. 2010), dan diinkubasi selama 26,5 jam (Linda, M. 2010). Penelitian dilakukan selama 12 jam dengan sistem aliran *semibatch*. Hasil dari uji kemampuan biofilter dalam mereduksi N<sub>2</sub>O terhadap variasi jenis bahan pengikat ditunjukkan pada Gambar 4.12.



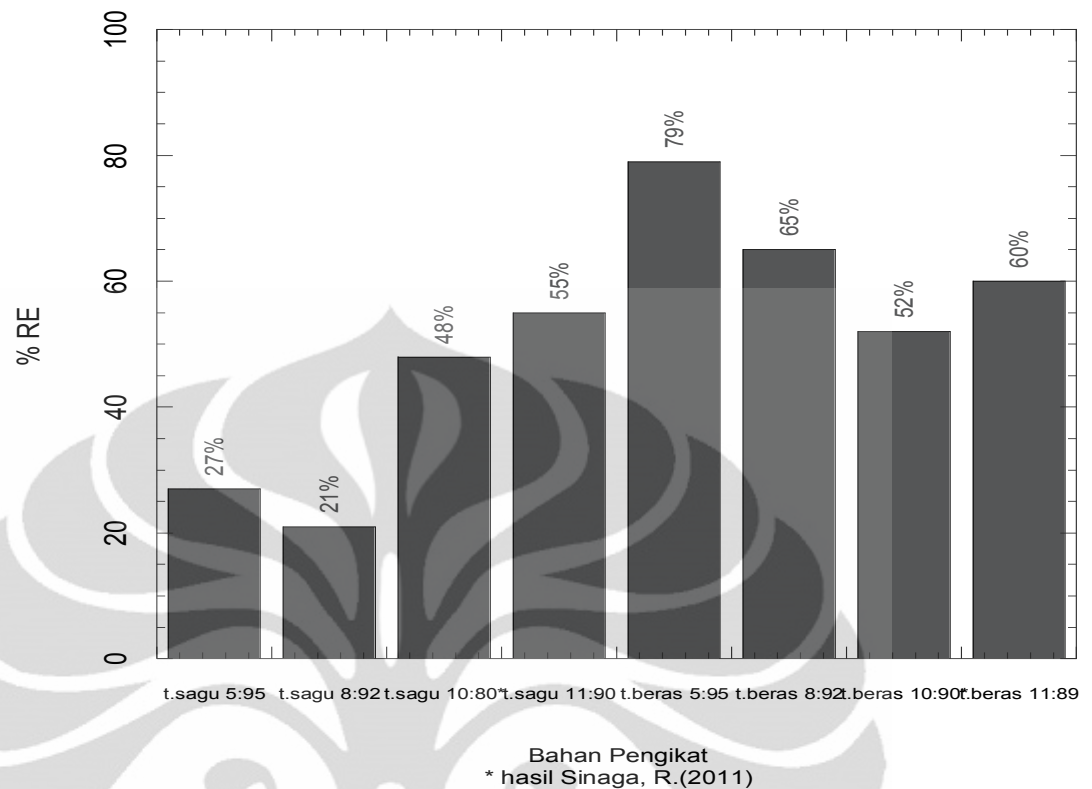
**Gambar 4.12** Konsentrasi Output Variasi Jenis Bahan Pengikat Terhadap Reduksi N<sub>2</sub>O (h=100 cm; Q = 88 cc/menit; medium pelet kompos dengan nutrisi 40%)

Gambar 4.12, menunjukkan hubungan antara laju penurunan konsentrasi keluaran gas N<sub>2</sub>O dengan waktu, fenomena yang terjadi pada biosorpsi adalah adanya proses adsorpsi oleh pada *biofilm* pada permukaan medium filter atau biasa disebut biosorpsi. Dari gambar tersebut dapat dilihat profil laju keluaran konsentrasi gas N<sub>2</sub>O pada t = 0 adalah konsentrasi inlet dan t = 1-3 adalah konsentrasi outlet yang masih berfluktuatif atau belum stabil karena pada interval waktu tersebut aliran gas N<sub>2</sub>O yang dialirkan ke dalam kolom biofilter belum stabil dan belum homogenya gas N<sub>2</sub>O yang mengalir di dalam kolom sehingga dihasilkan kondisi aliran gas dalam medium filter yang tidak stabil. Pada t = 1-3 merupakan waktu *start-up* atau fasa aklimatisasi mikroorganisme, fasa aklimatisasi merupakan proses organisme individu menyesuaikan diri dengan perubahan bertahap dalam lingkungannya (Duan et al., 2004)

Setelah melewati  $t = 3$  yaitu pada  $t = 4$  sampai  $t = 12$ , konsentrasi  $N_2O$  yang keluar dari medium filter cenderung mencapai kondisi yang stabil. Pada percobaan ini penurunan konsentrasi terjadi karena adanya proses biosorpsi. Gambar 4.12 terlihat bahwa pada  $t = 4 - 12$  pelet kompos dengan bahan pengikat tepung beras pada rasio 5:95% memiliki profil efisiensi laju penurunan konsentrasi yang paling besar. Konsentrasi suatu adsorbat akan menurun karena diserap oleh adsorben hingga pada waktu tertentu sebelum mengalami kesetimbangan adsorpsi. Tingkat biodegradasi secara jelas berhubungan dengan aktivitas mikroorganisme yang sangat bergantung pada permukaan yang tersedia untuk pertukaran gas pada *biofilm* (Ravi et al., 2009).

Ketika medium filter kompos dialiri kontaminan, terjadi kontak antara fasa gas sebagai kontaminan dengan *biofilm* sebagai fasa cair pada permukaan medium filter. Transformasi kontaminan dari fasa gas ke fasa cair pada partikel kompos adalah langkah dasar dari perlakuan biodegradasi kontaminan dengan biosorpsi pada permukaan *biofilm*. Molekul kontaminan dengan mudah terlarut di fasa cair dan akan diadsorpsi oleh lapisan *biofilm*. Hal ini terjadi karena aktivitas reduksi gas polutan oleh aktivitas mikroorganisme membutuhkan jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan aktivitas biosorpsi karena degradasi oleh proses biologis biasanya membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan proses fisis dan kimiawi (Jiang et al., 2007).

Berikut ini adalah gambar perbandingan efisiensi reduksi  $N_2O$  (% RE) selama 12 jam. Dari Gambar 4.13 dibawah ini dapat dilihat dengan profil efisiensi reduksi pada variasi penambahan nutrisi.



**Gambar 4.13** Perbandingan Efisiensi Reduksi pada Variasi Rasio Bahan Pengikat (h = 100cm; t selama 12 jam)

Pada gambar 4.13 menunjukkan efisiensi reduksi gas  $N_2O$  selama 12 jam. Efisiensi reduksi tepung beras lebih tinggi dibandingkan dengan tepung sagu. Ini dapat disebabkan karena pati tepung beras memiliki ukuran granula yang lebih kecil daripada pati sagu, sehingga permukaan medium filter menjadi lebih luas dan *biofilm* yang dapat terbentuk juga lebih luas dan jumlah ekstrak N bebas pada tepung beras sebesar 80,4%. Selain itu kandungan gizi pada tepung beras lebih tinggi dari tepung sagu seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi Bahan Pati Sagu dan Beras setiap 100 gr

| Komponen         | Tepung beras | Tepung sagu |
|------------------|--------------|-------------|
| Kalori (kal)     | 363          | 353         |
| Protein (gr)     | 6,8          | 0,7         |
| Lemak (gr)       | 1,9          | 0,2         |
| Karbohidrat (gr) | 78,9         | 84,7        |
| Kalsium (mg)     | 6            | 11          |
| Fosfor (mg)      | 140          | 13          |
| Zat besi (mg)    | 0,8          | 1,5         |
| Air (gr)         | 13           | 14          |

Gambar 4.13 terlihat efisiensi reduksi terbesar adalah bahan pengikat tepung beras dengan rasio 5:95% sebesar 79%. Dengan rasio bahan pengikat tepung beras sebesar 5:95% berarti kompos yang menjadi medium filter lebih banyak sehingga jumlah mikroorganisme yang terdapat di dalam medium filter juga lebih banyak.

#### 4.4.2 Karakteristik Medium Filter Pelet Kompos Berbasis Kotoran Kambing Sebelum dan Sesudah Biosorpsi

Karakterisasi sifat-sifat fisik dan kimia kompos berupa densitas, pH, *water content* dan porositas dilakukan sebelum dan setelah proses biosorpsi. Karakterisasi dari medium filter ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan 4.3:

Tabel 4.2 Karakteristik medim filter pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu berbasis kotoran kambing sebelum dan sesudah biosorpsi.

| Property                 | Bahan pengikat |                            |                   |        |                            |                   |         |                            |                   |
|--------------------------|----------------|----------------------------|-------------------|--------|----------------------------|-------------------|---------|----------------------------|-------------------|
|                          | tepung sagu    |                            |                   |        |                            |                   |         |                            |                   |
|                          | 5 : 95         |                            |                   | 8 : 92 |                            |                   | 11 : 89 |                            |                   |
|                          | kering         | Penambahan Larutan Nutrisi | Setelah Biosorpsi | kering | Penambahan Larutan Nutrisi | Setelah Biosorpsi | kering  | Penambahan Larutan Nutrisi | Setelah Biosorpsi |
| pH                       | 7              | 7,25                       | 7,15              | 7,35   | 7,3                        | 7,1               | 7,3     | 7,35                       | 7,2               |
| densitas ( $\rho$ )      | 0,73           | 0,92                       | 0,95              | 0,78   | 0,96                       | 0,98              | 0,80    | 0,91                       | 0,99              |
| porositas( $\emptyset$ ) | 0,51           | 0,40                       | 0,39              | 0,48   | 0,39                       | 0,38              | 0,47    | 0,41                       | 0,37              |
| water content (% b/b)    | 47,72          | 61,62                      | 58,04             | 46,18  | 62,04                      | 58,55             | 46,37   | 58,02                      | 55,11             |

Tabel 4.3 Karakteristik medim filter pelet kompos dengan bahan pengikat tepung beras berbasis kotoran kambing sebelum dan sesudah biosorpsi.

| Property                 | Bahan pengikat |                            |                   |        |                            |                   |         |                            |                   |
|--------------------------|----------------|----------------------------|-------------------|--------|----------------------------|-------------------|---------|----------------------------|-------------------|
|                          | tepung beras   |                            |                   |        |                            |                   |         |                            |                   |
|                          | 5 : 95         |                            |                   | 8 : 92 |                            |                   | 11 : 89 |                            |                   |
|                          | kering         | Penambahan Larutan Nutrisi | Setelah Biosorpsi | kering | Penambahan Larutan Nutrisi | Setelah Biosorpsi | kering  | Penambahan Larutan Nutrisi | Setelah Biosorpsi |
| pH                       | 7,20           | 7,3                        | 7,25              | 7,45   | 7,4                        | 7,3               | 7,4     | 7,45                       | 7,35              |
| densitas ( $\rho$ )      | 0,726          | 0,94                       | 0,909             | 0,774  | 0,98                       | 0,960             | 0,785   | 0,97                       | 0,910             |
| porositas( $\emptyset$ ) | 0,512          | 0,39                       | 0,409             | 0,480  | 0,38                       | 0,487             | 0,473   | 0,38                       | 0,408             |
| water content (% b/b)    | 42,08          | 54,80                      | 53,37             | 43,65  | 56,11                      | 54,60             | 41,11   | 57,35                      | 54,96             |

Pada Tabel 4.2 dan 4.3 ditampilkan hasil karakterisasi medium filter pelet kompos dan merupakan parameter penting yang mempengaruhi proses biosorpsi. Secara umum, mikroorganisme memiliki rentang pH tertentu sehingga perubahan pH sangat berpengaruh dalam perkembangan dan aktivitas mikroorganisme (Shareefde & Singh, 2005). 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 (Devinny et al., 1999). Banyak bakteri memiliki pH optimum antara 6 dan 8, pH optimum berkisar antara 6,5 – 7,5 sedangkan pada pH > 8,5 dan pH < 5, kecepatan mikroorganisme akan menjadi turun, sehingga efisiensi kurang optimal (Ottengraf, 1986). Nilai pH yang sangat rendah dan sangat tinggi dapat menyebabkan kehancuran populasi biologi aktif dan akibatnya efisiensi biodegradasi akan menurun secara progresif terutama jika medium filter yang digunakan bahan organik (Allen & Yang, 1994). Pada penelitian ini pH medium filter sebelum dan setelah proses biosorpsi mengalami penurunan, ini disebabkan karena mikroorganisme dalam metabolismenya menghasilkan suatu senyawa asam yang dapat menyebabkan penurunan pH pada medium filter. Namun penurunan pH pada penelitian ini tidaklah signifikan sehingga tidak mutlak diperlukan penambahan kontrol pH atau *buffer*.

Sementara itu, adanya porositas dan luas permukaan yang besar dapat mendukung terjadinya adsorpsi kontaminan maupun untuk pertumbuhan mikroba. Namun, porositas kompos setelah biosorpsi akan berkurang dibandingkan kompos awal karena telah terjadi kompaksi medium akibat adanya aliran gas polutan di dalam medium filter. Adsorpsi fisik gas polutan terjadi pada permukaan medium filter, sehingga menyebabkan penurunan luas permukaan dari medium filter atau dengan kata lain porositas kompos akan menurun pada saat proses biosorpsi (Duan et al., 2004). Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa porositas kompos setelah biosorpsi akan berkurang dibandingkan kompos awal karena adanya kompaksi medium akibat adanya aliran gas polutan di dalam medium filter. Aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan biomassa, menyebabkan pori-pori akan lebih kecil secara umum, adanya porositas dan luas permukaan yang besar dapat

mendukung terjadinya adsorpsi kontaminan maupun untuk pertumbuhan mikroorganisme (Duan et al., (2006).

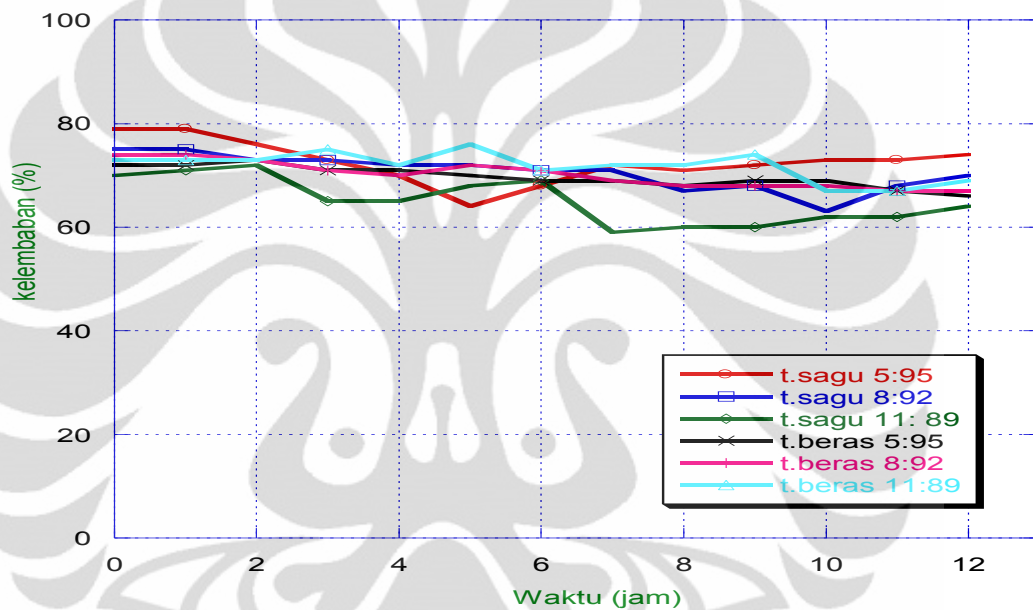
Kadar air medium filter sangat penting dalam proses biosorpsi karena secara langsung berkaitan dengan aktivitas mikroorganisme. Allen dan Yang (1994) menggunakan kompos sebagai support material dan efisiensi degradasi H<sub>2</sub>S sekitar 99,9% bila kadar air berkisar antara 30 – 62%. Adanya penurunan *water content* pada medium filter disebabkan oleh adanya absorpsi *moisture* dari aliran gas yang masuk ke dalam kolom biofilter. Namun demikian, seperti dilihat pada tabel diatas, hanya sedikit perbedaan yang terjadi antara *water content* awal dan *water content* akhir selama biosorpsi.

#### **4.4.3 Pengaruh *Pressure Drop*, Suhu dan Kelembapan Terhadap Proses Biosorpsi**

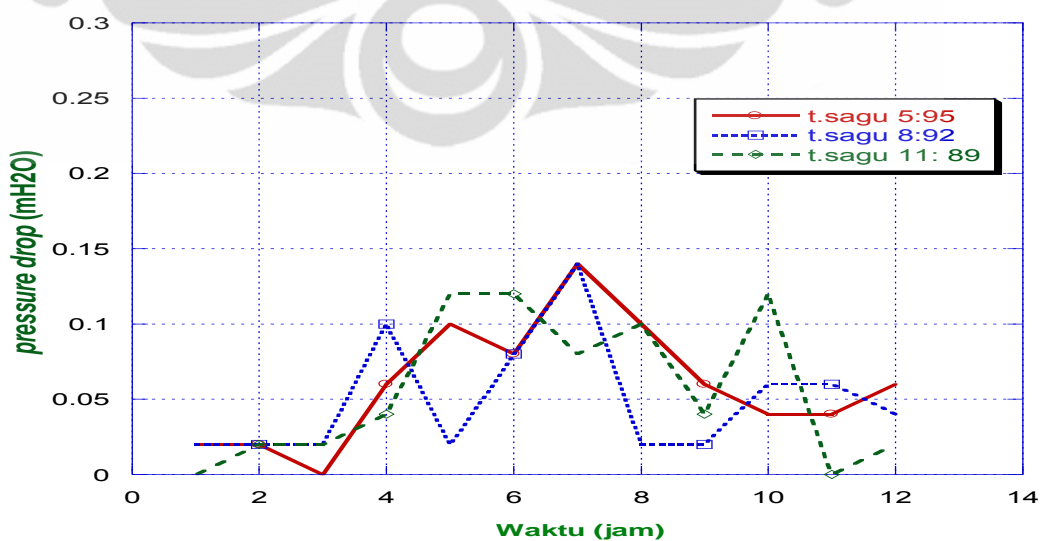
Pada sub-bab ini akan dibahas pengaruh *pressure drop*, suhu dan kelembapan selama proses biosorpsi. Profil suhu, *pressure drop* dan kelembapan ditunjukkan pada Gambar 4.14, 4.15a 4.15b dan 4.16. Pada proses biosorpsi, kelembapan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme (Ravichandara et al., 2009). Kekeringan pada medium filter dapat menimbulkan celah pada medium filter yang dapat mengakibatkan terjadinya *channeling*. Selain itu, rendahnya tingkat kelembapan juga dapat menyebabkan penurunan laju biodegradasi polutan. Kandungan kelembapan yang efisien pada biosorpsi berkisar antara 50%-70% dengan suhu berkisar antara 15-35 °C (Janni et al., 2001). Kelembapan yang terlalu tinggi akan menghambat perpindahan massa dari fas gas ke *biofilm* atau adsorpsi permukaan, sebaliknya apabila medium filter terlalu kering akan membahayakan pertumbuhan mikroorganisme (Ravichandra et al., 2009).

Suplai nutrien yang berlebih dapat menyebabkan pertumbuhan biomassa yang berlebih (*over growth*), dimana *over growth* menyebabkan *clogging* pada biofilter sehingga efisiensi reduksi polutan menurun, kelebihan biomassa akan menghambat perpindahan massa dari fasa gas pada *biofilm* (Daun et al.,2006). Akumulasi biomassa (bioproduk) pada permukaan pelet berpengaruh terhadap peningkatan *pressure drop* (Morgan et al, 2001)

Gambar 4.14 dibawah ini menunjukkan profil kelembapan selama proses biosorpsi. Dari gambar tersebut terlihat kelembapan pelet dengan tepung sagu lebih tinggi dibandingkan dengan pelet tepung beras. Hal ini disebabkan karena pada saat inkubasi larutan nutrisi yang ditambahkan pada pelet dengan bahan pengikat tepung sagu sebesar 85 - 90% (% volume larutan nutrisi) pada kondisi tersebut pelet dalam keadaan yang sangat basah, sedangkan untuk pelet dengan bahan pengikat tepung beras penambahan larutan nutrisi sebesar 50 - 60% (% volume larutan nutrisi).



