



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH ZAT PENGIKAT PADA PELET KOMPOS
SEBAGAI MEDIUM BIOFILTER DALAM PROSES REDUKSI
GAS DINITROGEN MONOKSIDA**

SKRIPSI

**YUSMALIA RACHMA SINAGA
0806368231**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

HALAMAN JUDUL

**PENGARUH ZAT PENGIKAT PADA PELET KOMPOS
SEBAGAI MEDIUM BIOFILTER DALAM PROSES REDUKSI
GAS DINITROGEN MONOKSIDA**

SKRIPSI

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

**YUSMALIA RACHMA SINAGA
0806368231**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

DEPOK

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 : Yusmalia Rachma Sinaga

NPM : 0806368231

Tanggal : 02 Juli 2010

Tanda Tangan :

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Yusmalia Rachma Sinaga

NPM : 0806368231

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : **Pengaruh Zat Pengikat pada Pelet Kompos Sebagai Medium Biofilter dalam Proses Reduksi 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 : Tania Surya Utami, S.T., M.T. ()

Pembimbing : Ir. Rita Arbianti, Msi. ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Anondho Widjanarko, M.Eng. ()

Penguji : Dr.Eng. Muhamad Sahlan. S.Si., M.Eng. ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Slamet, M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Januari 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, adik dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan moril dan materil;
2. Ir. Tania Surya Utami, MT. dan Ir. Rita ARbianti, Msi. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran, serta kesabaran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
3. Dr. Ir. Heri Hermansyah, M.Eng. selaku ketua riset grup bioproses yang telah memberikan wawasan dan motivasi dalam penyusunan seminar ini;
4. Erica Sanjaya, Jannati Sagala dan Ardana sahabat satu penelitian biofilter yang selalu bersama baik suka ataupun duka dalam penyusunan skripsi ini;
5. Altha Marissa, Nova Chisilia Zahara, Noviyani, dan teman-teman 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 seminar ini dapat membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Januari 2011

Penulis

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

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

Nama : Yusmalia Rachma Sinaga
NPM : 0806368231
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:

“Pengaruh Zat Pengikat pada Pelet Kompos Sebagai Medium Biofilter dalam
Proses Reduksi 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.

Depok, Januari 2011
Yang menyatakan,

Yusmalia Rachma Sinaga

ABSTRAK

Nama : Yusmalia Rachma Sinaga

NPM : 0806368231

Judul Skripsi : Pengaruh Zat Pengikat pada Pelet Kompos Sebagai Medium
Biofilter dalam Proses Reduksi Gas Dinitrogen Monoksida

Dinitrogen monoksida (N_2O) merupakan emisi dari proses industri dan kegiatan pertanian. Gas tersebut merupakan gas polutan berbahaya dan menyebabkan masalah lingkungan yang serius seperti pemanasan global. Pengolahan N_2O secara biologis adalah salah satu alternatif yang digunakan dalam penghilangan gas buang industri yang ramah lingkungan. Penelitian biofilter skala laboratorium ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh jenis bahan pengikat dan pengaruh rasio bahan pengikat pada pelet kompos berbasis kotoran kambing sebagai medium filter terhadap efisiensi reduksi N_2O dan pertumbuhan mikroorganisme di dalam kompos. Selain itu juga mengamati perubahan suhu dan kelembaban medium filter selama proses biofiltrasi. Efisiensi reduksi N_2O dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC) dan hasil kualitatif mikroorganisme di dalam kompos diamati dengan menggunakan metode TPC. Efisiensi reduksi tertinggi untuk variasi jenis bahan pengikat adalah pada penggunaan bahan pengikat dari tepung beras yaitu sebesar 82,53%. Rasio tepung sagu sebesar 10:90 %berat larutan amilum pregelatinasi dengan kompos ruah merupakan rasio optimum dengan efisiensi reduksi sebesar 66,50%. Kelembaban medium biofilter semakin lama akan meningkat, sedangkan suhu medium filter akan semakin menurun sejalan dengan semakin lamanya proses biofiltrasi di dalam kolom.

Kata kunci:

Biofilter, efisiensi reduksi, pelet kompos, zat pengikat.

ABSTRACT

Nama : Yusmalia Rachma Sinaga
NPM : 0806368231
Judul Skripsi : Effect of Binder on Pellet Substance Compost For Medium
Biofilter in dinitrogen monoxide Gas Reduction Process

Dinitrogen monoxide (N_2O) are the emission from industrial and agricultural activities. These gases are harmful pollutant gases and cause serious environmental problems such as global warming. N_2O bioprocessing is one of the alternatives used in the removal of industrial waste gas that environmentally friendly. Laboratory-scale biofilter study was conducted with the aim to evaluate the influence of binder type material and its ratio on goat dung pellets-based compost as a filter medium to N_2O reduction efficiency and growth of microorganisms in the compost. Besides, the changes in temperature and humidity filter medium also observed during the biofiltration process. N_2O reduction efficiency was analyzed by using Gas Chromatography (GC). The quantitative results of the microorganisms growth in the compost observed by using TPC (Total Plate Count). The highest reduction efficiency from various types of the sample obtained by the use of rice flour which equal to 82.53%. Sago starch ratio of 10:90%-weight starch pregelatination solution with bulk compost is the most optimum ratio with efficiency ratio of 66.50% reduction. Biofilter medium moisture will increase over time, while the temperature of the filter medium will decline further by the increasing of biofiltration duration in the column.