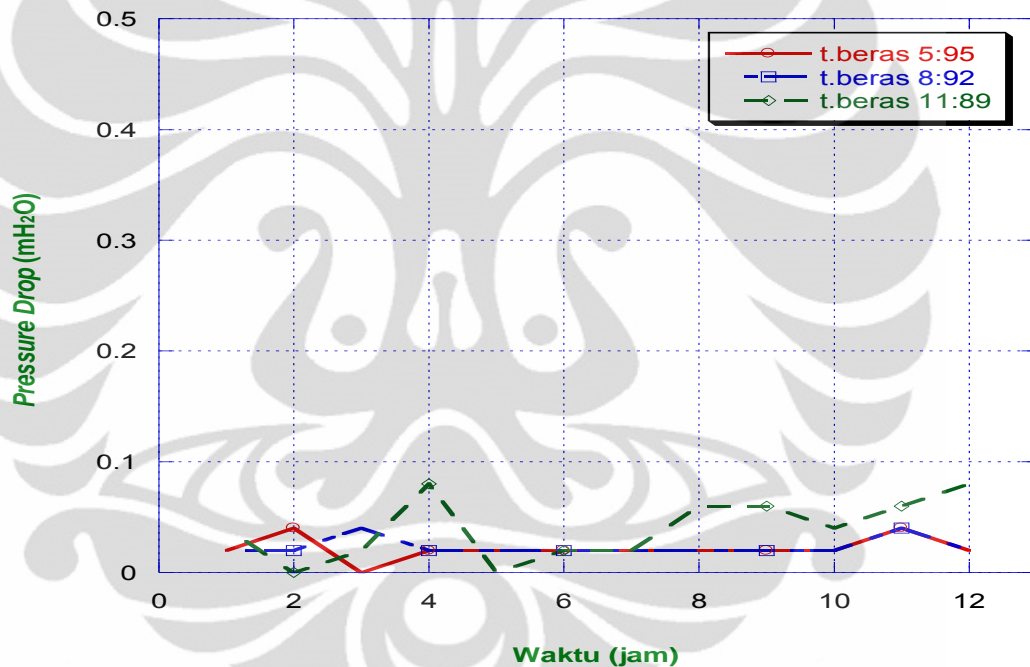
Gambar 4.14 Profil Kelembapan selama Proses Biosorpsi



Gambar 4.15a Profil *pressure drop* pada bahan pengikat tepung sagu

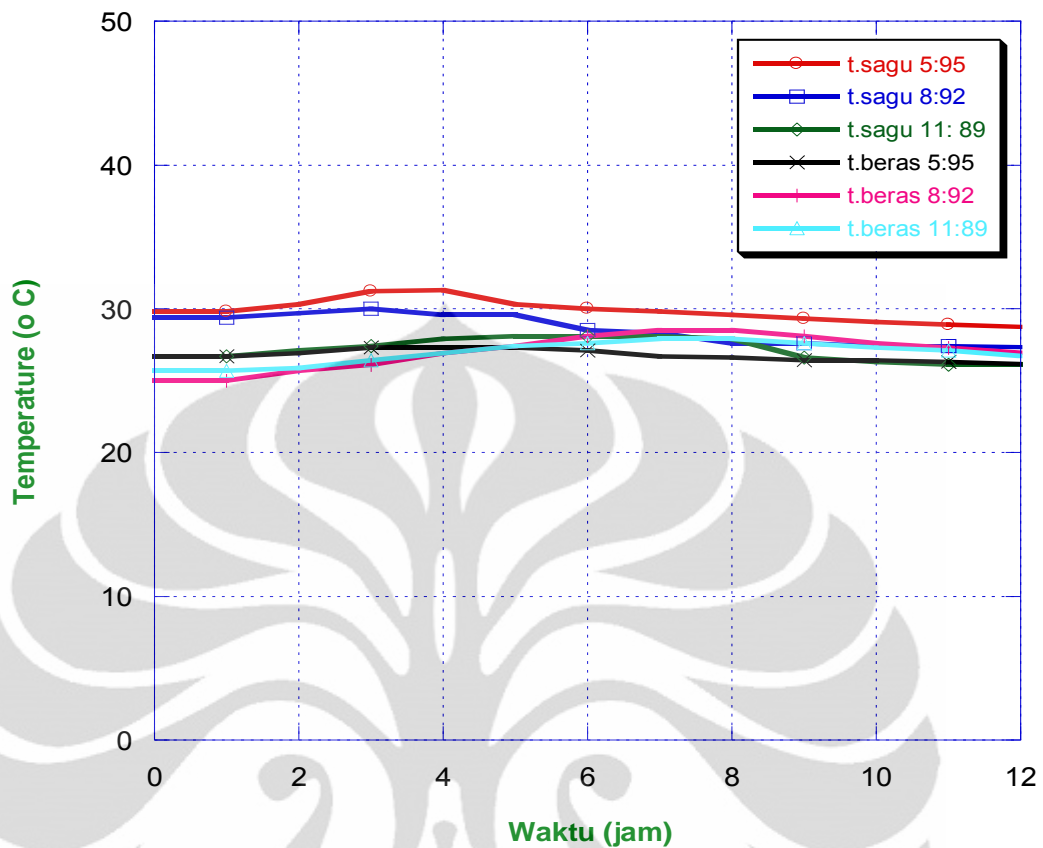


Pada proses biofilter, *pressure drop* sangat dipengaruhi oleh kelembapan. Kandungan *moisture* mempengaruhi *pressure drop* hingga 100%. Seperti pada Gambar 4.14, 4.15a dan 4.15b dapat dilihat bahwa pada kelembapan yang tinggi, *pressure drop* juga meningkat (Duan et al 2004) , ini dapat ditunjukkan dengan membandingkan pelet dengan bahan pengikat tepung sagu dan pelet dengan bahan pengikat tepung beras. Pada tepung sagu kelembapan mencapai 79% dengan *pressure drop* sebesar 0,14 mH<sub>2</sub>O selama proses biosorpsi, sedangkan tepung beras dengan kelembapan 69% mempunyai *pressure drop* 0,02 mH<sub>2</sub>O. Ini jelas berpengaruh terhadap efisiensi reduksi yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.15b Profil *pressure drop* pada bahan pengikat tepung beras

Profil perubahan temperature selama proses bifiltrasi ditunjukkan pada Gambar 4.16. Untuk proses biosorpsi, temperatur operasi harus dijaga pada kondisi konstan, karena laju perumbuhan mikroorganisme dan jenis spesies dalam komunitas mikrobial sangat dipengaruhi oleh temperatur. Sebagian besar aplikasi biofilter terjadi pada temperatur *mesophilik* yaitu berkisar antara 25°C – 40°C, dengan temperatur 35°C – 37°C dianggap sebagai temperatur optimum (Strauss et al., 2003). Temperatur operasi pada penelitian ini berkisar antara 25 – 31°C, perubahan temperatur yang terjadi tidak terlalu signifikan, karena kondisi tersebut masih berada dalam suhu optimum.



Gambar 4.16 Profil Temperatur selama Proses Biosorpsi

Perubahan *pressure drop*, kelembapan dan suhu selama proses biosorpsi dari data yang diperoleh dalam penelitian, perubahan yang terjadi tidaklah signifikan karena hanya sedikit perbedaan yang terjadi antara sifat awal dan akhir selama biosorpsi. *Pressure drop* yang ideal untuk operasi yang stabil lebih rendah dari 25 cmH<sub>2</sub>O, pada penelitian diperoleh *pressure drop* berada pada kisaran 0,02 – 0,14 mH<sub>2</sub>O atau sama dengan 2-14 cmH<sub>2</sub>O.

#### 4.4.4 Hasil Uji Perkembangan Mikroba pada Pelet Kompos Metode TPC (*Total Plate Count*)

Perkembangan mikroorganisme yang terdapat pada medium filter baik sebelum maupun setelah biosorpsi dapat dianalisis dengan metode TPC (*Total Plate Count*). TPC (*Total Plate Count*) merupakan salah satu metode analisis yang bertujuan untuk mengetahui jumlah koloni mikroba pada suatu sampel. Dalam TPC, perhitungan bakteri dilakukan dengan menggunakan asumsi bahwa satu koloni bakteri dihasilkan oleh satu sel bakteri. TPC pada penelitian ini

menggunakan nutrisi agar sebagai medium pengembangbiakan mikroorganisme yang akan dihitung. Hasil dari perhitungan TPC akan direpresentasikan dalam satuan *Colony Forming Units* (CFU) per gram sampel kompos yang diuji. *Total Plate Count* dilakukan sebelum dan sesudah proses biosorpsi untuk menguji seberapa besar aktifitas degradasi yang terjadi dengan mengetahui jumlah bakteri awal dan akhirnya. Teknik *Total Plate Count* (TPC) mempunyai keterbatasan, yakni koloni yang dihasilkan tidak lebih dari 30-300 koloni, dengan asumsi awal satu bakteri akan menghasilkan satu koloni.

Metode TPC dilakukan dalam kondisi yang steril dan aseptis, dalam penelitian ini semua peralatan dan bahan yang akan disterilisasi terlebih dahulu sebelum digunakan agar tidak terkontaminasi oleh bakteri lain. Sterilisasi bahan dilakukan dengan menggunakan autoklaf. Metode sterilisasi ini memiliki suhu efektif 121°C pada tekanan tinggi dengan waktu standar 15 menit, karena cara ini menyediakan suhu yang jauh di atas titik didih. Sementara itu, untuk sterilisasi alat menggunakan pemanasan dengan metode panas kering memiliki suhu efektif 175°C selama 2 jam. Alat yang digunakan pada metode ini adalah oven. Metode ini biasanya digunakan untuk mensterilisasi alat-alat laboratorium.

Setiap kegiatan perpindahan bahan/sampel harus dilakukan dengan teknik transfer aseptis. Teknik transfer aseptis adalah suatu metode atau teknik di dalam memindahkan kultur bakteri dari satu tempat ke tempat lain secara aseptis agar tidak terjadi kontaminasi oleh mikroba lain ke dalam kultur. Teknik transfer aseptis ini sangat esensial dan merupakan kunci keberhasilan prosedur mikrobial dalam analisis mikrobiologi. Oleh karena itu, segala proses perpindahan kultur bakteri dilakukan di dalam *transfer box* (ruangan steril) dan selalu dilakukan dengan pemanasan terlebih dahulu.



**Gambar 4.17** *Transfer box* (ruangan steril)

Selain sterilisasi alat dan bahan serta teknik transfer aseptis, metode TPC juga meliputi dilusi/pengenceran, pembuatan nutrisi agar (NA) sebagai medium mikroba, serta inkubasi sampel TPC dengan suhu 34-35°C selama 2 hari. Adapun inkubasi dilakukan dengan tujuan untuk menunggu pertumbuhan koloni mikroba pada medium agar sebelum dilakukan perhitungan. Rentang suhu tersebut dipilih karena suhu 34°C merupakan suhu maksimum yang digunakan pada proses pengomposan. Selain itu, di atas suhu 35°C, bakteri patogen akan tumbuh. Hal ini tidak diharapkan karena bakteri patogen tersebut dapat membunuh bakteri denitrifikasi. Setelah metode TPC selesai dilakukan, maka sampel yang telah dihitung harus disterilisasi kembali dengan menggunakan autoklaf untuk membunuh mikroba yang terdapat pada sampel.



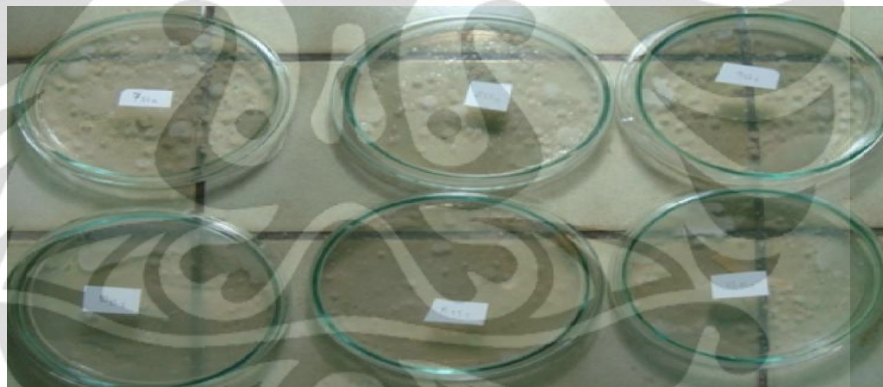
**Gambar 4.18** Pembuatan media nutrisi agar (NA)



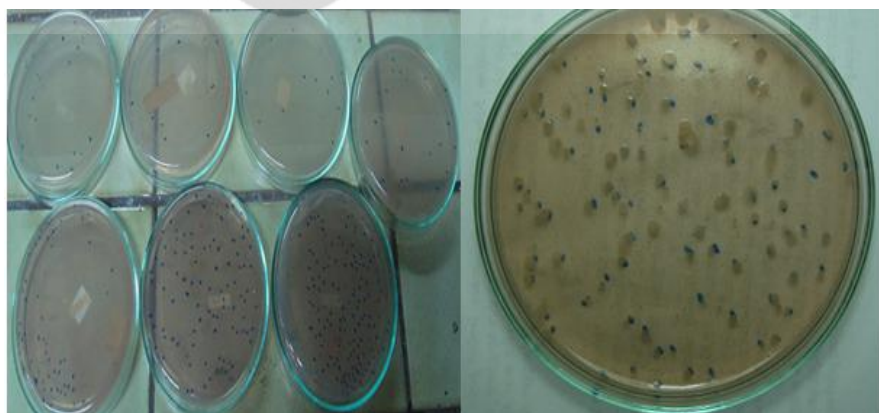
Sebelum dilakukan TPC, adalah penting untuk melakukan uji blangko. Gambar 4.19 menunjukkan hasil uji blangko medium agar. Uji blangko penting untuk dilakukan pada awal TPC dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya kontaminan dalam nutrisi agar dan untuk mengetahui apakah metode dan prosedur yang akan digunakan telah efektif untuk menjamin terbebasnya medium nutrisi agar dari kontaminasi.



**Gambar 4.19** Hasil uji blangko



**Gambar 4.20** Hasil Uji TPC Pelet Kompos Sebelum Proses Biosorpsi



**Gambar 4.21** Hasil Uji TPC Pelet Kompos Setelah Proses Biosorpsi

Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 di atas menunjukkan hasil uji TPC yang dilakukan pada kompos digunakan dalam penelitian. Hasil uji TPC yang dilakukan dengan empat kali pengenceran sampel kompos ( $10^9$ ,  $10^{10}$ ,  $10^{11}$  dan  $10^{12}$ ) yang diuji dengan metode duplikasi dan didapat jumlah rata-rata koloni mikroorganisme dari pengujian ini.



**Gambar 4.22** Hasil Uji TPC yang Terjadi Kontaminasi Jamur

Dari Gambar 4.21 dapat terlihat tumbuhnya jamur pada medium agar yang dapat disebabkan terjadinya kontaminasi pada alat atau bahan yang digunakan dalam pengembangbiakan mikroorganisme pada medium kompos. Kontaminasi dapat terjadi karena alat ataupun bahan yang kurang steril ataupun terjadi kontaminasi pada saat melakukan transfer media atau sampel ke dalam cawan petri. Hasil pengujian terhadap mikroorganisme di dalam medium filter dengan metode TPC dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 berikut ini:

**Tabel 4.4** Hasil Uji TPC Tepung Sagu (sebelum dan setelah biosorpsi) dan %RE yang diperoleh

| Bahan pengikat | Sebelum Biosorpsi |    | jumlah sel   | rata-rata jumlah koloni (CFU/g) | Setelah Biosorpsi |    | jumlah sel   | rata-rata jumlah koloni (CFU/g) | % RE   |
|----------------|-------------------|----|--------------|---------------------------------|-------------------|----|--------------|---------------------------------|--------|
|                | I                 | I  |              |                                 | I                 | II |              |                                 |        |
| t.sagu 5:95    | 2                 | 83 | 7.4<br>9E+12 | 1.87<br>E+12                    | 2                 | 2  | 1.1<br>0E+13 | 2.75E<br>+12                    | 2<br>7 |
| t.sagu 8:92    | 1                 | 77 | 9.4<br>6E+12 | 1.04<br>E+12                    | 4                 | 2  | 1.1<br>4E+13 | 2.85E<br>+12                    | 2<br>1 |
| t.sagu 11:89   | 4                 | 10 | 9.8<br>1E+12 | 2.45<br>E+12                    | 3                 | 4  | 2.2<br>4E+13 | 3.76E<br>+12                    | 5<br>5 |

**Tabel 4.5** Hasil Uji TPC Tepung Beras (sebelum dan setelah biosorpsi) dan %RE yang diperoleh

| Bahan pengikat | Sebelum Biosorpsi |    | jumlah sel | rata-rata jumlah koloni (CFU/g) | Setelah Biosorpsi |     | jumlah sel | rata-rata jumlah koloni (CFU/g) | % RE |
|----------------|-------------------|----|------------|---------------------------------|-------------------|-----|------------|---------------------------------|------|
|                | I                 | II |            |                                 | I                 | II  |            |                                 |      |
| t.beras 5:95   | 49                | 53 | 1.67E+13   | 4.17E+12                        | 596               | 634 | 2.24E+13   | 5.61E+12                        | 79   |
| t.beras 8:92   | 84                | 29 | 1.55E+13   | 3.87E+12                        | 354               | 449 | 1.63E+13   | 4.07E+12                        | 65   |
| t.beras 11:89  | 54                | 29 | 1.20E+13   | 3.00E+12                        | 457               | 493 | 1.62E+13   | 4.04E+12                        | 60   |

Dari Tabel 4.4 Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa jumlah mikroorganisme pada pelet setelah biosorpsi lebih banyak dibandingkan dengan pelet sebelum biosorpsi. Hal ini disebabkan oleh karena, pelet setelah biosorpsi diberikan nutrisi sintetik sebagai sumber makanan dan mikroorganisme medegradasi kontaminan untuk mendapatkan karbon dan energi yang diperlukan untuk bertahan hidup dan berkembang biak. Peningkatan jumlah mikroorganisme tersebut menunjukkan bahwa mikroba dapat bertahan hidup dan memperbanyak diri selama proses biosorpsi berlangsung. Peningkatan jumlah mikroorganisme pendegradasi akan meningkatkan besar *removal efficiency* (%RE) biofilter karena biodegradasi dilakukan oleh mikroorganisme pendegradasi pada lapisan *biofilm*.

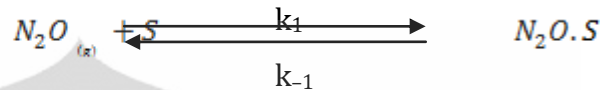
#### 4.4.5 Pemodelan Hasil Eksperimen

Biosorpsi terbagi atas dua jenis proses, yaitu proses biosorpsi gas polutan ke permukaan *biofilm*, dan proses biodegradasi gas polutan yang teradsorp ke permukaan *biofilm* oleh mikroorganisme. Berikut ini dibuat persamaan kinetika dari kedua proses tersebut.

##### 4.4.5.1 Pemodelan Adsorpsi

Model adsorpsi langmuir merupakan model yang paling umum digunakan untuk menentukan jumlah adsorbat yang diadsorp sebagai fungsi tekanan parsial atau konsentrasi pada temperatur tertentu. Model ini mengasumsikan adsorpsi gas ideal pada permukaan ideal. Pemodelan biosorpsi hasil eksperimen biosorpsi menggunakan persamaan adsorpsi Langmuir. Proses biosorpsi ini hanya terjadi pada permukaan *biofilm* saja, biosorpsi yang terjadi pada eksperimen biosorpsi ini

merupakan adsorpsi fisika karena tidak ada reaksi kimia yang terjadi pada *biofilm*, dan proses biosorpsi terjadi pada suhu ruang yang cenderung konstan dan tekanan atmosferik, sehingga persamaan yang lebih cocok untuk digunakan adalah persamaan adsorpsi isothermis Langmuir. Reaksi adsorpsi yang terjadi dituliskan sebagai berikut:



Adsorbat yang digunakan adalah gas  $N_2O$ , dapat dituliskan ke dalam bentuk berikut (Lin et.al., 2004):

$$q_e = (C_0 - C_t) \frac{V}{m} \quad (4.2)$$

Dengan:

$q_e \sim C_{N_2O \cdot S}$  = Konsentrasi ekuilibrium pada adsorben (g/kg)

$C_0$  = Konsentrasi *inlet* gas  $N_2O$  ( $g/m^3$ )

$C_t$  = Konsentrasi gas  $N_2O$  pada waktu  $t$  ( $g/m^3$ )

$V$  = Volum *pack bed* pada kolom biofilter ( $m^3$ )

$m$  = Massa adsorben yang dipakai (kg)

Dengan menggunakan persamaan gas ideal pada kondisi isothermal dan isovolum, perubahan tekanan menjadi sebanding dengan perubahan mol, dan perubahan mol sebanding dengan perubahan massa per volume sampel. Sehingga konsentrasi dalam adsorpsi isothermis Langmuir dituliskan dalam satuan massa, maka konversi tekanan parsial menjadi massa, dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$PV = nRT = \text{konstan}$$

$$P \propto n \text{ (kondisi isothermik, isovolumik)}$$

$$m = n \times Mr$$

$$m_{N_2O} = n_{N_2O} \times Mr_{N_2O} \quad ; \quad C_e = m_{N_2O} / V$$

$$C_e = \frac{n_{N_2O} \times Mr_{N_2O}}{V} \quad (4.3)$$

Persamaan (4.3) digunakan jika data  $N_2O$  teradsorp diperoleh dalam satuan mol. Dengan mengadaptasikan rumus (4.2) dan (4.3), persamaan laju adsorpsi dan desorpsi untuk persamaan reaksi adsorpsi  $N_2O$  ke permukaan biofilm dapat dituliskan dalam persamaan berikut:



$$\text{Laju adsorpsi } N_2O = k_1 C_v C_s \quad (4.4)$$

$$\text{Laju desorpsi } N_2O = k_{-1} C_{N_2O \cdot S} = k_{-1} q_s$$

(4.5)

Dengan:

$C_v$  = Total massa lapisan medium yang masih dapat mengadsorp.

Jadi, persamaan laju reaksi pada permukaan medium kompos:

$$r_{AD} = \text{laju adsorpsi } N_2O - \text{laju desorpsi } N_2O$$

$$r_{AD} = k_1 C_v C_s - k_{-1} q_s$$

$$r_{AD} = k_1 \left( C_v C_s - \frac{k_{-1}}{k_1} q_s \right) \quad ;$$

$$K_L = \frac{k_1}{k_{-1}}$$

$$r_{AD} = k_1 \left( C_v C_s - \frac{q_s}{K_L} \right) \quad (4.6)$$

Dengan:  $K_L$  = Konstanta *Langmuir* ( $m^3/g$ )

Pada kondisi kesetimbangan adsorpsi dan desorpsi  $N_2O$ , laju kesetimbangannya adalah sama, maka persamaan 4.6 menjadi:

$$r_{AD} = 0$$

$$0 = k_1 \left( C_v C_s - \frac{q_s}{K_L} \right)$$

Asumsi, gas  $N_2O$  merupakan satu-satunya gas yang teradsorp ke lapisan permukaan *biofilm* kompos, jadi dapat ditulis:  $q_m = q_s + C_v$ , di mana  $q_m$  merupakan kapasitas penyerapan permukaan *biofilm*. Maka persamaan di atas dapat ditulis:

$$k_1 C_v C_s = k_1 \frac{q_s}{K_L} \quad ; \quad C_v = q_m - q_s$$

$$(q_m - q_s) C_s = \frac{q_s}{K_L}$$

$$q_s = (q_m - q_s) C_s K_L$$

$$q_s = q_m C_s K_L - q_s C_s K_L$$

$$q_s + q_s C_s K_L = q_m C_s K_L$$

$$q_s (1 + C_s K_L) = q_m C_s K_L$$

$$\frac{q_s}{C_s} = \frac{q_m K_L}{1 + C_s K_L}$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1 + C_e K_L}{q_m K_L}$$

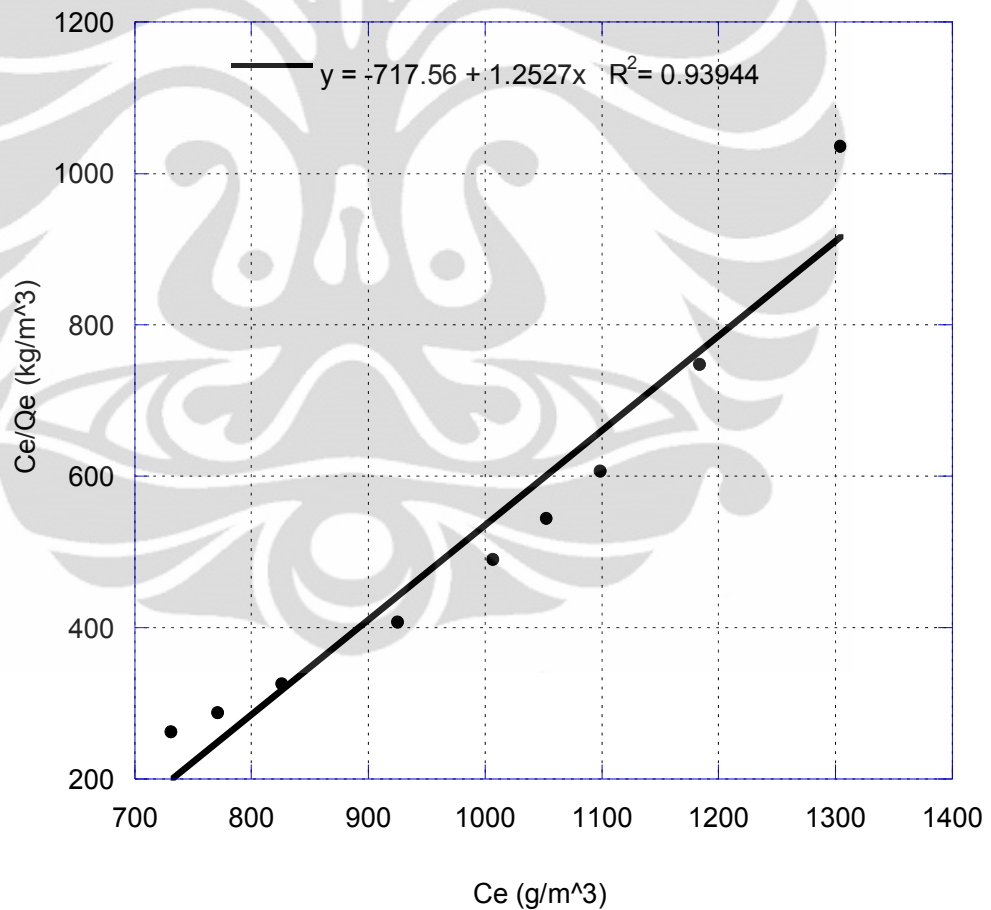
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m}$$

(4.7)

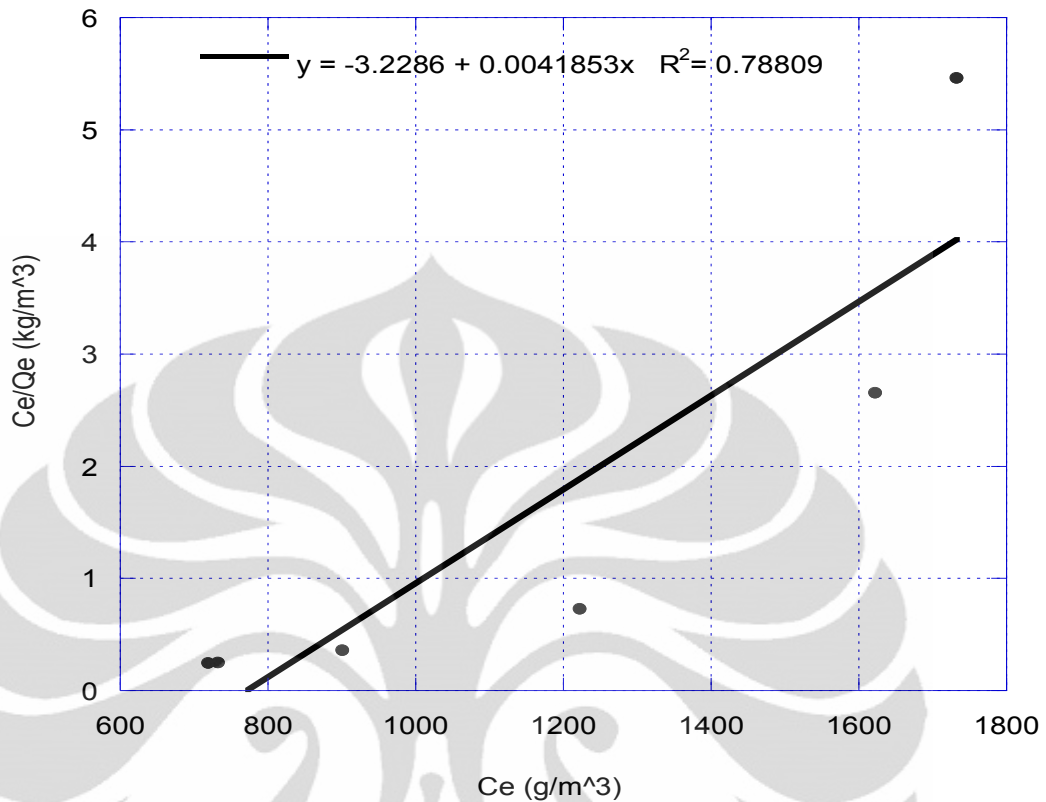
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{1}{q_m} C_e$$

(4.8)

Kemudian diplot data dengan  $C_e$  sebagai sumbu-x dan  $C_e/q_e$  sebagai sumbu-y. Data yang diplot pada  $t = 4$  sampai  $t = 12$ , untuk pengolahan data dan garik persamaan *Langmuir* dapat dilihat pada lampiran 6 dan 7 sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.22 dan 4.23 dibawah ini.



**Gambar 4.23** Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir (bahan pengikat tepung sagu 11:89 %)



**Gambar 4.24** Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir (bahan pengikat tepung beras 5:95 %)

Konstanta Langmuir dapat dicari dari nilai intersep (titik perpotongan garis pada sumbu y) persamaan linearisasi yang diperoleh. Untuk konstanta Langmuir dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\text{gradien} = m = \frac{1}{q_m} \quad (4.9)$$

dan

$$\text{intersep} = \frac{1}{q_m K_L} \quad (4.10)$$

Hubungan antara persamaan (4.9) dan (4.10) dapat dituliskan menjadi persamaan (4.8) sebagai berikut:

$$\text{intersep} = \frac{m}{K_L} \quad (4.11)$$

Konstanta dapat diperoleh dengan mengubah persamaan (4.9) menjadi persamaan (4.12) sebagai berikut

$$m = \frac{1}{q_m} \rightarrow q_m = \frac{1}{m} \quad (4.12)$$

Sehingga nilai  $q_m$  dari persamaan garis  $y = -717,56 + 1,2527x$  diperoleh  $q_m = 0,8$ . Nilai parameter  $K_L$  dan  $q_m$  untuk seluruh grafik adsorpsi isoteremis Langmuir tercantum pada Tabel 4.6. Data perhitungan pada permodelan adsorpsi isoteremis Langmuir dan persamaan garis yang diperoleh, dapat dilihat pada Lampiran 6 dan 7 untuk seluruh variasi rasio bahan pengikat dengan kompos pada laju alir 88 cc/menit dan ketinggian 100 cm medium filter.

**Tabel 4.6** Persamaan konstanta yang diperoleh dari kurva adsorpsi isoteremis Langmuir.

| variasi rasio bahan pengikat | persamaan linier        | $q_m$ (g N <sub>2</sub> O/g) | $K_L$ (m <sup>3</sup> /g) |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|
| tepung sagu<br>5:95          | $y = -10209 + 8,6502x$  | 0.1156<br>04                 | -0.00085                  |
| tepung sagu<br>8:92          | $y = -12186 + 9,447x$   | 0.1058<br>54                 | -0.00078                  |
| tepung sagu<br>11:89         | $y = -717.56 + 1,2527x$ | 0.7982<br>76                 | -0.00175                  |
| tepung beras<br>5:95         | $y = -3,229 + 0.00425x$ | 169,4                        | -0.0021                   |
| tepung beras<br>8:92         | $y = -435.75 + 1,13x$   | 0.8849<br>56                 | -0.00259                  |
| tepung beras<br>11:89        | $y = -472.94 + 1,1864x$ | 0.8428<br>86                 | -0.00251                  |

Adapun tanda negatif pada konstanta Langmuir ( $K_L$ ) menunjukkan bahwa gas N<sub>2</sub>O yang dapat diadsorp semakin berkurang. Namun, nilai nominalnya menunjukkan kemampuannya dalam mengadsorp. Semakin besar nilai konstanta Langmuir, maka semakin tinggi kemampuannya mengadsorp. Sedangkan, konstanta  $q_m$  menunjukkan kapasitas biosorpsi medium. Semakin besar  $q_m$ , semakin banyak N<sub>2</sub>O yang dapat diadsorp. Dari Tabel 4.6, dapat dilihat bahwa medium filter yang memiliki kemampuan mengadsorp paling besar untuk variasi rasio bahan pengikat adalah tepung beras 5:95% (ditunjukkan pada gambar 4.13 dengan % RE yang paling tinggi).

#### 4.4.5.2 Pemodelan Kinetika Michaelis Menten

Hasil eksperimen biosorpsi pada kondisi tidak stabil ini dimodelkan menggunakan persamaan Michaelis-Menten (Chiu *et. al.*, 2006, Kim *et al.*, 2000). Parameter Kinetik  $V_m$  dan  $K_s$  ditentukan oleh persamaan Michaelis-Menten

sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (4.13) dan (4.14) (Chiu et. al., 2006, Kim *et al.*, 2000). Nilai laju reduksi dari eksperimen ditentukan dengan persamaan (Chiu et. al., 2006) (4.10).

$$R = \frac{C_{in} - C_{out}}{t} = \frac{SV}{\alpha} (C_o - C_e) \quad (4.13)$$

Nilai parameter yang penting untuk diketahui dalam mengevaluasi efektivitas biodegradasi N<sub>2</sub>O oleh mikroorganisme dalam kompos pada penelitian ini berupa K<sub>s</sub> dan V<sub>m</sub>. Ini dikarenakan K<sub>s</sub> menunjukkan ukuran kemampuan mikroorganisme dalam medium filter kompos kambing mendegradasi gas N<sub>2</sub>O, dan V<sub>m</sub> merupakan laju biodegradasi maksimum yang dapat dicapai oleh mikroorganisme di dalam kompos. Untuk mendapatkan nilai parameter K<sub>s</sub> dan V<sub>m</sub> dari persamaan linearisasi Michaelis – Menten dalam penelitian ini, diturunkan terlebih dahulu persamaan (4.11) berikut ini yang merupakan rumus laju perubahan konsentrasi gas polutan terhadap perubahan kedalaman medium filter.

$$\frac{-dC}{dl} = \frac{V_m C}{K_s + C} \left( \frac{S_a}{F} \right) \alpha \quad (4.14)$$

$$-dC = \frac{V_m C}{K_s + C} \left( \frac{S_a}{F} \right) \alpha dl \quad (4.15)$$

$$-\frac{dC}{\frac{V_m C}{K_s + C}} = \left( \frac{S_a}{F} \right) \alpha dl \quad (4.16)$$

$$-\frac{(K_s + C) dC}{V_m C} = \left( \frac{S_a}{F} \right) \alpha dl \quad (4.17)$$

$$-\frac{(K_s + C) dC}{V_m C} = \left( \frac{S_a}{F} \right) \alpha dl \quad (4.18)$$

Integrasi ruas kiri persamaan (4.13) dari C = C<sub>o</sub> ke C = C<sub>e</sub> dan ruas kanan dari L = 0 ke L = L menghasilkan

$$\int_{C=C_o}^{C=C_e} -\left( \frac{K_s}{V_m C} + \frac{C}{V_m C} \right) dC = \int_{L=0}^{L=L} \left( \frac{S_a}{F} \right) \alpha dL \quad (4.19)$$

$$\int_{C=Co}^{C=Ce} -\left(\frac{K_s}{V_m C} + \frac{1}{V_m}\right) dC = \int_{L=0}^{L=L} \left(\frac{S_a}{F}\right) \alpha dL \quad (4.20)$$

$$-\frac{K_s}{V_m} (\ln Ce - \ln Co) - \frac{1}{V_m} (Ce - Co) = \left(\frac{S_a}{F}\right) \alpha (L - 0) \quad (4.21)$$

$$-\frac{K_s}{V_m} (\ln Ce - \ln Co) - \frac{1}{V_m} (Ce - Co) = \left(\frac{S_a}{F}\right) \alpha L \quad (4.22)$$

$$\frac{K_s}{V_m} (\ln Co - \ln Ce) + \frac{1}{V_m} (Co - Ce) = \left(\frac{S_a L}{F}\right) \alpha \quad (4.23)$$

$$\frac{K_s}{V_m} (\ln Co - \ln Ce) + \frac{1}{V_m} (Co - Ce) = \left(\frac{1}{SV}\right) \alpha \quad (4.24)$$

$$\frac{K_s}{V_m} (\ln Co/Ce) + \frac{1}{V_m} (Co - Ce) = \left(\frac{\alpha}{SV}\right) \quad (4.25)$$

$$\frac{K_s}{V_m} (\ln Co/Ce) \left(\frac{1}{Co - Ce}\right) + \frac{1}{V_m} = \left(\frac{\alpha}{SV(Co - Ce)}\right) \quad (4.26)$$

$$\frac{K_s}{V_m} \left(\frac{1}{\ln(Co/Ce)}\right) + \frac{1}{V_m} = \left(\frac{\alpha}{SV(Co - Ce)}\right) \quad (4.27)$$

Dengan  $R = SV(Co - Ce)/\alpha = \frac{Co - Ce}{t}$  (4.28)

$$C_{ln} = (Co - Ce)/\ln(Co/Ce) \quad (4.29),$$

maka akan didapatkan persamaan berikut ini:

$$\frac{K_s}{V_m} \left(\frac{1}{C_{ln}}\right) + \frac{1}{V_m} = \left(\frac{1}{R}\right) \quad (4.30)$$

$$\frac{K_s}{V_m} + \frac{C_{ln}}{V_m} = \left(\frac{C_{ln}}{R}\right) \quad (4.31)$$

$$\left(\frac{C_{in}}{R}\right) = \frac{K_s}{V_m} + \frac{C_{in}}{V_m} \quad (4.32)$$

$$\left(\frac{C_{in}}{R}\right) = \frac{1}{V_m} C_{in} + \frac{K_s}{V_m} \quad (4.33)$$

Pada linearisasi dimana :

$$y = \left(\frac{C_{in}}{R}\right)$$

(4.34)

$$x = (C_{in})$$

(4.35)

maka:

$$a = \frac{K_s}{V_m} \quad (\text{intersept}) \quad (4.36)$$

$$b = \frac{1}{V_m} \quad (\text{slope/gradien}) \quad (4.37)$$

dengan:  $R$  = laju reduksi ( $\text{g/m}^3 \cdot \text{h}$ )

$V_m$  = laju reduksi maksimum ( $\text{g/m}^3 \cdot \text{h}$ )

$K_s$  = konstanta saturasi ( $\text{g/m}^3$ )

$C_{in} = C_o$  = konsentrasi  $\text{N}_2\text{O}$  terukur pada *inlet* biofilter ( $\text{g/m}^3$ )

$C_{out} = C_e$  = konsentrasi  $\text{N}_2\text{O}$  terukur pada *outlet* biofilter ( $\text{g/m}^3$ )

$t$  = waktu pada rentang pengambilan  $C_{in}$  dan  $C_{out}$  (jam)

$S_a$  = *cross sectional area* ( $\text{m}^2$ )

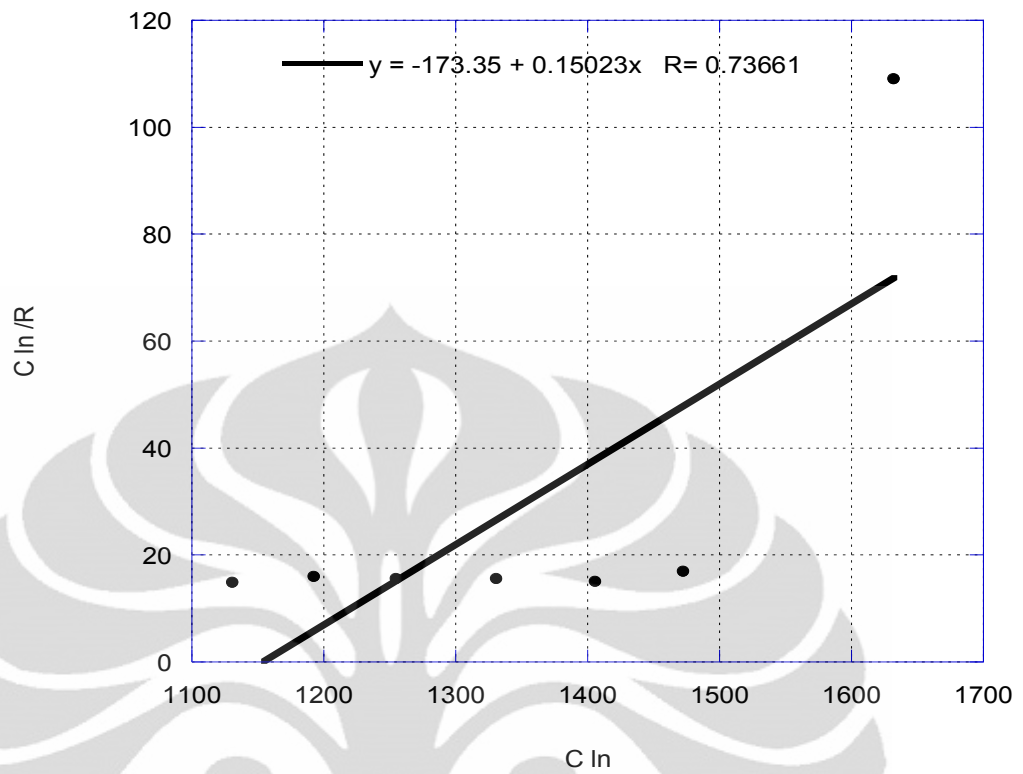
$F$  = laju alir gas ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

$L$  = tinggi kolom *packed bed* (m)

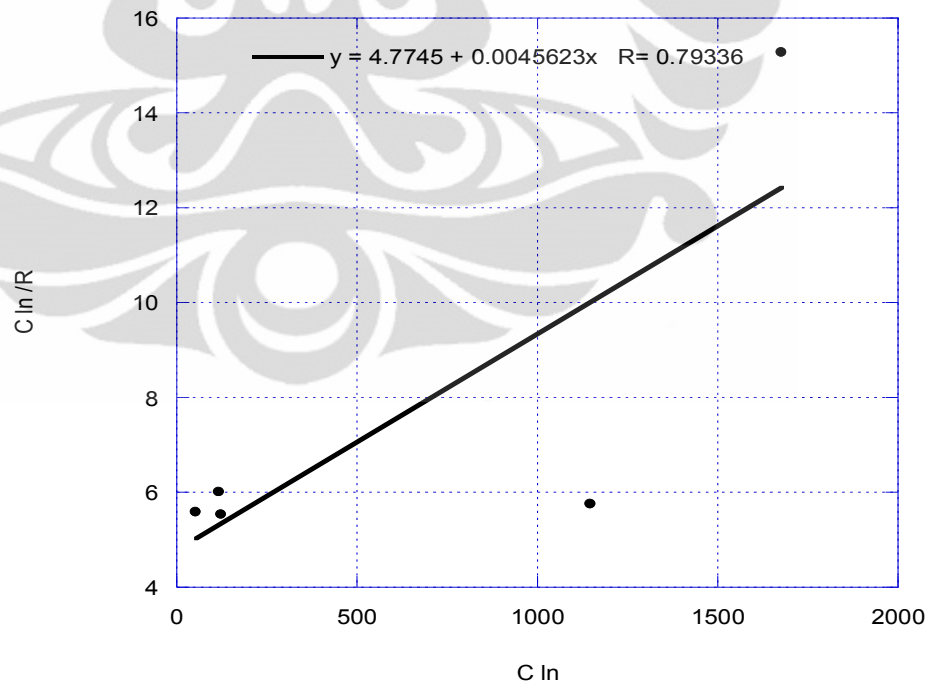
$SV = F/S_a L = \text{space velocity}$  ( $\text{jam}^{-1}$ )

$\alpha$  = koefisien konversi





**Gambar 4.25** Kurva Michaelis – Menten (bahan pengikat tepung sagu 11:89%)



**Gambar 4.26** Kurva Michaelis – Menten (bahan pengikat tepung beras 5:95%)



Gambar 4.24 dan 4.25 merupakan data-data dari  $t = 4$  sampai  $t = 12$  atau data pada keadaan gas sudah stabil sehingga diperoleh persamaan garis, selanjutnya nilai  $V_m$  dan  $K_s$  dapat diketahui dari persamaan tersebut dengan menggunakan persamaan (4.36) dan (4.37). Hasil dari perhitungan ditabelkan pada Tabel 4.7

**Tabel 4.7** Persamaan, nilai  $V_m$  dan  $K_s$  dari kurva degradasi Michaelis – Menten hasil eksperimen

| variasi rasio       | persamaan linier          | $V_m$<br>(g/m <sup>3</sup> jam) | $K_s$<br>(g/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| tepung sagu 5:95%   | $y = -711.6 + 0.49016x$   | 2.04                            | -<br>1451.65                 |
| tepung sagu 8:92%   | $y = 0.2378x - 333.05$    | 4.205                           | -<br>1400.54                 |
| tepung sagu 11:89   | $y = -173.35 + 0.15023x$  | 6.656                           | -<br>1153.9                  |
| tepung beras 5:95%  | $y = 4.7745 + 0.0045623x$ | 217.391                         | 1037.9<br>35                 |
| tepung beras 8:92%  | $y = 11.54 + 0.0062571x$  | 158.730                         | 1831.7<br>46                 |
| tepung beras 11:89% | $y = 28.958 - 0.020204x$  | -49.505                         | -<br>1433.56                 |

Nilai  $V_m$  mengindikasikan besarnya laju biodegradasi  $N_2O$  pada kompos, dan  $K_s$  adalah parameter kejenuhan kompos dalam mereduksi gas  $N_2O$  pada jangka waktu tertentu. Dari Tabel 4.7 pelet dengan bahan pengikat tepung beras 5:95% memiliki nilai  $V_m$  yang paling besar yaitu sebesar  $217,39 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$  dan  $K_s$  sebesar  $1037,94 \text{ g m}^{-3}$ . Semakin besar nilai  $K_s$ , maka semakin cepat kompos mencapai kejenuhan dalam mereduksi  $N_2O$ . Nilai laju biodegradasi maksimum ( $V_m$ ) pelet dengan bahan pengikat tepung beras 5:95% cukup tinggi dibandingkan dengan kompos variasi rasio bahan pengikat lainnya.

## BAB V

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

- Efisiensi reduksi paling optimum selama 12 jam yaitu sebesar 79% diperoleh pada variasi rasio tepung beras dengan kompos 5:95%.
- Sifat fisik dan kimia medium filter sebelum dan setelah proses biosorpsi mengalami perubahan yang tidak signifikan dan cenderung stabil. Ini terlihat pada perubahan *water content* sebesar 15%, pH antara 7 – 7,5, densitas sebesar 10 % dan porositas menurun 10% setelah proses *biosorpsi*.
- Pada proses biosorpsi, *pressure drop* sangat dipengaruhi oleh kelembapan, pada kelembapan yang tinggi, *pressure drop* meningkat, pada tepung sagu kelembapan mencapai 79% dengan *pressure drop* sebesar 0,14 mH<sub>2</sub>O selama proses biosorpsi, sedangkan tepung beras dengan kelembapan 69% mempunyai *pressure drop* 0,02 mH<sub>2</sub>O. Temperatur operasi berada pada suhu optimum yaitu antara 25 – 31°C.
- Jumlah mikroorganisme meningkat 20% setelah proses biosorpsi. Peningkatan jumlah mikroorganisme tersebut menunjukkan bahwa mikroorganisme dapat bertahan hidup dan memperbanyak diri selama proses biosorpsi berlangsung.
- Estimasi parameter dengan persamaan adsorpsi Langmuir menunjukkan bahwa  $K_L = -0,0021 \text{ m}^3/\text{g}$  dan  $q_m = 169,4 \text{ g N}_2\text{O}/\text{kg}$  dan estimasi dengan Michaelis Menten menunjukkan bahwa  $V_m = 1037,94 \text{ g}/\text{m}^3\text{jam}$  dan  $K_s = 217,39 \text{ g}/\text{m}^3$  kompos pada bahan pengikat tepung beras dengan rasio 5:95%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allen, E.R., & Yang, Y. (1991, June). *Biofiltration control of hydrogen sulfide emissions*. Proceedings of the 84th annual meeting and exhibition of the air & waste management association. Pittsburgh, Canada. PA: Air & Waste Management Association.
- Arisantoro, I. (2010). Biofiltrasi Gas Dinitrogen Monoksida Dengan Pelet Kompos Berbasis Kotoran Kambing. *Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia*. Depok.
- Bohn, H. L. (1996, June 23–26). *Biofilter Media*. Proceedings of the 89th annual meeting and exhibition of the air & waste management association. Nashville, TN. Pittsburgh, PA: Air & Waste Management Association
- Chan, W.C., & Zheng, R.X., (2005). A new synthetic biofiltration material: poly(vinyl alcohol)/pig manure compost composite beads. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 80, 574–580.
- Chang, P.Y., Edward, D., Schroeder, & Jianmeng, Chen. (2006). Carbon Foam-Based NO<sub>x</sub> Biofilter. *Feasibility Assessment and Final EISG Report for California Energy Commission. Department of Civil & Environmental Engineering, California*.
- 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*. *hemosphere* 41, 329–336.
- Chiu Yi-Cheng, Chi-Wen Lin. Tsang-Chih Kao, & Xiao-Yan Tang. (2006). Biodegradation kinetics and effects of operating parameters on the performance of a methyl tert-butyl ether degrading biofilter. *Spinger: Water, Air, and Soil Pollution* 177: 399–410.
- Corsi, R.L., & Seed, L. (1995). Biiltration of BTEX: media, substrate, and loadings effects. *Environmental Progress*, 14, 151–158.
- Devanny, J.S., Deshusses, M.A., & Webster, T.S. (1999). *Biofiltration of Air Pollution Control*. Lewis Publishers, NY.
- Djaswadi, Nasuka, Harsono, Masturi, Sukani, Sarwoko, & Haryati. S. (2001), Desain dan Rekayasa Alat Pengolahan Gas Organik di Industri Tepung Ikan dengan Menggunakan Teknologi Biofilter. *Depertemen Perindustrian dan Perdagangan R.I*. Semarang,
- Duan, Huiqi., Lawrence, C.C., Koe, Rong Yan, Xiaoge Chen. (2006). Biological Treatment of H<sub>2</sub>S Using Pelet Activated Carbon As a Carrier of Microorganism In A Biofilter. *Water Research* 40. Singapore.
- Duan, Huiqi., Lawrence Choon Chiaw Koe, Rong Yan. (2004). Treatment of H<sub>2</sub>S using a horizontal biotrickling filter based on biological activated carbon:

reactor setup and performance evaluation. *Environmental Biotechnology. Appl Microbiol Biotechnol* 67: 143–149

Elias, A., Baron, A., Javier Rios, F., Arreguy, A., Munguira, M., Penas, J., & Luis, J. (2000, August 8). Application of biofiltration to the degradation of hydrogen sulfide in gas effluents. *Kluwer Academic Publisher. Biodegradation* 11: 423-427

Filayuri, Shilfa. (2009). Evaluasi Kinerja Medium Berbasis Kompos sebagai Material Isian pada Biofiltrasi Gas Dinitrogen Monoksida. *Proposal Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian Departemen Teknik Kimia FTUI. Depok.*

Gabriel, D., Maestre, L., Martin, X., Gamisans, & Lafuente, J. (2007). Characterisation and Performance of Coconut Fibre as Packing Material in The Removal of Ammonia in Gas-Phase Biofilters. *Biosystems Engineering* 97 481 – 490.

Gaudin, François, Yves Andres, and Pierre Le Cloirec. 2007. .Packing Material Formulation for Odorous Emission Biofiltration. *Chemosphere* 70: 958 – 966.

Govind, Rakesh. (2009). *Biofiltration: An Innovative Technology for The Future*. University of Cincinnati, Cincinnati.

Govind, R. (1998). Review of biofiltration and its implications for climate change. Paper No. 2009-A-956-AWMA Detroit, MI.

Haryanto, B. (1992). Potensi dan Pemanfaatan Sagu. *Penerbit Kanisius. Yogyakarta*. Pp. 78-121.

Hirai. (1999). Comparison of biological removal characteristic of H<sub>2</sub>S and NH<sub>3</sub> using for kind of inorganic carrier.

Hudepohl, Nate J. (1999). Biofilter technology for NO<sub>x</sub> control. *University of California, Davis.*

Jamaran, I., Djuma`ali, Koesnandar, Tjahjoko, A., Supriyanto, Meidiawati, D.P., (1995). *Prosiding Seminar Bioteknologi Biomasa BPPT I.*

Jiang, R., Huang, S., Yang, J. ( 2007, December 7). Biological Removal of NO<sub>x</sub> From Simulated Flue Gas in Aerobic Biofilter. *Global NEST Journal of College of Environmental Science and Engineering*, Vol 10, No 2, pp 241-248.

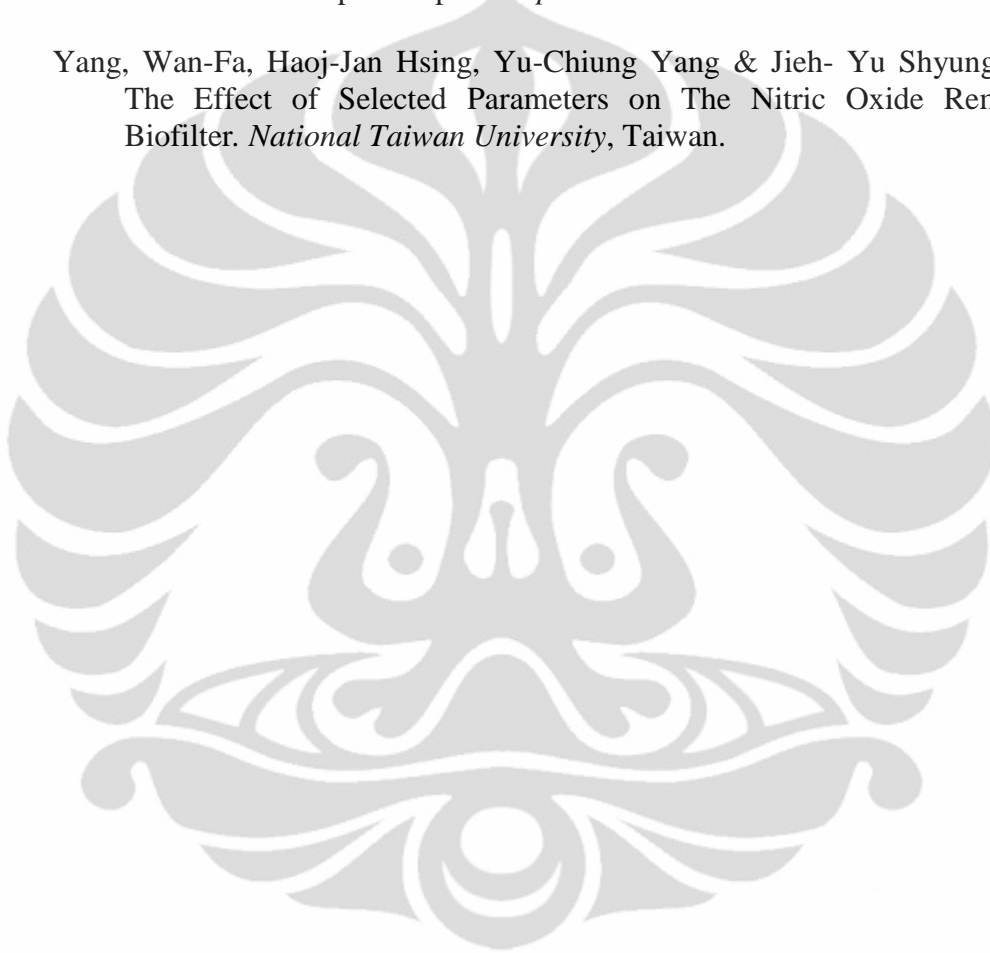
Jin, Y., Viega, M., & Kennes, C. (2005). Bioprocesses for the removal of nitrogen oxides from polluted air, *J. Chem. Technol. Biotechnol*, 80, 483-494.

Janni, K. A., Maier, W. J., Kuehn, T. H., Yang, Bridges, B. B., Velsey, D., & Nellis, M. A. (2001). Evaluation of bioltration of air—an innovative air pollution control technology. *ASHRAE Transactions*, 107, 198–214.

- Kaili Lin, Jiayong Pan, Yiwei Chen, Rongming Cheng, & Xuecheng Xu. (2008). Study the adsorption of phenol from aqueous solution on hydroxyapatite nanopowders. *Journal of Hazardous Materials* 161 (2009) 231–240
- Kennes, C., & Thalasso F. 1998. *Waste gas biotreatment technology. J. Chem. Technol. Biotechnol* , 72, 303-319.
- Kennes, C. Jin, Y. M.Veiga. (2005). Bioprocesses for the removal of nitrogen oxides from polluted air. *J. Chem. Technol, Biotechnol*, Vol. 80, pp 483–494
- Kennes, C., & Veiga, M.C. 2001. Conventional biofilters. *Kluwer Academic Publishers, The Netherlands*, 47-98.
- Kim, Ku-Yong, Hyun-Woo Kim, Sun-Kee Han, Eung-Ju Hwang, Chae-Young Lee, & Hang-Sik Shin. (2008). Effect of granular porous media on the composting of swine manure. *Was. Man.* 2336 – 2343.
- Kim, N. Mitsuyo, Hirai, Makoto, & Shoda. (2000). Comparison of organic and inorganic packing materials in the removal of ammonia gas in biofilters. *Journal of Hazardous Materials* B72 2000 77–90
- Lin, K. Jiayong Pan, Yiwei Chen, Rongming Cheng, Xuecheng Xu. (2004). Study the adsorption of phenol from aqueous solution on hydroxyapatite nanopowders. *Journal of Hazardous Materials* 161 231–240
- Linda, M. (2010). *Biofiltrasi Gas Nitrogen Dioksida Menggunakan Kompos Berbasis Kotoran Kambing Termodifikasi Sebagai Medium Filter*. Depok: Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Liu, Yonghui. (2005). Removal of Ternary VOCs in air streams at high loads using a compost-based biofilter. *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 23 ,pp 85–95
- Melvin, Galera. (2007). Removal of NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S and Toluene by Biofilters Packed with Rock Wool-Compost Media. *International Journal of Chemical Engineering*. Vol. 13. No. 6.
- Manik, S. (2005). *Penghilangan Gas SO<sub>2</sub> Dengan Teknik Biofiltrasi Menggunakan Thiobacillus sp. Dengan Media Kompos, Tanah dan Serbuk Gergaji*. Bogor: Fakultas Teknik Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Murdinah. 1989. *Studi Stabilisasi Dalam Air dan Daya Pikat Pakan Udang Bentuk Pelet*. Bogor: Fakultas Pascasarjana Institut Pertanian.
- Morgan-Sagastume, F., Sleep, B. E., & Allen, D. G. 2001. Effects of biomass growth on gas pressure drop in biolters. *Journal of Environmental Engineering ASCE*, 127, 388–396.
- Noviani, C. (2009). *Reduksi Gas Dinitrogen Monoksida melalui Biofiltrasi dengan Menggunakan Material Kompos Termodifikasi*. Depok: Laporan Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Ondarts.M., C'ecile. Vincent. P., & Sabine, S. (2010). Indoor Air Purification by Compost Packed Biofilter. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. Volume 8 2010 Article A54.

- Ottengraf, S. P. P., Meesters, J. J. P., Van den Oever, A. H. C., & Rezema, H. R. (1986). Biological elimination of volatile xenobiotic compounds in biolters. *Bioprocess Engineering*, 1, 61–69.
- Pagans, L., Estel, Font, X., & Sánchez, A. (2005). Biofiltration for Ammonia Removal from Composting Exhaust Gases. *Chemical Engineering Journal* 113 105 – 110.
- Purnamasari, H. (2008). *Aplikasi Teknologi Biofilter Untuk Penghilangan Gas NH<sub>3</sub> Oleh Bakteri Nitrosomonas sp Dengan Menggunakan Bahan Pengisi Kompos, Arang Sekam, dan Serasah di Pabrik Lateks Pekat*. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian.
- Ravichandra, Potumarthi, & Gangangi, A. (2009). Degradation in the biofilter Hydrogen Sulfide: Evaluation of New Materials by immobilizing filter Thiobacillus sp. *International Journal of Chemical Reactor Engineering Research* ISSN 1542-6580 Volume 7, Article A17
- Rebecca. M., Quarmby, J & Stephenson, T. (2001). The effects of media size on the performance and efficiency of biological aerated filters. *Water research*, vol. 35 2514-2522.
- Ravi, R., Philip, L., dan Swaminathan, T. (2009). Performance Evaluation of a Compost Biofilter Treating Dichloromethane Vapors. *International Journal of Chemical Engineering Research* ISSN 0975 – 6442 Volume 1, Number 2 pp. 63–76.
- Shareefdeen/Singh (Eds.). (2005). *Biotechnology for odor and air pollution control*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Simanjuntak, J. (2008). Reduksi gas dinitrogen monoksida dengan menggunakan pupuk kompos sebagai biofilter. Depok: *Laporan Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI*.
- Sinaga, R. (2011). Pengaruh Zat Pengikat pada Pelet Kompos Sebagai Medium Biofilter dalam Proses Reduksi Gas Dinitrogen Monoksida. Depok: *Laporan Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI*.
- Strauss, J. M., Riedel, K. J., & du Plessis, C. (2003). Mesophilic and Thermophilic BTEX Substrate Interactions for a Toluene-acclimatized Biofilter. *Springer-Verlag Appl Microbiol Biotechnol* 64: 855–861
- Sutanto, R. (2002). *Pertanian Organik: Menuju Pertanian Alternatif dan Berkelanjutan*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Soedomo, M. (1995), Proses Biofiltrasi untuk Pengolahan Gas Buang Sulfur Dioksida. Bandung: *Institut Teknologi Bandung*.
- Swanson, W.J., & Loehr, R.C. (1997). *Biofiltration: fundamentals, design and operations principles and applications of biological APC technology*. J Environ Eng ASCE 123:538–54

- Utami et al. (2008). Pengaruh Ketinggian Filter dan Penambahan Nutrisi pada Proses Biofiltrasi  $N_2O$  dengan Medium Berbasis Kompos. *Pusat Penelitian Ilmu dan Teknologi – RISTEK*
- Van Groenestijn, J.W., & N. J. R. Kraakman.( 2005). Recent Development in Biological Waste Gas Purification in Europe. *Chemical Engineering Journal* 113 (2005) 85 – 91.
- Widjanarko, Anondho. ( 2010). Mekanisme Adsorpsi Gas  $N_2O$  pada Medium Filter Pelet Kompos. Depok: *Departemen Teknik Kimia FTUI*.
- Yang, Wan-Fa, Haoj-Jan Hsing, Yu-Chiung Yang & Jieh- Yu Shyung. (2007). The Effect of Selected Parameters on The Nitric Oxide Removal by Biofilter. *National Taiwan University, Taiwan*.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Hasil Uji EBRT

| <b>t<br/>(menit)</b> | <b>luas peak<br/><i>N<sub>2</sub>O</i> inlet</b> | <b>luas peak <i>N<sub>2</sub>O</i><br/>outlet</b> |
|----------------------|--|---|
| 1                    | 99073  | 12177   |
| 5                    | 99073  | 15409   |
| 9                    | 99073  | 20622   |
| 13                   | 99073  | 30182   |
| 17                   | 99073  | 57624   |
| 20                   | 99073  | 52307   |
| 25                   | 99073  | 51442   |
| 30                   | 99073  | 69753   |
| 35                   | 99073  | 81149   |
| 40                   | 99073  | 96371   |
| 55                   | 99073  | 97674   |
| 61                   | 99073  | 99401   |



## Lampiran 2. Hasil Kalibrasi Gas N<sub>2</sub>O

| Volume (µL) | Peak Atas |          |                  |      |                  |        | Rata-rata peak N <sub>2</sub> O | Fixed Mean |
|-------------|-----------|----------|------------------|------|------------------|--------|---------------------------------|------------|
|             | udara     |          | H <sub>2</sub> O |      | N <sub>2</sub> O |        |                                 |            |
| 0.1         | 1.112     | 582404   | -                | -    | 2.478            | 11230  | 14124                           | 12075      |
|             | 1.118     | 597650   | -                | -    | 2.488            | 18222  |                                 |            |
|             | 1.095     | 658297   | -                | -    | 2.47             | 12920  |                                 |            |
|             |           | 612783.7 |                  |      |                  |        |                                 |            |
| 0.3         | 1.055     | 1949207  |                  |      | 2.442            | 39361  | 35050                           | 39801      |
|             | 1.072     | 1942344  | -                | -    | 2.458            | 40241  |                                 |            |
|             | 1.075     | 1551038  | -                | -    | 2.452            | 25548  |                                 |            |
|             |           | 1814196  |                  |      |                  |        |                                 |            |
| 0.7         | 1.08      | 2174213  | 2.12             | 1209 | 2.467            | 38457  | 40733                           | 43729      |
|             | 1.083     | 2948949  | 2.092            | 1215 | 2.475            | 49001  |                                 |            |
|             | 1.057     | 2284830  |                  |      | 2.442            | 34742  |                                 |            |
|             |           | 2469331  |                  |      |                  |        |                                 |            |
| 1           | 1.072     | 4916612  |                  |      | 2.472            | 99073  | 88164                           | 108620     |
|             | 1.065     | 4488550  |                  |      | 2.465            | 90963  |                                 |            |
|             | 1.09      | 1463200  |                  |      | 2.47             | 26796  |                                 |            |
|             | 1.218     | 7633362  | -                | -    | 2.723            | 135824 |                                 |            |

Untuk data kalibrasi, diambil data dengan simulasi hasil R<sup>2</sup> terbaik, yaitu data sebagai berikut:

| X (volume gas dalam syringe mL) | Y (volume gas dalam syringe mL) |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 0.1                             | 12075                           |
| 0.3                             | 39801                           |
| 0.7                             | 43729                           |
| 1                               | 108620                          |

Plot grafik volume gas N<sub>2</sub>O (sebagai x) vs luas peak N<sub>2</sub>O (sebagai y) dari data di atas menghasilkan persamaan kalibrasi:  $y = 9E-06x + 0,0651$

### Lampiran 3. Data Hasil Uji Variasi Rasio Bahan Pengikat Tepung Sagu

Langkah perhitungan kinerja biofilter dalam mereduksi N<sub>2</sub>O:

- Menghitung volume N<sub>2</sub>O hasil biofiltrasi dari persamaan kalibrasi.
- Menghitung massa N<sub>2</sub>O dengan massa jenis N<sub>2</sub>O = 1812 g/mL
- Menghitung konsentrasi N<sub>2</sub>O.
- Menghitung RE (*Removal Efficiency*) dengan persamaan:

$$\text{Removal Efficiency (RE)} = \left( \frac{C_i - C_e}{C_i} \right) \times 100$$

a. **Data Hasil Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat tepung sagu dengan Kompos (5:95 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| Waktu | Waktu Retensi |         |                  | Luas Area |         |                  | Konsentrasi |          |          | Vol. N2O (m3) | Massa N2O (gr) | konsentrasi N2O (g/m3) | % RE  |
|-------|---------------|---------|------------------|-----------|---------|------------------|-------------|----------|----------|---------------|----------------|------------------------|-------|
|       | Udara         | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara     | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara       | Uap Air  | N2O      |               |                |                        |       |
| 0     | 1.072         | 1.858   | 2.472            | 4919912   | 35698   | 99073            | 97.33374    | 0.706236 | 1.960024 | 9.56757E-07   | 0.001733644    | 1733.643684            | 0.00  |
| 1     | 1.015         | 2.012   | 2.398            | 5773109   | 66044   | 64124            | 97.79499    | 1.118764 | 1.086242 | 6.42215E-07   | 0.001163693    | 1163.693062            | 32.88 |
| 2     | 1.018         | 2.002   | 2.406            | 6297676   | 59859   | 71166            | 97.96188    | 0.931123 | 1.107    | 7.05591E-07   | 0.001278532    | 1278.531669            | 26.25 |
| 3     | 1.023         | 2.030   | 2.407            | 6289661   | 42182   | 76958            | 98.14099    | 0.658184 | 1.200824 | 7.57726E-07   | 0.001372999    | 1372.999253            | 20.80 |
| 4     | 1.004         | 2.018   | 2.382            | 6242259   | 42373   | 67400            | 98.27183    | 0.667085 | 1.061084 | 6.71704E-07   | 0.001217127    | 1217.127389            | 29.79 |
| 5     | 1.009         | 2.018   | 2.383            | 6274585   | 33113   | 69779            | 98.38665    | 0.519213 | 1.094141 | 6.93107E-07   | 0.00125591     | 1255.910143            | 27.56 |
| 6     | 1.005         | 2.042   | 2.378            | 6299041   | 32716   | 70871            | 98.38212    | 0.510973 | 1.106903 | 7.02938E-07   | 0.001273723    | 1273.723138            | 26.53 |
| 7     | 1.006         | 2.022   | 2.374            | 6213396   | 30669   | 71243            | 98.38628    | 0.485623 | 1.128096 | 7.06284E-07   | 0.001279787    | 1279.787385            | 26.18 |
| 8     | 0.999         | 2.017   | 2.369            | 6241648   | 31787   | 74658            | 98.32319    | 0.500731 | 1.176076 | 7.37026E-07   | 0.001335491    | 1335.490853            | 22.97 |
| 9     | 0.994         | 2.025   | 2.357            | 6267321   | 34478   | 73626            | 98.30437    | 0.540793 | 1.154836 | 7.27731E-07   | 0.001318649    | 1318.649349            | 23.94 |
| 10    | 0.993         | 2.015   | 2.356            | 6284282   | 29364   | 69753            | 98.44728    | 0.460006 | 1.092718 | 6.92873E-07   | 0.001255486    | 1255.486135            | 27.58 |
| 11    | 0.977         | 2.033   | 2.337            | 6293251   | 36667   | 71088            | 98.31659    | 0.572827 | 1.11058  | 7.04895E-07   | 0.001277269    | 1277.268963            | 26.32 |
| 12    | 0.999         | 2.025   | 2.366            | 6212710   | 40509   | 78856            | 98.11491    | 0.639743 | 1.245347 | 7.74807E-07   | 0.00140395     | 1403.949507            | 19.02 |

**b. Data Hasil Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat tepung sagu dengan Kompos (8:92 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| Waktu | Waktu Retensi |         |                  | Luas Area |         |                  | Konsentrasi |          |                  | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) | Massa N <sub>2</sub> O (gr) | konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) | % RE  |
|-------|---------------|---------|------------------|-----------|---------|------------------|-------------|----------|------------------|---|-----------------------------|--|-------|
|       | Udara         | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara     | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara       | Uap Air  | N <sub>2</sub> O |   |                             |  |       |
| 0     | 1.072         | 1.858   | 2.472            | 4919912   | 99073   | 99073            | 96.12849    | 1.935754 | 1.935754         | 9.56757E-07                             | 0.001733644                 | 1733.643684                                      | 0.00  |
| 1     | 1.001         | 2.003   | 2.379            | 6933491   | 59706   | 84049            | 97.96877    | 0.843635 | 1.187591         | 8.21538E-07                             | 0.001488628                 | 1488.627633                                      | 14.13 |
| 2     | 1.006         | 2.005   | 2.379            | 7035784   | 49106   | 79089            | 98.21056    | 0.685455 | 1.103984         | 7.76902E-07                             | 0.001407747                 | 1407.746942                                      | 18.80 |
| 3     | 0.998         | 1.990   | 2.362            | 6914368   | 45825   | 93456            | 98.02541    | 0.64967  | 1.324925         | 9.062E-07                               | 0.001642035                 | 1642.034659                                      | 5.28  |
| 4     | 0.997         | 1.985   | 2.357            | 6880556   | 40678   | 87404            | 98.17252    | 0.580394 | 1.24709          | 8.51736E-07                             | 0.001543346                 | 1543.345632                                      | 10.98 |
| 5     | 0.995         | 1.981   | 2.351            | 6907699   | 35501   | 86483            | 98.26473    | 0.505012 | 1.230259         | 8.4345E-07                              | 0.001528331                 | 1528.330623                                      | 11.84 |
| 6     | 0.988         | 1.970   | 2.341            | 6891000   | 17910   | 76530            | 98.64805    | 0.25639  | 1.09556          | 7.53867E-07                             | 0.001366008                 | 1366.007781                                      | 21.21 |
| 7     | 25.28<br>6    | 1.982   | 2.352            | 7217433   | 26760   | 88601            | 98.42679    | 0.36493  | 1.208281         | 8.62506E-07                             | 0.001562862                 | 1562.861649                                      | 9.85  |
| 8     | 28.28<br>6    | 1.972   | 2.337            | 6985163   | 15877   | 74952            | 98.71637    | 0.224376 | 1.05925          | 7.39672E-07                             | 0.001340285                 | 1340.285405                                      | 22.69 |
| 9     | 28.14<br>3    | 1.946   | 2.313            | 6941618   | 16359   | 81404            | 98.6112     | 0.232395 | 1.156403         | 7.97732E-07                             | 0.001445491                 | 1445.490643                                      | 16.62 |
| 10    | 29.14<br>3    | 1.954   | 2.321            | 6996457   | 17681   | 77511            | 98.65769    | 0.249325 | 1.092986         | 7.62696E-07                             | 0.001382006                 | 1382.005929                                      | 20.28 |
| 11    | 30.42<br>9    | 1.950   | 2.318            | 6873667   | 14554   | 77545            | 98.67783    | 0.20894  | 1.113228         | 7.63004E-07                             | 0.001382563                 | 1382.56273                                       | 20.25 |
| 12    | 27.57<br>1    | 1.971   | 2.337            | 6680075   | 18404   | 80639            | 98.53899    | 0.271485 | 1.189525         | 7.90854E-07                             | 0.001433027                 | 1433.026671                                      | 17.34 |

**c. Data Hasil Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat tepung sagu dengan Kompos (11:89 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| Waktu | Waktu Retensi |         |                  | Luas Area |         |                  | Konsentrasi |          |                  | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) | Massa N <sub>2</sub> O (gr) | konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) | % RE  |
|-------|---------------|---------|------------------|-----------|---------|------------------|-------------|----------|------------------|---|-----------------------------|--|-------|
|       | Udara         | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara     | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara       | Uap Air  | N <sub>2</sub> O |   |                             |  |       |
| 0     | 1.020         | 1.858   | 2.388            | 4044438   | 35698   | 94252            | 96.88697    | 0.85517  | 2.257864         | 9.1337E-07                              | 0.001655                    | 1655.02282                                       | 0.00  |
| 1     | 1.179         | 0.000   | 2.350            | 8223333   | 0       | 141002           | 98.31424    | 0.00000  | 1.685758         | 1.3341E-06                              | 0.002417                    | 2417.42881                                       | 46.07 |
| 2     | 1.194         | 1.775   | 2.358            | 8263783   | 1126030 | 116737           | 86.92726    | 11.84478 | 1.227962         | 1.1157E-06                              | 0.002022                    | 2021.70587                                       | 22.16 |
| 3     | 1.194         | 2.057   | 2.326            | 7586600   | 53718   | 91494            | 98.12189    | 0.69477  | 1.183348         | 8.8855E-07                              | 0.00161                     | 1610.05001                                       | 2.72  |
| 4     | 1.205         | 1.648   | 2.344            | 7588658   | 118857  | 72763            | 97.53711    | 1.52766  | 0.935229         | 7.1997E-07                              | 0.001305                    | 1304.58719                                       | 21.17 |
| 5     | 1.205         | 0.000   | 2.360            | 8250100   | 0       | 65377            | 99.21379    | 0.00000  | 0.786205         | 6.5349E-07                              | 0.001184                    | 1184.12466                                       | 28.45 |
| 6     | 1.206         | 0.000   | 2.369            | 8232222   | 0       | 54549            | 99.34174    | 0.00000  | 0.658263         | 5.5604E-07                              | 0.001008                    | 1007.54163                                       | 39.12 |
| 7     | 1.196         | 0.000   | 2.385            | 8256808   | 0       | 57345            | 99.31027    | 0.00000  | 0.689726         | 5.812E-07                               | 0.001053                    | 1053.14113                                       | 36.37 |
| 8     | 1.190         | 1.675   | 2.346            | 8200715   | 104841  | 60169            | 98.02755    | 1.25322  | 0.719232         | 6.0662E-07                              | 0.001099                    | 1099.19725                                       | 33.58 |
| 9     | 1.191         | 1.925   | 2.330            | 8111530   | 79157   | 49543            | 98.43815    | 0.96062  | 0.601231         | 5.1099E-07                              | 0.000926                    | 925.906114                                       | 44.05 |
| 10    | 1.178         | 0.000   | 2.341            | 8206564   | 0       | 40068            | 99.51412    | 0.00000  | 0.485876         | 4.2572E-07                              | 0.000771                    | 771.397133                                       | 53.39 |
| 11    | 1.173         | 1.808   | 2.328            | 8136545   | 97309   | 43434            | 98.29965    | 1.17561  | 0.524742         | 4.5601E-07                              | 0.000826                    | 826.289861                                       | 50.07 |
| 12    | 1.193         | 0.000   | 2.334            | 8106115   | 0       | 37652            | 99.53766    | 0.00000  | 0.462345         | 4.0397E-07                              | 0.000732                    | 731.994675                                       | 55.77 |

#### Lampiran 4. Data Hasil Uji Variasi Rasio Bahan Pengikat Tepung Beras

Langkah perhitungan kinerja biofilter dalam mereduksi N<sub>2</sub>O:

- Menghitung volume N<sub>2</sub>O hasil biofiltrasi dari persamaan kalibrasi.
- Menghitung massa N<sub>2</sub>O dengan massa jenis N<sub>2</sub>O = 1812 g/mL
- Menghitung konsentrasi N<sub>2</sub>O.
- Menghitung RE (*Removal Efficiency*) dengan persamaan:

$$\text{Removal Efficiency (RE)} = \left( \frac{C_i - C_o}{C_i} \right) \times 100$$

##### a. Data Hasil Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat tepung beras dengan Kompos (5:95 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm

| Waktu | Waktu Retensi |         |                  | Luas Area |         |                  | Konsentrasi |          |                  | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) | Massa N <sub>2</sub> O (gr) | konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) | % RE  |
|-------|---------------|---------|------------------|-----------|---------|------------------|-------------|----------|------------------|---|-----------------------------|--|-------|
|       | Udara         | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara     | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara       | Uap Air  | N <sub>2</sub> O |   |                             |  |       |
| 0     | 1.072         | 1.858   | 2.472            | 4919912   | 35698   | 99073            | 97.33374    | 0.706236 | 1.960024         | 9.56757E-07                             | 0.001734                    | 1733.644   | 0.00  |
| 1     | 1.258         | 1.873   | 2.500            | 9220942   | 51943   | 92336            | 98.45941    | 0.554637 | 0.985949         | 8.96127E-07                             | 0.001624                    | 1623.781   | 6.34  |
| 2     | 1.252         | 2.015   | 2.452            | 9009652   | 32554   | 67803            | 98.89839    | 0.357343 | 0.744271         | 6.75328E-07                             | 0.001224                    | 1223.695   | 29.41 |
| 3     | 1.224         | 0.000   | 2.439            | 8950189   | 0       | 48063            | 99.46586    | 0        | 0.534142         | 4.97671E-07                             | 0.000902                    | 901.7796   | 47.98 |
| 4     | 1.230         | 1.942   | 2.424            | 8770824   | 59333   | 37745            | 98.90528    | 0.669076 | 0.425639         | 4.04808E-07                             | 0.000734                    | 733.5113   | 57.69 |
| 5     | 1.230         | 1.848   | 2.453            | 8850732   | 59963   | 36946            | 98.91693    | 0.670154 | 0.412915         | 3.97615E-07                             | 0.00072                     | 720.4789   | 58.44 |
| 6     | 1.226         | 0.000   | 2.446            | 8982608   | 0       | 28682            | 99.68171    | 0        | 0.31829          | 3.23238E-07                             | 0.000586                    | 585.7073   | 66.22 |
| 7     | 1.227         | 1.922   | 2.451            | 8893685   | 50584   | 27706            | 99.12739    | 0.5638   | 0.308808         | 3.14455E-07                             | 0.00057                     | 569.793  | 67.13 |
| 8     | 1.220         | 0.000   | 2.382            | 8731200   | 0       | 27310            | 99.68819    | 0        | 0.311806         | 3.10886E-07                             | 0.000563                    | 563.3257   | 67.51 |
| 9     | 1.225         | 0.000   | 2.425            | 8622813   | 0       | 16479            | 99.80926    | 0        | 0.190743         | 2.1341E-07                              | 0.000387                    | 386.6984   | 77.69 |
| 10    | 1.219         | 0.000   | 2.392            | 8867624   | 0       | 10464            | 99.88214    | 0        | 0.117863         | 1.59276E-07                             | 0.000289                    | 288.6081   | 83.35 |
| 11    | 1.195         | 1.942   | 2.372            | 8794004   | 34762   | 16996            | 99.41489    | 0.392979 | 0.192134         | 2.18061E-07                             | 0.000395                    | 395.1273   | 77.21 |
| 12    | 1.191         | 0.000   | 2.382            | 8765714   | 0       | 18455            | 99.78991    | 0        | 0.210092         | 2.31194E-07                             | 0.000419                    | 418.923  | 75.84 |

**b. Data Hasil Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat tepung beras dengan Kompos (8:92 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| Waktu | Waktu Retensi |         |                  | Luas Area |         |                  | Konsentrasi |         |                  | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) | Massa N <sub>2</sub> O (gr) | konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) | % RE  |
|-------|---------------|---------|------------------|-----------|---------|------------------|-------------|---------|------------------|---|-----------------------------|--|-------|
|       | Udara         | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara     | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara       | Uap Air | N <sub>2</sub> O |   |                             |  |       |
| 0     | 1.002         | 0.000   | 2.374            | 6594369   | 0       | 81149            | 98.78438    | 0.00000 | 1.21562          | 7.95441E-07                             | 0.001441339                 | 1441.3391  | 0.00  |
| 1     | 1.215         | 1.827   | 2.423            | 8837357   | 53658   | 98073            | 98.31206    | 0.59692 | 1.09102          | 9.47753E-07                             | 0.001717329                 | 1717.3287  | 19.15 |
| 2     | 1.214         | 1.970   | 2.428            | 8773413   | 47769   | 79989            | 98.56471    | 0.53666 | 0.89863          | 7.84997E-07                             | 0.001422415                 | 1422.4148  | 1.31  |
| 3     | 1.224         | 1.763   | 2.445            | 8813588   | 58825   | 65142            | 98.61296    | 0.65818 | 0.72886          | 6.51379E-07                             | 0.001180299                 | 1180.2993  | 18.11 |
| 4     | 1.236         | 1.815   | 2.451            | 8815176   | 83373   | 56008            | 98.44346    | 0.93107 | 0.62547          | 5.69173E-07                             | 0.001031342                 | 1031.3420  | 28.45 |
| 5     | 1.246         | 1.883   | 2.461            | 8872643   | 65163   | 55729            | 98.65579    | 0.72455 | 0.61965          | 5.66657E-07                             | 0.001026783                 | 1026.7827  | 28.76 |
| 6     | 1.236         | 2.108   | 2.463            | 8955226   | 42523   | 59826            | 98.87001    | 0.46947 | 0.66051          | 6.03537E-07                             | 0.001093608                 | 1093.6083  | 24.13 |
| 7     | 1.235         | 1.890   | 2.441            | 8891576   | 54368   | 53196            | 98.80473    | 0.60414 | 0.59112          | 5.43865E-07                             | 0.000985484                 | 985.4839   | 31.63 |
| 8     | 1.247         | 0.000   | 2.447            | 8632337   | 0       | 35889            | 99.58597    | 0.00000 | 0.41403          | 3.88102E-07                             | 0.000703241                 | 703.2413   | 51.21 |
| 9     | 1.214         | 0.000   | 2.406            | 8726960   | 0       | 25111            | 99.71309    | 0.00000 | 0.28691          | 2.91098E-07                             | 0.000527469                 | 527.4691   | 63.40 |
| 10    | 1.233         | 0.000   | 2.423            | 8795378   | 0       | 27830            | 99.68459    | 0.00000 | 0.31541          | 3.15566E-07                             | 0.000571806                 | 571.8059   | 60.33 |
| 11    | 1.228         | 1.780   | 2.406            | 8702904   | 53105   | 33928            | 99.00986    | 0.60416 | 0.38599          | 3.70452E-07                             | 0.000671259                 | 671.2590   | 53.43 |
| 12    | 1.235         | 1.930   | 2.416            | 8689086   | 43748   | 23817            | 99.22842    | 0.49960 | 0.27199          | 2.79453E-07                             | 0.000506369                 | 506.3688   | 64.87 |

**c. Data Hasil Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat tepung beras dengan Kompos (11:89 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| Waktu | Waktu Retensi |         |                  | Luas Area |         |                  | Konsentrasi |         |                  | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) | Massa N <sub>2</sub> O (gr) | konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) | % RE  |
|-------|---------------|---------|------------------|-----------|---------|------------------|-------------|---------|------------------|---|-----------------------------|--|-------|
|       | Udara         | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara     | Uap air | N <sub>2</sub> O | Udara       | Uap Air | N <sub>2</sub> O |   |                             |  |       |
| 0     | 1.002         | 0.000   | 2.374            | 6594369   | 0       | 81149            | 98.78438    | 0       | 1.21562          | 7.95441E-07                             | 0.001441339                 | 1441.339   | 0.00  |
| 1     | 1.227         | 0.000   | 2.426            | 8693895   | 0       | 93167            | 98.93973    | 0       | 1.06027          | 9.03599E-07                             | 0.001637322                 | 1637.322   | 13.60 |
| 2     | 1.238         | 0.000   | 2.437            | 8781706   | 0       | 63574            | 99.28127    | 0       | 0.71873          | 6.37263E-07                             | 0.001154721                 | 1154.721   | 19.89 |
| 3     | 1.254         | 0.000   | 2.458            | 8917526   | 0       | 53552            | 99.40305    | 0       | 0.59695          | 5.47072E-07                             | 0.000991294                 | 991.294  | 31.22 |
| 4     | 1.252         | 0.000   | 2.465            | 8983777   | 0       | 44023            | 99.51236    | 0       | 0.48764          | 4.6131E-07                              | 0.000835893                 | 835.893  | 42.01 |
| 5     | 1.231         | 0.000   | 2.449            | 9091249   | 0       | 37191            | 99.59258    | 0       | 0.40742          | 3.99816E-07                             | 0.000724467                 | 724.467  | 49.74 |
| 6     | 1.245         | 0.000   | 2.468            | 8958636   | 0       | 34851            | 99.61248    | 0       | 0.38752          | 3.78763E-07                             | 0.000686318                 | 686.318  | 52.38 |
| 7     | 1.240         | 0.000   | 2.468            | 8958636   | 0       | 29789            | 99.66859    | 0       | 0.33141          | 3.33197E-07                             | 0.000603753                 | 603.753  | 58.11 |
| 8     | 1.230         | 0.000   | 2.445            | 8900519   | 0       | 33550            | 99.62447    | 0       | 0.37553          | 3.67054E-07                             | 0.000665102                 | 665.102  | 53.86 |
| 9     | 1.236         | 0.000   | 2.440            | 8386118   | 0       | 32687            | 99.61174    | 0       | 0.38826          | 3.5928E-07                              | 0.000651016                 | 651.016  | 54.83 |
| 10    | 1.210         | 2.122   | 2.428            | 8311879   | 52162   | 27163            | 99.05467    | 0.62163 | 0.32371          | 3.09566E-07                             | 0.000560933                 | 560.933  | 61.08 |
| 11    | 1.213         | 1.733   | 2.410            | 8748385   | 367041  | 26389            | 95.69637    | 4.01497 | 0.28867          | 3.02604E-07                             | 0.000548318                 | 548.318  | 61.96 |
| 12    | 1.232         | 0.000   | 2.414            | 8699320   | 0       | 16444            | 99.81133    | 0       | 0.18867          | 2.13096E-07                             | 0.00038613                  | 386.130  | 73.21 |

### Lampiran 5a. Pengolahan Data Hasil Total Plate Count (TPC)

Berikut ini adalah langkah langkah perhitungan uji TPC.

- Melakukan pengeceran sebesar  $10^9$ ,  $10^{10}$ ,  $10^{11}$  dan  $10^{12}$
- Menghitung jumlah koloni bakteri dalam setiap cawan petri pada pengenceran tertentu
- Menghitung jumlah bakteri pada setiap sampel dengan persamaan berikut:

$$\sum \text{bakteri} \left( \frac{CFU}{g} \right) = \frac{\text{jumlah koloni bakteri}}{\text{volume pengenceran} \times \text{volume sampel pada cawan petri}} \times \frac{\text{massa sampel kecampuran}}{\text{volume air pada pengenceran 1:10}}$$

- Percobaan ini dilakukan secara replikasi. Oleh karena itu dihitung rata-rata jumlah bakteri untuk tiap sampel.

Contoh perhitungan

Contoh perhitungan tepung sagu 5:95% sebelum biofiltrasi :

- Untuk pengeceran  $10^9$ :

$$\sum \text{bakteri} \left( \frac{CFU}{g} \right) = \frac{42,5}{10^9 \times 1ml} \times \frac{0,97}{10} = 4,123 \times 10^9$$

- Untuk pengeceran  $10^{10}$ :

$$\sum \text{bakteri} \left( \frac{CFU}{g} \right) = \frac{56}{10^{10} \times 1ml} \times \frac{0,97}{10} = 5,432 \times 10^{10}$$

- Untuk pengeceran  $10^{11}$ :

$$\sum \text{bakteri} = \frac{13}{10^8 \cdot 0,1 ml} = 1.30.$$

$$\sum \text{bakteri} \left( \frac{CFU}{g} \right) = \frac{61,5}{10^{11} \times 1ml} \times \frac{0,97}{10} = 5,966 \times 10^{11}$$

- Untuk pengeceran  $10^{12}$ :

$$\sum \text{bakteri} = \frac{13}{10^8 \cdot 0,1 ml} = 1.30.$$

$$\sum \text{bakteri} \left( \frac{CFU}{g} \right) = \frac{70,5}{10^{12} \times 1ml} \times \frac{0,97}{10} = 6,839 \times 10^{12}$$

Dari hasil perhitungan masing-masing dilusi, dirata-ratakan sehingga diperoleh jumlah koloni bakteri tepung sagi 5:95% sebelum biofiltrasi sebesar  $1,873 \times 10^9$  CFU/g



### Lampiran 5b.Data Hasil Perhitungan Jumlah Mikroorganism

a. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu 5:95% sebelum biofiltrasi

| Pengenceran | I   | II | rata-rata | jumlah sel | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|-----|----|-----------|------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 13  | 72 | 42.5      | 4.123E+09  | 1.87337E+12              |
| 1.00E-10    | 67  | 45 | 56        | 5.432E+10  |                          |
| 1.00E-11    | 92  | 31 | 61.5      | 5.966E+11  |                          |
| 1.00E-12    | 111 | 30 | 70.5      | 6.839E+12  |                          |

b. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu 5:95% setelah biofiltrasi

| Pengenceran | I  | II | rata-rata | jumlah sel      | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|----|----|-----------|-----------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 13 | 72 | 42.5      | 4.12E+09        | 2.7488E+12               |
| 1.00E-10    | 67 | 45 | 56        | 5.43E+10        |                          |
| 1.00E-11    | 36 | 89 | 62.5      | 6.0625E+11      |                          |
| 1.00E-12    | 5  | 38 | 10<br>6.5 | 1.03305<br>E+13 |                          |

c. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu 8:92% sebelum biofiltrasi

| Pengenceran | I  | II | rata-rata | jumlah sel | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|----|----|-----------|------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 8  | 14 | 11        | 1.067E+09  | 1.04314E+12              |
| 1.00E-10    | 11 | 20 | 15.5      | 1.504E+10  |                          |
| 1.00E-11    | 9  | 28 | 18.5      | 1.795E+11  |                          |
| 1.00E-12    | 59 | 23 | 41        | 3.977E+12  |                          |

d. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu 8:92% setelah biofiltrasi

| Pengenceran | I   | II  | rata-rata | jumlah sel  | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|-----|-----|-----------|-------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 226 | 25  | 125.5     | 12173500000 | 2.84696E+12              |
| 1.00E-10    | 20  | 95  | 57.5      | 55775000000 |                          |
| 1.00E-11    | 56  | 18  | 37        | 3.589E+11   |                          |
| 1.00E-12    | 114 | 112 | 113       | 1.0961E+13  |                          |

e. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu 11:89% sebelum biofiltrasi

| Pengenceran | I   | II  | rata-rata | jumlah sel | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|-----|-----|-----------|------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 123 | 81  | 102       | 9.894E+09  | 2.45354E+12              |
| 1.00E-10    | 55  | 110 | 82.5      | 8.003E+10  |                          |
| 1.00E-11    | 126 | 69  | 97.5      | 9.458E+11  |                          |
| 1.00E-12    | 106 | 75  | 90.5      | 8.779E+12  |                          |

f. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu 11:89% setelah biofiltrasi

| Pengenceran | I   | II  | rata-rata | jumlah sel  | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|-----|-----|-----------|-------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 74  | 31  | 52.5      | 5092500000  | 3.75554E+12              |
| 1.00E-10    | 39  | 94  | 66.5      | 64505000000 |                          |
| 1.00E-11    | 120 | 153 | 136.5     | 1.32405E+12 |                          |
| 1.00E-12    | 121 | 160 | 140.5     | 1.36285E+13 |                          |

g. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung beras 5:95% sebelum biofiltrasi

| Pengenceran | I  | II | rata-rata | jumlah sel | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|----|----|-----------|------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 48 | 86 | 67        | 6.499E+09  | 4.16741E+12              |
| 1.00E-10    | 95 | 26 | 178.5     | 1.731E+11  |                          |
| 1.00E-11    | 15 | 37 | 95        | 9.215E+11  |                          |
| 1.00E-12    | 15 | 16 | 160.5     | 1.557E+11  |                          |
|             | 3  | 8  |           | 3          |                          |

h. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung beras 5:95% setelah biofiltrasi

| Pengenceran | I   | II  | rata-rata | jumlah sel  | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|-----|-----|-----------|-------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 73  | 95  | 84        | 8148000000  | 5.60888E+12              |
| 1.00E-10    | 147 | 125 | 136       | 1.3192E+11  |                          |
| 1.00E-11    | 181 | 186 | 183.5     | 1.77995E+12 |                          |
| 1.00E-12    | 195 | 228 | 211.5     | 2.05155E+13 |                          |

i. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung beras 8:92% sebelum biofiltrasi

| Pengenceran | I   | II  | rata-rata | jumlah sel | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|-----|-----|-----------|------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 50  | 68  | 59        | 5.723E+09  | 3.87125E+12              |
| 1.00E-10    | 121 | 35  | 78        | 7.566E+10  |                          |
| 1.00E-11    | 110 | 136 | 123       | 1.193E+12  |                          |
| 1.00E-12    | 103 | 190 | 146.5     | 1.421E+13  |                          |

j. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung beras 8:92% setelah biofiltrasi

| Pengenceran | I   | II  | rata-rata | jumlah sel  | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|-----|-----|-----------|-------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 62  | 24  | 43        | 4171000000  | 4.07213E+12              |
| 1.00E-10    | 11  | 135 | 73        | 7081000000  |                          |
| 1.00E-11    | 154 | 109 | 131.5     | 1.27555E+12 |                          |
| 1.00E-12    | 127 | 181 | 154       | 1.4938E+13  |                          |

k. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung beras 8:92% sebelum biofiltrasi

| Pengenceran | I   | II  | rata-rata | jumlah sel | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|-----|-----|-----------|------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 55  | 97  | 76        | 7.372E+09  | 3.00399E+12              |
| 1.00E-10    | 78  | 112 | 95        | 9.215E+10  |                          |
| 1.00E-11    | 122 | 95  | 108.5     | 1.052E+12  |                          |
| 1.00E-12    | 99  | 125 | 112       | 1.086E+13  |                          |

l. pelet kompos dengan bahan pengikat tepung beras 8:92% setelah biofiltrasi

| Pengenceran | I   | II  | rata-rata | jumlah sel  | rata-rata jumlah (CFU/g) |
|-------------|-----|-----|-----------|-------------|--------------------------|
| 1.00E-09    | 41  | 85  | 63        | 6111000000  | 4.03758E+12              |
| 1.00E-10    | 83  | 134 | 108.5     | 1.05245E+11 |                          |
| 1.00E-11    | 126 | 181 | 153.5     | 1.48895E+12 |                          |
| 1.00E-12    | 207 | 93  | 150       | 1.455E+13   |                          |

## Lampiran 6. Pengolahan Data Langmuir Model

### a. Bahan Pengikat tepung sagu dengan Kompos (5:95 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm

| t (jam) | Luas Area N <sub>2</sub> O pada t (Le) | Luas Area N <sub>2</sub> O (diadsorp) Li - Le | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) (diadsorp) Vi - Ve | Massa N <sub>2</sub> O (gram) (diadsorp) mi-me | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) (diadsorp) | Langmuir Model |             |                        |                            |
|---------|--|---|--|--|---|----------------|-------------|------------------------|----------------------------|
|         |  |   |  |  |   | Qe (g/kg)      | 1/Qe (kg/g) | Ce (g/m <sup>3</sup> ) | Ce/Qe (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 0       | 99073                                  | 0   | 6.51000E-08  | 0.000117961                                    | 117.9612  | 0.318          | 3.15        | 1733.64                | 5.458E+03                  |
| 1       | 64124                                  | 34949   | 3.79642E-07  | 0.000687912                                    | 687.9118  | 1.852          | 0.54        | 1163.69                | 6.283E+02                  |
| 2       | 71166                                  | 27907   | 3.16266E-07  | 0.000573073                                    | 573.0732  | 1.543          | 0.65        | 1278.53                | 8.286E+02                  |
| 3       | 76958                                  | 22115   | 2.64131E-07  | 0.000478606                                    | 478.6056  | 1.289          | 0.78        | 1373.00                | 1.065E+03                  |
| 4       | 67400                                  | 31673   | 3.50153E-07  | 0.000634477                                    | 634.4775  | 1.708          | 0.59        | 1217.13                | 7.125E+02                  |
| 5       | 69779                                  | 29294   | 3.28750E-07  | 0.000595695                                    | 595.6947  | 1.604          | 0.62        | 1255.91                | 7.830E+02                  |
| 6       | 70871                                  | 28202   | 3.18919E-07  | 0.000577882                                    | 577.8817  | 1.556          | 0.64        | 1273.72                | 8.186E+02                  |
| 7       | 71243                                  | 27830   | 3.15573E-07  | 0.000571817                                    | 571.8175  | 1.540          | 0.65        | 1279.79                | 8.312E+02                  |
| 8       | 74658                                  | 24415   | 2.84831E-07  | 0.000516114                                    | 516.1140  | 1.390          | 0.72        | 1335.49                | 9.610E+02                  |
| 9       | 73626                                  | 25447   | 2.94126E-07  | 0.000532956                                    | 532.9555  | 1.435          | 0.70        | 1318.65                | 9.189E+02                  |
| 10      | 69753                                  | 29320   | 3.28984E-07  | 0.000596119                                    | 596.1187  | 1.605          | 0.62        | 1255.49                | 7.822E+02                  |
| 11      | 71088                                  | 27985   | 3.16962E-07  | 0.000574336                                    | 574.3359  | 1.546          | 0.65        | 1277.27                | 8.259E+02                  |
| 12      | 78856                                  | 20217   | 2.47050E-07  | 0.000447655                                    | 447.6554  | 1.205          | 0.83        | 1403.95                | 1.165E+03                  |

**b. Bahan Pengikat tepung sagu dengan Kompos (8:92 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| t (jam) | Luas Area N <sub>2</sub> O pada t (Le) | Luas Area N <sub>2</sub> O (diadsorp) Li - Le | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) (diadsorp) Vi - Ve | Massa N <sub>2</sub> O (gram) (diadsorp) mi-me | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) (diadsorp) | Langmuir Model |             |                        |                            |
|---------|--|---|--|--|---|----------------|-------------|------------------------|----------------------------|
|         |  |   |  |  |   | Qe (g/kg)      | 1/Qe (kg/g) | Ce (g/m <sup>3</sup> ) | Ce/Qe (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 0       | 99073                                  | 0   | 6.51000E-08  | 0.000117961                                    | 117.9612  | 0.318          | 3.15        | 1733.64                | 5.458E+03                  |
| 1       | 84049                                  | 15024   | 2.00319E-07  | 0.000362977                                    | 362.9773  | 0.977          | 1.02        | 1488.63                | 1.523E+03                  |
| 2       | 79089                                  | 19984   | 2.44955E-07  | 0.000443858                                    | 443.8579  | 1.195          | 0.84        | 1407.75                | 1.178E+03                  |
| 3       | 93456                                  | 5617  | 1.15657E-07  | 0.000209570                                    | 209.5702  | 0.564          | 1.77        | 1642.03                | 2.910E+03                  |
| 4       | 87404                                  | 11669   | 1.70121E-07  | 0.000308259                                    | 308.2593  | 0.830          | 1.20        | 1543.35                | 1.859E+03                  |
| 5       | 86483                                  | 12590   | 1.78407E-07  | 0.000323274                                    | 323.2743  | 0.870          | 1.15        | 1528.33                | 1.756E+03                  |
| 6       | 76530                                  | 22543   | 2.67990E-07  | 0.000485597                                    | 485.5971  | 1.307          | 0.76        | 1366.01                | 1.045E+03                  |
| 7       | 88601                                  | 10472   | 1.59351E-07  | 0.000288743                                    | 288.7432  | 0.777          | 1.29        | 1562.86                | 2.010E+03                  |
| 8       | 74952                                  | 24121   | 2.82185E-07  | 0.000511319                                    | 511.3195  | 1.377          | 0.73        | 1340.29                | 9.735E+02                  |
| 9       | 81404                                  | 17669   | 2.24125E-07  | 0.000406114                                    | 406.1142  | 1.093          | 0.91        | 1445.49                | 1.322E+03                  |
| 10      | 77511                                  | 21562   | 2.59161E-07  | 0.000469599                                    | 469.5990  | 1.264          | 0.79        | 1382.01                | 1.093E+03                  |
| 11      | 77545                                  | 21528   | 2.58853E-07  | 0.000469042                                    | 469.0422  | 1.263          | 0.79        | 1382.56                | 1.095E+03                  |
| 12      | 80639                                  | 18434   | 2.31003E-07  | 0.000418578                                    | 418.5782  | 1.127          | 0.89        | 1433.03                | 1.271E+03                  |

c. Bahan Pengikat tepung sagu dengan Kompos (11:92 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm

| t (jam) | Luas Area N <sub>2</sub> O pada t (Le) | Luas Area N <sub>2</sub> O (adsorp) Li - Le | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) (adsorp) Vi - Ve | Massa N <sub>2</sub> O (gram) (adsorp) mi-me | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) (diadsorp) | Langmuir Model |             |                        |                            |
|---------|--|---|--|--|---|----------------|-------------|------------------------|----------------------------|
|         |  |   |  |  |   | Qe (g/kg)      | 1/Qe (kg/g) | Ce (g/m <sup>3</sup> ) | Ce/Qe (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 0       | 94252                                  | 0   | 6.51000E-08  | 0.000117961                                  | 117.9612  | 0.3176164291   | 3.15        | 1655.02                | 5.211E+03                  |
| 1       | 141002                                 | -46750                                      | -3.55654E-07   | -0.000644445                                 | -644.4448   | -1.7351998170  | -0.58       | 2417.43                | -1.393E+03                 |
| 2       | 116737                                 | -22485                                      | -1.37264E-07   | -0.000248722                                 | -248.7219   | -0.6696960180  | -1.49       | 2021.71                | -3.019E+03                 |
| 3       | 91494                                  | 2758  | 8.99194E-08  | 0.000162934                                  | 162.9340  | 0.4387079540   | 2.28        | 1610.05                | 3.670E+03                  |
| 4       | 72763                                  | 21489                                       | 2.58497E-07  | 0.000468397                                  | 468.3968  | 1.2611818654   | 0.79        | 1304.59                | 1.034E+03                  |
| 5       | 65377                                  | 28875                                       | 3.24978E-07  | 0.000588859                                  | 588.8594  | 1.5855332682   | 0.63        | 1184.12                | 7.468E+02                  |
| 6       | 54549                                  | 39703                                       | 4.22430E-07  | 0.000765442                                  | 765.4424  | 2.0609918895   | 0.49        | 1007.54                | 4.889E+02                  |
| 7       | 57345                                  | 36907                                       | 3.97264E-07  | 0.000719843                                  | 719.8429  | 1.9382129619   | 0.52        | 1053.14                | 5.434E+02                  |
| 8       | 60169                                  | 34083                                       | 3.71847E-07  | 0.000673787                                  | 673.7868  | 1.8142045514   | 0.55        | 1099.20                | 6.059E+02                  |
| 9       | 49543                                  | 44709                                       | 4.67482E-07  | 0.000847078                                  | 847.0779  | 2.2807996043   | 0.44        | 925.91                 | 4.060E+02                  |
| 10      | 40068                                  | 54184                                       | 5.52752E-07  | 0.001001587                                  | 1001.5869   | 2.6968227614   | 0.37        | 771.40                 | 2.860E+02                  |
| 11      | 43434                                  | 50818                                       | 5.22458E-07  | 0.000946694                                  | 946.6942  | 2.5490213467   | 0.39        | 826.29                 | 3.242E+02                  |
| 12      | 37652                                  | 56600                                       | 5.74497E-07  | 0.001040989                                  | 1040.9893   | 2.8029158490   | 0.36        | 731.99                 | 2.612E+02                  |

**d. Bahan pengikat tepung beras dengan kompos (5:95 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| t<br>(jam) | Luas Area<br>N <sub>2</sub> O pada t<br>(Le) | Luas Area N <sub>2</sub> O<br>(diadsorp) Li - Le | Vol. N <sub>2</sub> O<br>(m <sup>3</sup> )<br>(diadsorp)<br>Vi - Ve | Massa N <sub>2</sub> O<br>(gram)<br>(diadsorp)<br>mi-me | Konsentrasi N <sub>2</sub> O<br>(g/m <sup>3</sup> ) (diadsorp) | Langmuir Model |             |                        |                               |
|------------|--|--|---|---|--|----------------|-------------|------------------------|-------------------------------|
|            |  |  |   |   |  | Qe (g/kg)      | 1/Qe (kg/g) | Ce (g/m <sup>3</sup> ) | Ce/Qe<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
| 0          | 99073  | 0  | 6.5100E-05  | 0.1179612   | 117961.2000  | 317.616        | 0.00314845  | 1733.64                | 5.458E+00                     |
| 1          | 92336  | 6737   | 1.2573E-04  | 0.2278235   | 227823.5366  | 613.426        | 0.00163019  | 1623.78                | 2.647E+00                     |
| 2          | 67803  | 31270  | 3.4653E-04  | 0.6279100   | 627910.0303  | 1690.679       | 0.00059148  | 1223.69                | 7.238E-01                     |
| 3          | 48063  | 51010  | 5.2419E-04  | 0.9498253   | 949825.2909  | 2557.452       | 0.00039101  | 901.78                 | 3.526E-01                     |
| 4          | 37745  | 61328  | 6.1705E-04  | 1.1180936   | 1118093.5646   | 3010.523       | 0.00033217  | 733.51                 | 2.436E-01                     |
| 5          | 36946  | 62127  | 6.2424E-04  | 1.1311260   | 1131125.9863   | 3045.613       | 0.00032834  | 720.48                 | 2.366E-01                     |
| 6          | 28682  | 70391  | 6.9862E-04  | 1.2658976   | 1265897.6280   | 3408.493       | 0.00029338  | 585.71                 | 1.718E-01                     |
| 7          | 27706  | 71367  | 7.0740E-04  | 1.2818119   | 1281811.9063   | 3451.343       | 0.00028974  | 569.79                 | 1.651E-01                     |
| 8          | 27310  | 71763  | 7.1097E-04  | 1.2882792   | 1288279.1931   | 3468.756       | 0.00028829  | 563.33                 | 1.624E-01                     |
| 9          | 16479  | 82594  | 8.0845E-04  | 1.4649065   | 1464906.4817   | 3944.334       | 0.00025353  | 386.70                 | 9.804E-02                     |
| 10         | 10464  | 88609  | 8.6258E-04  | 1.5629968   | 1562996.7720   | 4208.447       | 0.00023762  | 288.61                 | 6.858E-02                     |
| 11         | 16996  | 82077  | 8.0380E-04  | 1.4564776   | 1456477.5754   | 3921.639       | 0.00025500  | 395.13                 | 1.008E-01                     |
| 12         | 18455  | 80618  | 7.9066E-04  | 1.4326819   | 1432681.8737   | 3857.568       | 0.00025923  | 418.92                 | 1.086E-01                     |

e. Bahan pengikat tepung beras dengan kompos (8:92 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm

| t (jam) | Luas Area N <sub>2</sub> O pada t (Le) | Luas Area N <sub>2</sub> O (diadsorp) Li - Le | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) (diadsorp) Vi - Ve | Massa N <sub>2</sub> O (gram) (diadsorp) mi-me | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) (diadsorp) | Langmuir Model |             |                        |                            |
|---------|--|---|--|--|---|----------------|-------------|------------------------|----------------------------|
|         |  |   |  |  |   | Qe (g/kg)      | 1/Qe (kg/g) | Ce (g/m <sup>3</sup> ) | Ce/Qe (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 0       | 81149                                  | 0   | 6.5100E-08   | 0.000117961                                    | 117.9612  | 0.3176         | 3.14845     | 1441.34                | 4.538E+03                  |
| 1       | 98073                                  | -16924  | -8.7212E-08  | -0.000158028                                   | -158.0284   | -0.4255        | -2.35018    | 1717.33                | -4.036E+03                 |
| 2       | 79989                                  | 1160  | 7.5544E-08   | 0.000136885                                    | 136.8855  | 0.3686         | 2.71318     | 1422.41                | 3.859E+03                  |
| 3       | 65142                                  | 16007   | 2.0916E-07   | 0.000379001                                    | 379.0010  | 1.0205         | 0.97993     | 1180.30                | 1.157E+03                  |
| 4       | 56008                                  | 25141   | 2.9137E-07   | 0.000527958                                    | 527.9583  | 1.4216         | 0.70346     | 1031.34                | 7.255E+02                  |
| 5       | 55729                                  | 25420   | 2.9388E-07   | 0.000532518                                    | 532.5175  | 1.4338         | 0.69743     | 1026.78                | 7.161E+02                  |
| 6       | 59826                                  | 21323   | 2.5700E-07   | 0.000465692                                    | 465.6920  | 1.2539         | 0.79751     | 1093.61                | 8.722E+02                  |
| 7       | 53196                                  | 27953   | 3.1668E-07   | 0.000573816                                    | 573.8164  | 1.5450         | 0.64724     | 985.48                 | 6.378E+02                  |
| 8       | 35889                                  | 45260   | 4.7244E-07   | 0.000856059                                    | 856.0590  | 2.3050         | 0.43384     | 703.24                 | 3.051E+02                  |
| 9       | 25111                                  | 56038   | 5.6944E-07   | 0.001031831                                    | 1031.8312   | 2.7783         | 0.35994     | 527.47                 | 1.899E+02                  |
| 10      | 27830                                  | 53319   | 5.4497E-07   | 0.000987494                                    | 987.4944  | 2.6589         | 0.37610     | 571.81                 | 2.151E+02                  |
| 11      | 33928                                  | 47221   | 4.9009E-07   | 0.000888041                                    | 888.0413  | 2.3911         | 0.41822     | 671.26                 | 2.807E+02                  |
| 12      | 23817                                  | 57332   | 5.8109E-07   | 0.001052931                                    | 1052.9315   | 2.8351         | 0.35272     | 506.37                 | 1.786E+02                  |

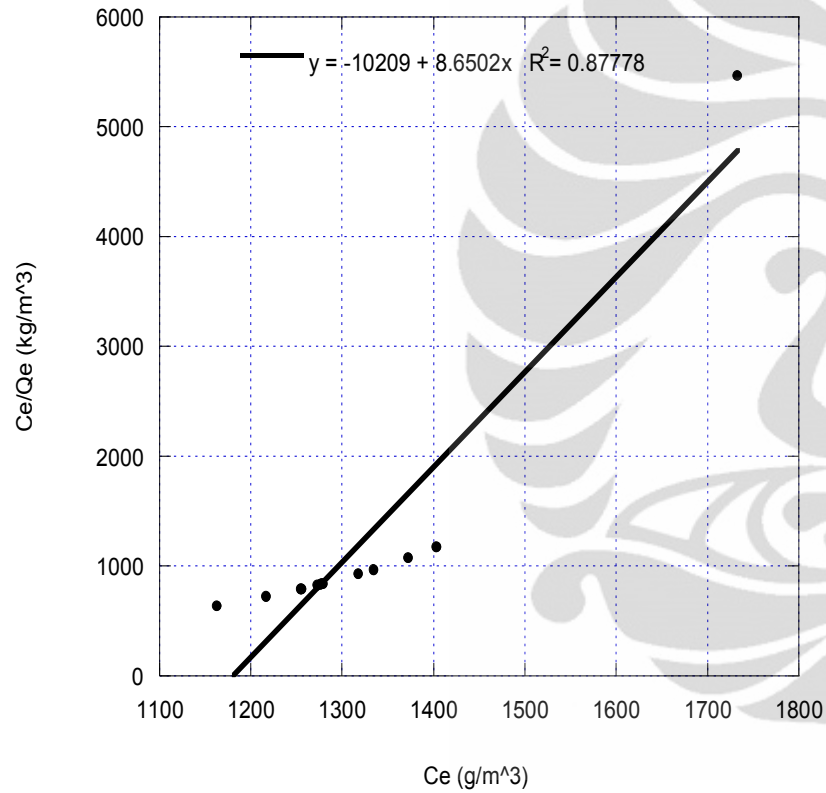
**f. Bahan Pengikat tepung beras dengan kompos (11:89 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| t (jam) | Luas Area N <sub>2</sub> O pada t (Le) | Luas Area N <sub>2</sub> O (diadsorp) Li - Le | Vol. N <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> ) (diadsorp) Vi - Ve | Massa N <sub>2</sub> O (gram) (diadsorp) mi-me | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) (diadsorp) | Langmuir Model |             |                        |                            |
|---------|--|---|--|--|---|----------------|-------------|------------------------|----------------------------|
|         |  |   |  |  |   | Qe (g/kg)      | 1/Qe (kg/g) | Ce (g/m <sup>3</sup> ) | Ce/Qe (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 0       | 81149                                  | 0   | 6.510E-08  | 0.0001180                                      | 117.9612  | 0.3176164      | 3.148       | 1441.34                | 4.538E+03                  |
| 1       | 93167                                  | -12018  | -4.306E-08   | -0.0000780                                     | -78.0214  | -0.2100764     | -4.760      | 1637.32                | -7.794E+03                 |
| 2       | 63574                                  | 17575   | 2.233E-07  | 0.0004046                                      | 404.5790  | 1.0893491      | 0.918       | 1154.72                | 1.060E+03                  |
| 3       | 53552                                  | 27597   | 3.135E-07  | 0.0005680                                      | 568.0061  | 1.5293848      | 0.654       | 991.29                 | 6.482E+02                  |
| 4       | 44023                                  | 37126   | 3.992E-07  | 0.0007234                                      | 723.4073  | 1.9478105      | 0.513       | 835.89                 | 4.291E+02                  |
| 5       | 37191                                  | 43958   | 4.607E-07  | 0.0008348                                      | 834.8329  | 2.2478294      | 0.445       | 724.47                 | 3.223E+02                  |
| 6       | 34851                                  | 46298   | 4.818E-07  | 0.0008730                                      | 872.9820  | 2.3505477      | 0.425       | 686.32                 | 2.920E+02                  |
| 7       | 29789                                  | 51360   | 5.273E-07  | 0.0009555                                      | 955.5471  | 2.5728583      | 0.389       | 603.75                 | 2.347E+02                  |
| 8       | 33550                                  | 47599   | 4.935E-07  | 0.0008942                                      | 894.1987  | 2.4076747      | 0.415       | 665.10                 | 2.762E+02                  |
| 9       | 32687                                  | 48462   | 5.013E-07  | 0.0009083                                      | 908.2842  | 2.4456005      | 0.409       | 651.02                 | 2.662E+02                  |
| 10      | 27163                                  | 53986   | 5.510E-07  | 0.0009984                                      | 998.3672  | 2.6881537      | 0.372       | 560.93                 | 2.087E+02                  |
| 11      | 26389                                  | 54760   | 5.579E-07  | 0.0010110                                      | 1010.9826   | 2.7221213      | 0.367       | 548.32                 | 2.014E+02                  |
| 12      | 16444                                  | 64705   | 6.474E-07  | 0.0011732                                      | 1173.1703   | 3.1588198      | 0.317       | 386.13                 | 1.222E+02                  |

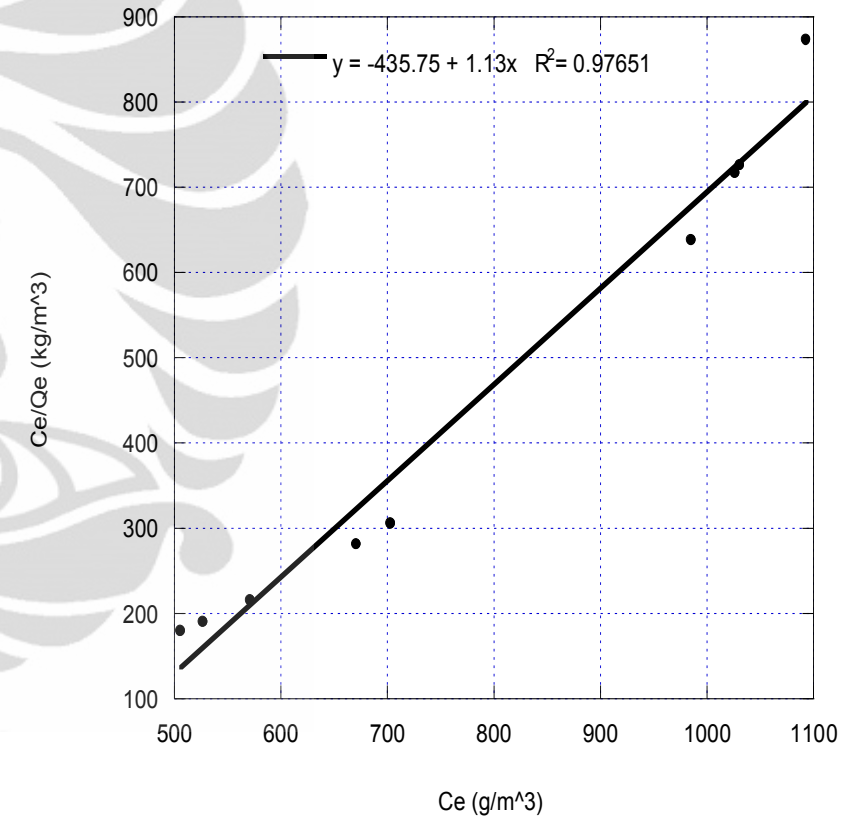


Lampiran 7a. Grafik adsorpsi Langmuir Model

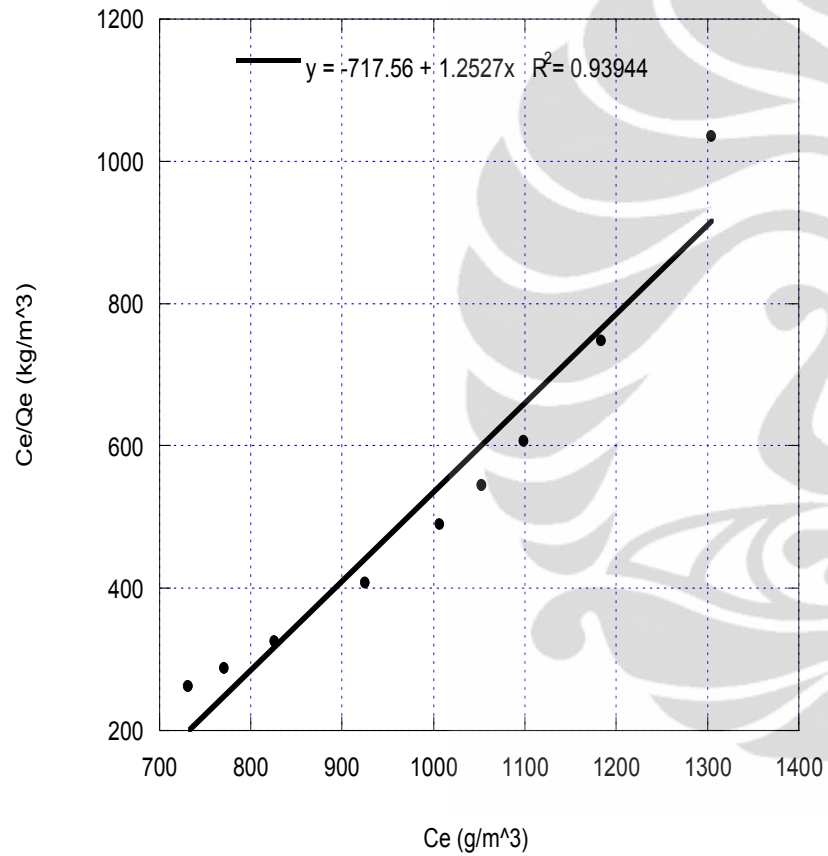
a. Grafik adsorpsi Langmuir tepung sagu 5:95 %



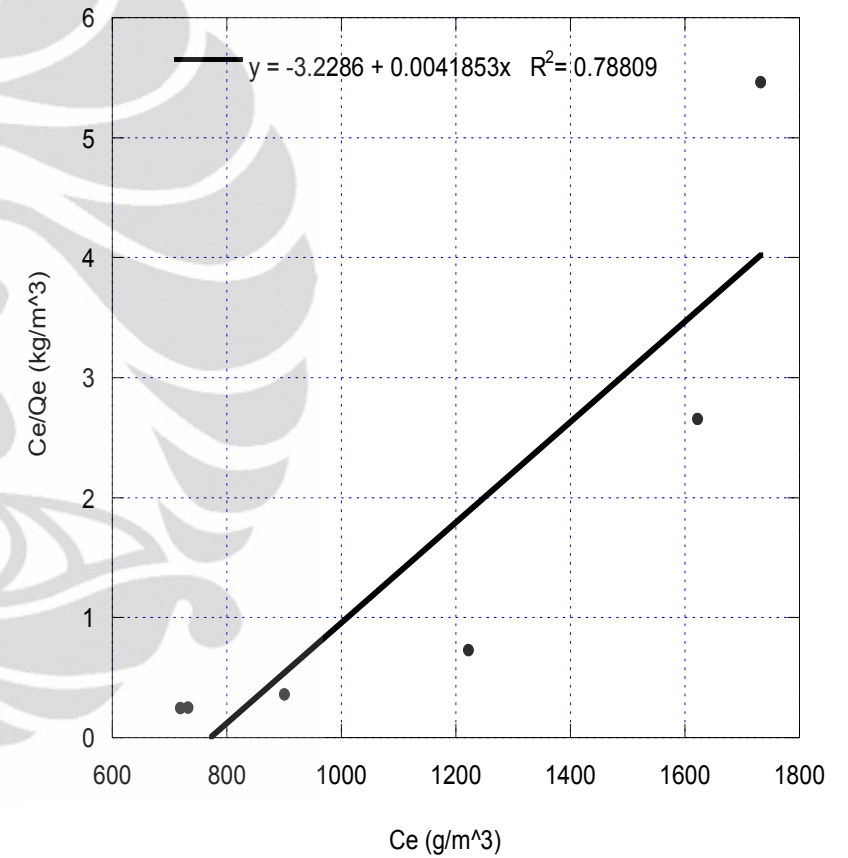
b. Grafik adsorpsi Langmuir tepung sagu 8:92 %



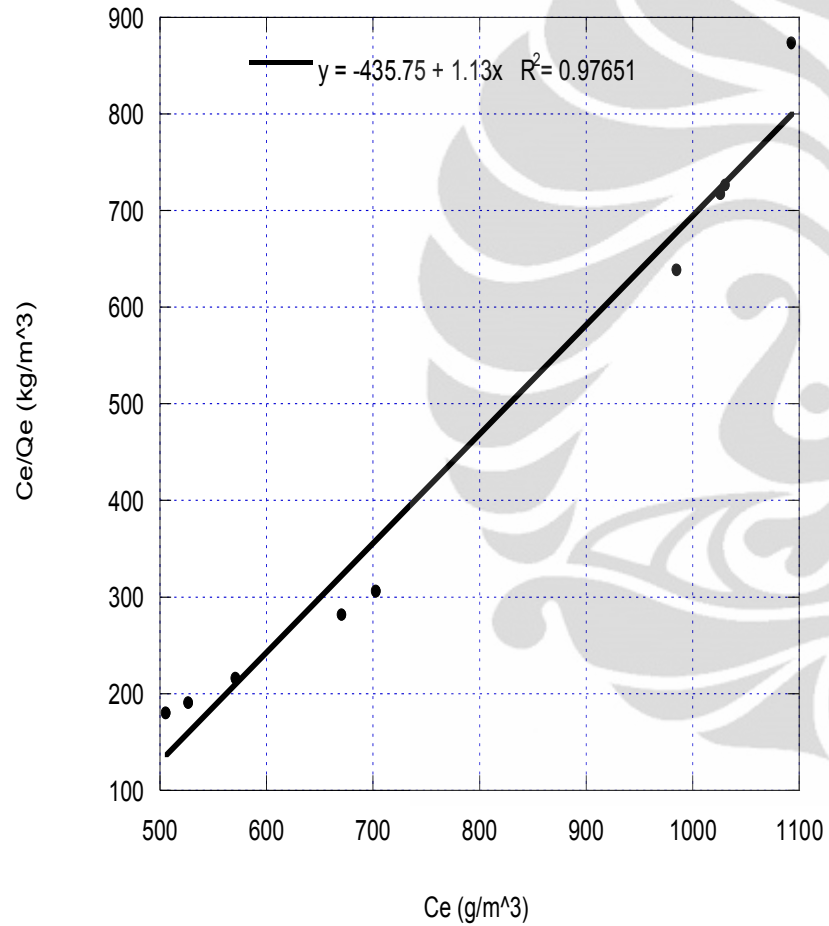
c. Grafik adsorpsi Langmuir tepung sagu 11:89 %



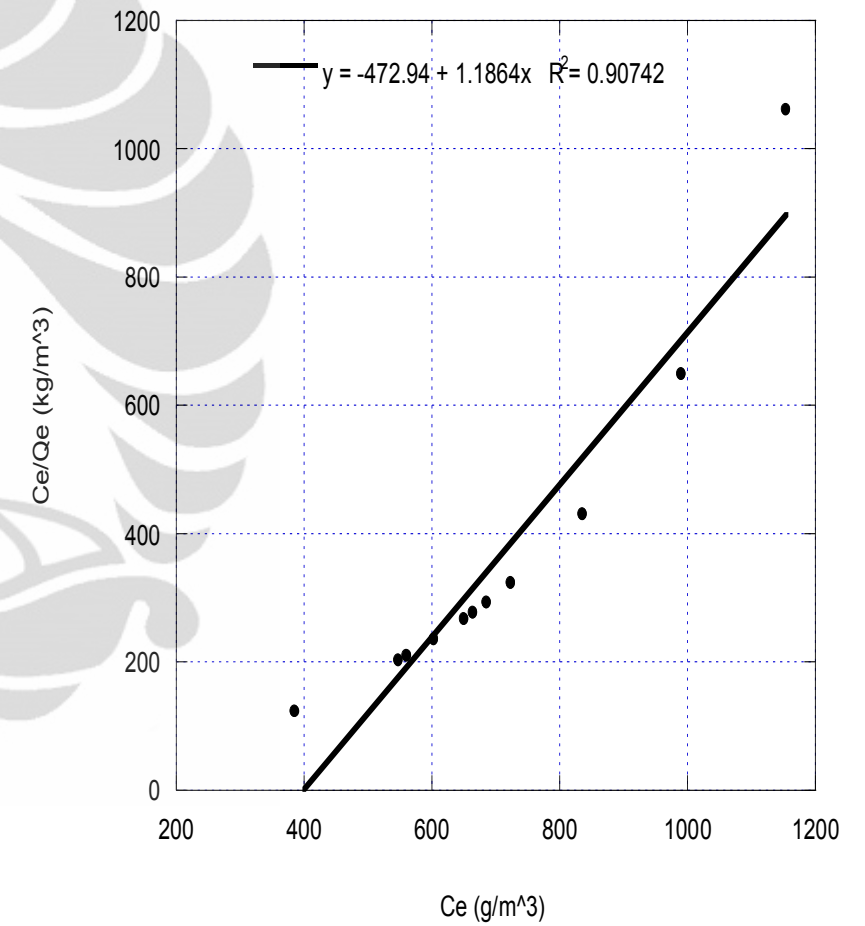
d. Grafik adsorpsi Langmuir tepung beras 5:95 %



e. Grafik adsorpsi Langmuir tepung beras 8:92 %



f. Grafik adsorpsi Langmuir tepung beras 11:89 %



## Lampiran 7b. Contoh perhitungan konstanta Langmuir

Berikut ini adalah contoh perhitungan konstanta Langmuir untuk variasi bahan pengikat tepung sagu rasio 11:82 %. Untuk konstanta Langmuir dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\text{gradien} = m = \frac{1}{q_m}$$

dan

$$\text{intersep} =$$

$$\frac{1}{q_m K_L}$$

$$\text{intersep} = \frac{m}{K_L}$$

Gambar 4.22 diperoleh persamaan  $y = -717,56 + 1,2527x$ . diperoleh nilai  $K_L$  :

$$\text{intersep} = \frac{m}{K_L}$$

$$-717,56 = \frac{1,2527}{K_L}$$

$$K_L = -0,00175$$

Konstanta  $q_m$  dari persamaan  $y = -717,56 + 1,2527x$  dapat diperoleh sebagai berikut:

$$m = \frac{1}{q_m} \rightarrow q_m = \frac{1}{m}$$

$$q_m = \frac{1}{1,2527} = 0,798276 \sim 0,8$$

## Lampiran 8. Pengolahan Data Michaelis Menten Model

### a. Bahan Pengikat tepung sagu dengan kompos (5:95 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm

| t (jam) | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> )<br>(diadsorp) | Michaelis Menten Model            |                                      |  |          |         |         |
|---------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|--|----------|---------|---------|
|         |  | C <sub>in</sub> -C <sub>out</sub> | (C <sub>in</sub> /C <sub>out</sub> ) | ln<br>(C <sub>in</sub> /C <sub>out</sub> ) | R        | C ln    | C ln /R |
| 0       | 1733.643684  | -                                 | -                                    | -  | -        | -       | -       |
| 1       | 1163.693062  | 569.95062                         | 1.4898                               | 0.3986                                     | 569.9506 | 1429.79 | 2.509   |
| 2       | 1278.531669  | 455.11202                         | 1.3560                               | 0.3045                                     | 227.5560 | 1494.56 | 6.568   |
| 3       | 1372.999253  | 360.64443                         | 1.2627                               | 0.2332                                     | 120.2148 | 1546.32 | 12.863  |
| 4       | 1217.127389  | 516.51629                         | 1.4244                               | 0.3537                                     | 129.1291 | 1460.19 | 11.308  |
| 5       | 1255.910143  | 477.73354                         | 1.3804                               | 0.3224                                     | 95.5467  | 1481.97 | 15.510  |
| 6       | 1273.723138  | 459.92055                         | 1.3611                               | 0.3083                                     | 76.6534  | 1491.89 | 19.463  |
| 7       | 1279.787385  | 453.85630                         | 1.3546                               | 0.3035                                     | 64.8366  | 1495.25 | 23.062  |
| 8       | 1335.490853  | 398.15283                         | 1.2981                               | 0.2609                                     | 49.7691  | 1525.92 | 30.660  |
| 9       | 1318.649349  | 414.99434                         | 1.3147                               | 0.2736                                     | 46.1105  | 1516.70 | 32.893  |
| 10      | 1255.486135  | 478.15755                         | 1.3809                               | 0.3227                                     | 47.8158  | 1481.73 | 30.988  |
| 11      | 1277.268963  | 456.37472                         | 1.3573                               | 0.3055                                     | 41.4886  | 1493.86 | 36.006  |
| 12      | 1403.949507  | 329.69418                         | 1.2348                               | 0.2109                                     | 27.4745  | 1563.01 | 56.889  |

**b. Bahan Pengikat tepung sagu dengan kompos (8:92%) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| t (jam) | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) (diadsorp) | Michaelis Menten Model            |                                      |   |          |         |         |
|---------|---|-----------------------------------|--------------------------------------|---|----------|---------|---------|
|         |   | C <sub>in</sub> -C <sub>out</sub> | (C <sub>in</sub> /C <sub>out</sub> ) | ln (C <sub>in</sub> /C <sub>out</sub> ) | R        | C ln    | C ln /R |
| 0       | 1733.643684   | 0.00000                           | 1.0000                               |   | -        | -       | -       |
| 1       | 1488.627633   | 245.01605                         | 1.1646                               | 0.1524                                  | 245.0161 | 1608.03 | 6.56    |
| 2       | 1407.746942   | 325.89674                         | 1.2315                               | 0.2082                                  | 162.9484 | 1565.04 | 9.60    |
| 3       | 1642.034659   | 91.60903                          | 1.0558                               | 0.0543                                  | 30.5363  | 1687.42 | 55.26   |
| 4       | 1543.345632   | 190.29805                         | 1.1233                               | 0.1163                                  | 47.5745  | 1636.65 | 34.40   |
| 5       | 1528.330623   | 205.31306                         | 1.1343                               | 0.1260                                  | 41.0626  | 1628.83 | 39.67   |
| 6       | 1366.007781   | 367.63590                         | 1.2691                               | 0.2383                                  | 61.2727  | 1542.53 | 25.17   |
| 7       | 1562.861649   | 170.78204                         | 1.1093                               | 0.1037                                  | 24.3974  | 1646.78 | 67.50   |
| 8       | 1340.285405   | 393.35828                         | 1.2935                               | 0.2573                                  | 49.1698  | 1528.54 | 31.09   |
| 9       | 1445.490643   | 288.15304                         | 1.1993                               | 0.1818                                  | 32.0170  | 1585.20 | 49.51   |
| 10      | 1382.005929   | 351.63776                         | 1.2544                               | 0.2267                                  | 35.1638  | 1551.19 | 44.11   |
| 11      | 1382.56273  | 351.08095                         | 1.2539                               | 0.2263                                  | 31.9165  | 1551.49 | 48.61   |
| 12      | 1433.026671   | 300.61701                         | 1.2098                               | 0.1904                                  | 25.0514  | 1578.57 | 63.01   |

**c. Bahan Pengikat tepung sagu dengan kompos (11:89 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| t (jam) | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> )<br>(diadsorp) | Michaelis Menten Model |            |                  |           |           |         |
|---------|--|------------------------|------------|------------------|-----------|-----------|---------|
|         |  | Cin -Cout              | (Cin/Cout) | ln<br>(Cin/Cout) | R         | C ln      | C ln /R |
| 0       | 1655.022816  | 0.00000                | 1.0000     | 0.0000           | -         | -         | -       |
| 1       | 2417.428805  | 762.40599              | 0.6846     | -0.3789          | 7.624E+02 | -2012.211 | -2.639  |
| 2       | 2021.705866  | 366.68305              | 0.8186     | -0.2001          | 1.833E+02 | -1832.253 | -9.994  |
| 3       | 1610.050011  | 44.97280               | 1.0279     | 0.0275           | 1.499E+01 | 1632.433  | 108.895 |
| 4       | 1304.587193  | 350.43562              | 1.2686     | 0.2379           | 8.761E+01 | 1472.863  | 16.812  |
| 5       | 1184.124657  | 470.89816              | 1.3977     | 0.3348           | 9.418E+01 | 1406.460  | 14.934  |
| 6       | 1007.541633  | 647.48118              | 1.6426     | 0.4963           | 1.079E+02 | 1304.613  | 12.089  |
| 7       | 1053.14113   | 601.88169              | 1.5715     | 0.4520           | 8.598E+01 | 1331.486  | 15.485  |
| 8       | 1099.197252  | 555.82556              | 1.5057     | 0.4092           | 6.948E+01 | 1358.207  | 19.549  |
| 9       | 925.9061143  | 729.11670              | 1.7875     | 0.5808           | 8.101E+01 | 1255.372  | 15.496  |
| 10      | 771.3971331  | 883.62568              | 2.1455     | 0.7634           | 8.836E+01 | 1157.538  | 13.100  |
| 11      | 826.2898611  | 828.73295              | 2.0030     | 0.6946           | 7.534E+01 | 1193.066  | 15.836  |
| 12      | 731.9946754  | 923.02814              | 2.2610     | 0.8158           | 7.692E+01 | 1131.444  | 14.710  |

**d. Bahan Pengikat tepung beras dengan kompos (5:95 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

| t (jam) | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> )<br>(diadsorp) | Michaelis Menten Model            |                                      |  |           |          |         |
|---------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|--|-----------|----------|---------|
|         |  | C <sub>in</sub> -C <sub>out</sub> | (C <sub>in</sub> /C <sub>out</sub> ) | ln<br>(C <sub>in</sub> /C <sub>out</sub> ) | R         | C ln     | C ln /R |
| 0       | 1733.643684  | 0.00000                           | 1.0000                               | 0.0000                                     | -         | -        | -       |
| 1       | 1623.781347  | 109.86234                         | 1.0677                               | 0.0655                                     | 1.099E+02 | 1678.113 | 15.27   |
| 2       | 1223.694854  | 400.08649                         | 1.4167                               | 0.3484                                     | 2.000E+02 | 1148.517 | 5.74    |
| 3       | 901.7795931  | 321.91526                         | 1.9225                               | 0.6536                                     | 1.073E+02 | 492.518  | 4.59    |
| 4       | 733.5113194  | 168.26827                         | 2.3635                               | 0.8601                                     | 4.207E+01 | 195.629  | 4.65    |
| 5       | 720.4788977  | 13.03242                          | 2.4062                               | 0.8781                                     | 2.606E+00 | 14.842   | 5.69    |
| 6       | 585.707256   | 134.77164                         | 2.9599                               | 1.0852                                     | 2.246E+01 | 124.195  | 5.53    |
| 7       | 569.7929777  | 15.91428                          | 3.0426                               | 1.1127                                     | 2.273E+00 | 14.302   | 6.29    |
| 8       | 563.3256909  | 6.46729                           | 3.0775                               | 1.1241                                     | 8.084E-01 | 5.753    | 7.12    |
| 9       | 386.6984023  | 176.62729                         | 4.4832                               | 1.5003                                     | 1.963E+01 | 117.725  | 6.00    |
| 10      | 288.608112   | 98.09029                          | 6.0069                               | 1.7929                                     | 9.809E+00 | 54.710   | 5.58    |
| 11      | 395.1273086  | 106.51920                         | 4.3876                               | 1.4788                                     | 9.684E+00 | 72.032   | 7.44    |
| 12      | 418.9230103  | 23.79570                          | 4.1383                               | 1.4203                                     | 1.983E+00 | 16.754   | 8.45    |



e. Bahan Pengikat tepung beras dengan kompos (8:92 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm

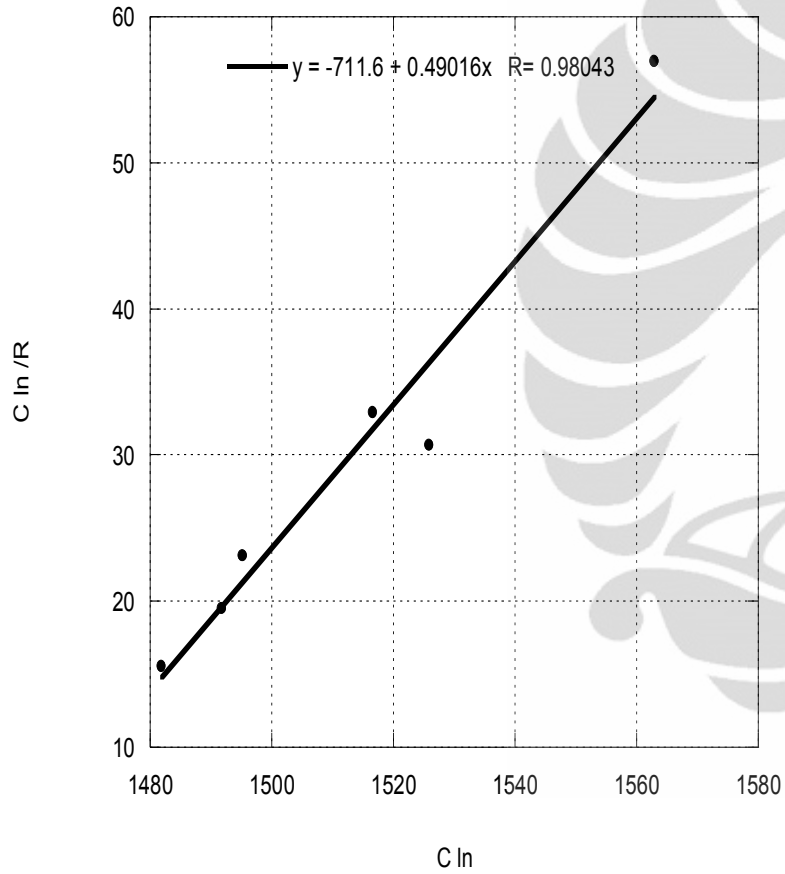
| t (jam) | Konsentrasi N <sub>2</sub> O<br>(g/m <sup>3</sup> ) (diadsorp) | Michaelis Menten Model            |                                      |  |           |          |         |
|---------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|--|-----------|----------|---------|
|         |  | C <sub>in</sub> -C <sub>out</sub> | (C <sub>in</sub> /C <sub>out</sub> ) | ln<br>(C <sub>in</sub> /C <sub>out</sub> ) | R         | C ln     | C ln /R |
| 0       | 1441.3391  | 0.00000                           | 1.0000                               | 0.0000                                     | -         | -        | -       |
| 1       | 1717.3287  | 275.98960                         | 0.8393                               | -0.1752                                    | 2.760E+02 | -1575.31 | -5.71   |
| 2       | 1422.4148  | 294.91390                         | 1.0133                               | 0.0132                                     | 1.475E+02 | 22313.86 | 151.32  |
| 3       | 1180.2993  | 242.11550                         | 1.2212                               | 0.1998                                     | 8.071E+01 | 1211.76  | 15.01   |
| 4       | 1031.342   | 148.95730                         | 1.3975                               | 0.3347                                     | 3.724E+01 | 445.03   | 11.95   |
| 5       | 1026.7827  | 4.55930                           | 1.4037                               | 0.3391                                     | 9.119E-01 | 13.44    | 14.74   |
| 6       | 1093.6083  | 66.82560                          | 1.3180                               | 0.2761                                     | 1.114E+01 | 242.04   | 21.73   |
| 7       | 985.4839   | 108.12440                         | 1.4626                               | 0.3802                                     | 1.545E+01 | 284.39   | 18.41   |
| 8       | 703.2413   | 282.24260                         | 2.0496                               | 0.7176                                     | 3.528E+01 | 393.30   | 11.15   |
| 9       | 527.4691   | 175.77220                         | 2.7326                               | 1.0052                                     | 1.953E+01 | 174.86   | 8.95    |
| 10      | 571.8059   | 44.33680                          | 2.5207                               | 0.9245                                     | 4.434E+00 | 47.96    | 10.82   |
| 11      | 671.259  | 99.45310                          | 2.1472                               | 0.7642                                     | 9.041E+00 | 130.14   | 14.39   |
| 12      | 506.3688   | 164.89020                         | 2.8464                               | 1.0461                                     | 1.374E+01 | 157.63   | 11.47   |

**f. Bahan Pengikat tepung beras dengan kompos (11:89 %) pada laju alir = 88 cc/menit dan h=100cm**

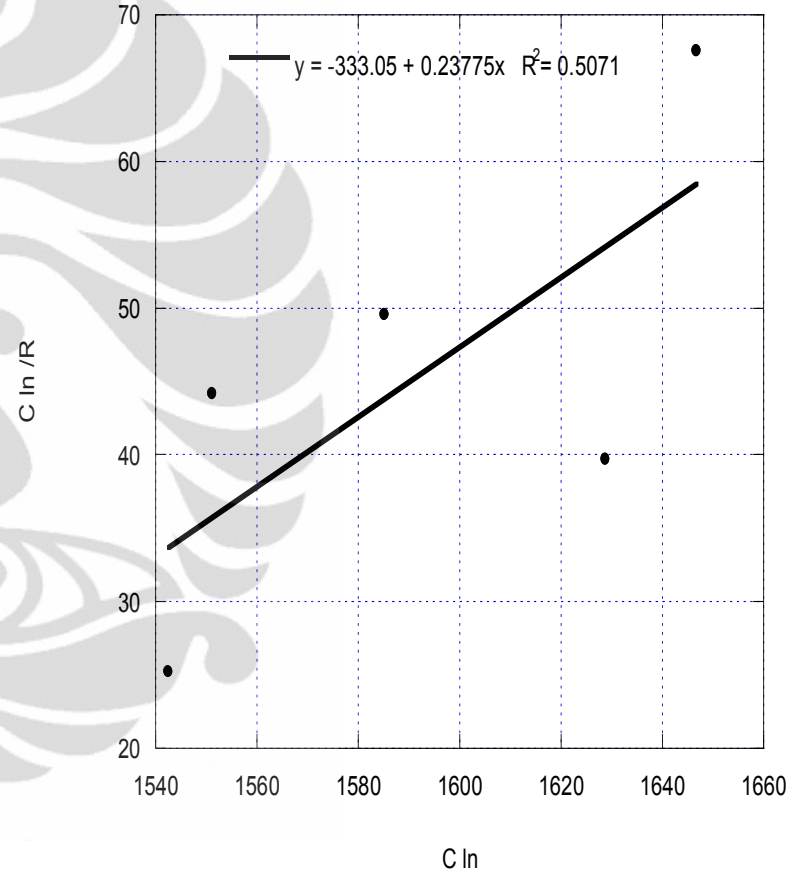
| t (jam) | Konsentrasi N <sub>2</sub> O (g/m <sup>3</sup> ) (diadsorp) | Michaelis Menten Model |            |               |           |           |         |
|---------|---|------------------------|------------|---------------|-----------|-----------|---------|
|         |   | Cin -Cout              | (Cin/Cout) | ln (Cin/Cout) | R         | C ln      | C ln /R |
| 0       | 1441.339  | 0.00000                | 1.0000     | 0.0000        | -         | -         | -       |
| 1       | 1637.322  | 195.98255              | 0.8803     | -0.1275       | 1.960E+02 | -1537.249 | 0.000   |
| 2       | 1154.721  | 286.61776              | 1.2482     | 0.2217        | 1.433E+02 | 1292.74   | 9.02    |
| 3       | 991.294   | 450.04489              | 1.4540     | 0.3743        | 1.500E+02 | 1202.31   | 8.01    |
| 4       | 835.893   | 605.44615              | 1.7243     | 0.5448        | 1.514E+02 | 1111.26   | 7.34    |
| 5       | 724.467   | 716.87172              | 1.9895     | 0.6879        | 1.434E+02 | 1042.13   | 7.27    |
| 6       | 686.318   | 755.02079              | 2.1001     | 0.7420        | 1.258E+02 | 1017.57   | 8.09    |
| 7       | 603.753   | 837.58587              | 2.3873     | 0.8702        | 1.197E+02 | 962.56    | 8.04    |
| 8       | 665.102   | 776.23750              | 2.1671     | 0.7734        | 9.703E+01 | 1003.68   | 10.34   |
| 9       | 651.016   | 790.32296              | 2.2140     | 0.7948        | 8.781E+01 | 994.38    | 11.32   |
| 10      | 560.933   | 880.40602              | 2.5695     | 0.9437        | 8.804E+01 | 932.90    | 10.60   |
| 11      | 548.318   | 893.02142              | 2.6287     | 0.9665        | 8.118E+01 | 924.00    | 11.38   |
| 12      | 386.130   | 1055.20914             | 3.7328     | 1.3172        | 8.793E+01 | 801.13    | 9.11    |

Lampiran 9. Grafik Michaelis Meneten Model

a. Grafik Michaelis Menten tepung sagu 5:95 %

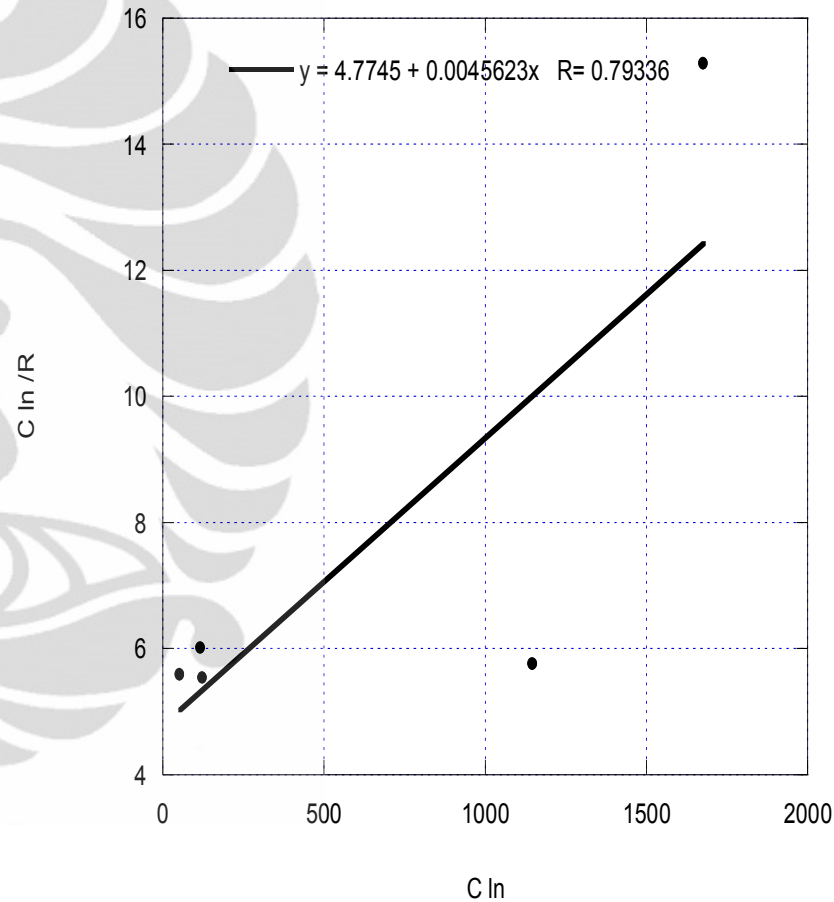
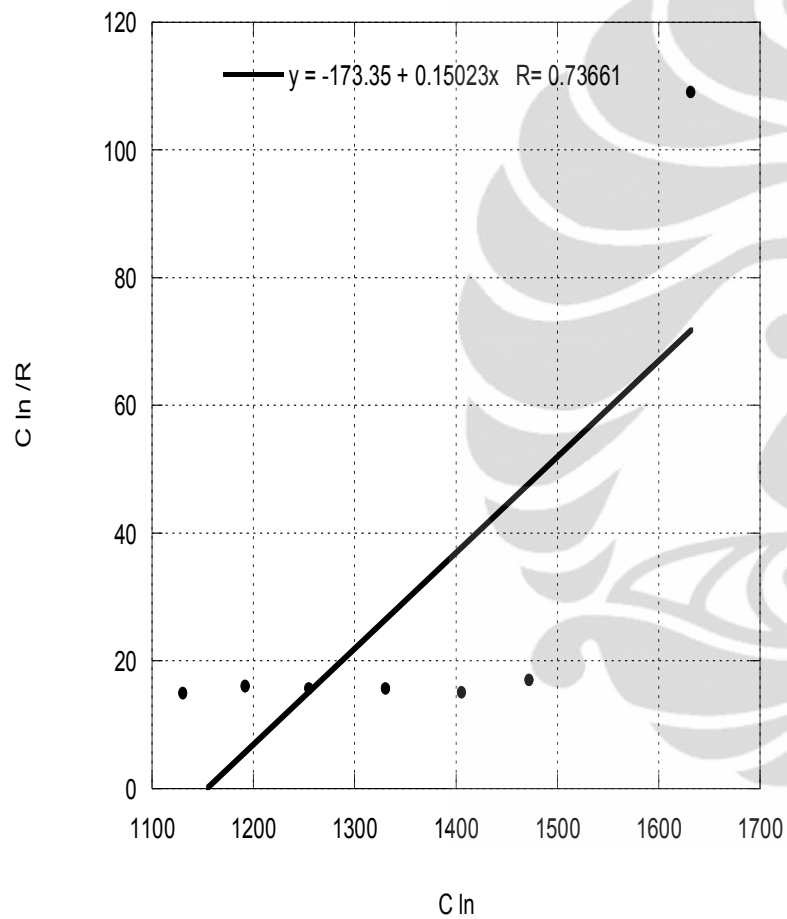


b. Grafik Michaelis Menten tepung sagu 8:92 %

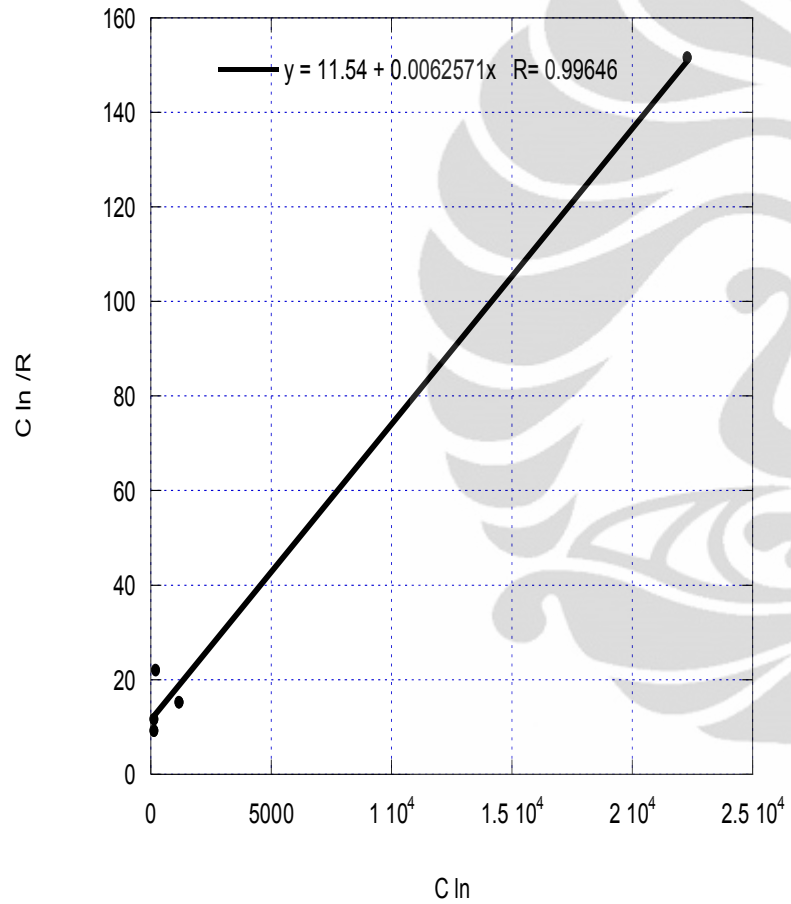


c. Grafik Michaelis Menten tepung sagu 11:89 %

d. Grafik Michaelis Menten tepung beras 5:95 %



e. Grafik Michaelis Menten tepung beras 8:92 %



f. Grafik Michaelis Menten tepung beras 11:89 %