Keywords : *biofilter, reduction effeciency, compost pellet, binder*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pemanasan Global	6
2.2. Efek Rumah Kaca	7
2.3. Dinitrogen Monoksida	8
2.4. Biofilter	9
2.4.1. Media Filter	10
2.4.2. Kelembaban (Moisture)	11
2.4.3. Suhu (Temperatur)	12
2.4.4. Derajat Keasaman (pH)	13
2.4.5. Beda Tekanan (Pressure Drop)	13
2.4.6. Kandungan Oksigen	13
2.5. Kompos	14

2.6.	Pelet	17
2.6.1.	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembuatan Pelet	17
2.6.2.	Pembuatan Pelet	18
2.6.3.	Sifat-Sifat Pelet	19
2.7.	Sagu sebagai Bahan Pengikat	20
2.8.	State of The Art	23
2.9.	Ringkasan State of The Art	35

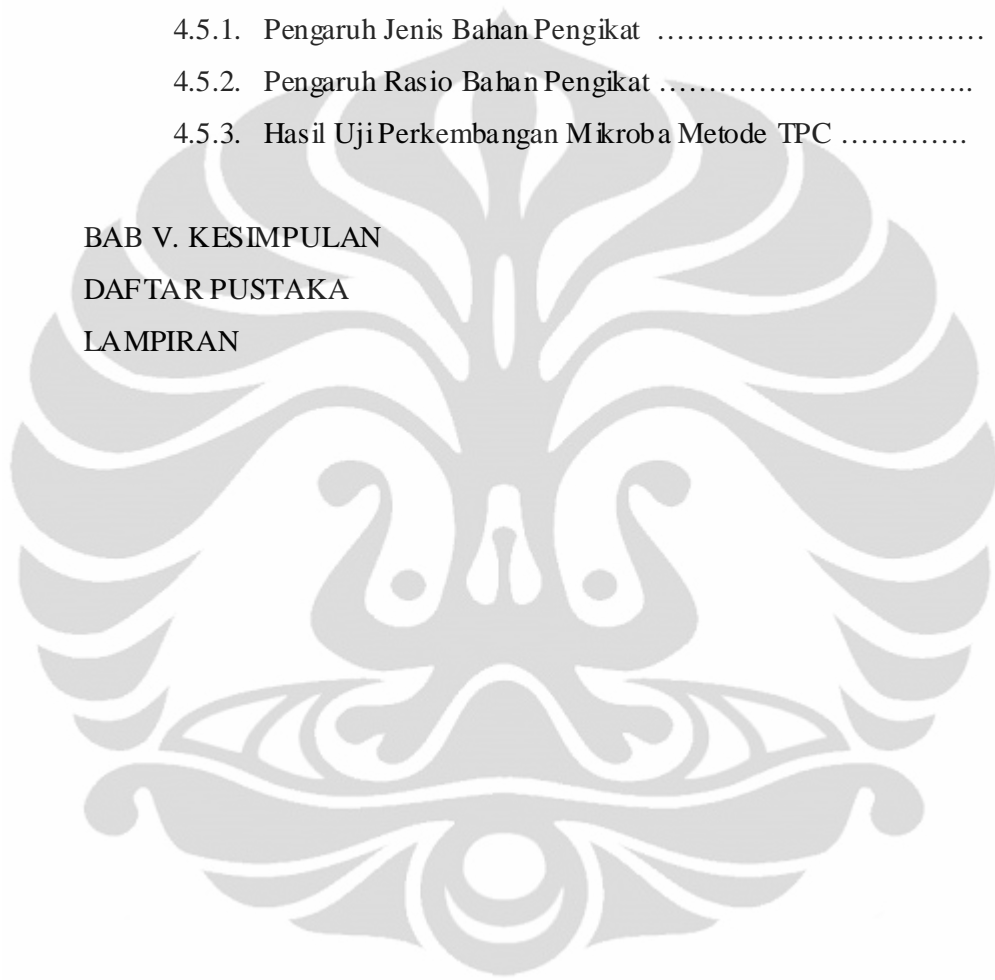
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Diagram Alir Penelitian	36
3.2.	Alat dan Bahan	38
3.2.1.	Alat	38
3.2.2.	Bahan	39
3.3.	Prosedur Penelitian	40
3.3.1.	Preparasi Medium Filter	40
3.3.2.	Uji Sifat Kompos Sebelum dan Sesudah Biofiltrasi	42
3.3.3.	Uji Kebocoran Alat dan Uji Blanko	42
3.3.4.	Kalibrasi Gas N ₂ O	44
3.4.	Eksperimen Biofiltrasi	44
3.4.1.	Variasi Jenis Bahan Pengikat	44
3.4.2.	Variasi Rasio Bahan Pengikat	45
3.5.	Data Penelitian	46
3.6.	Pengukuran dan Analisis	46
3.6.1.	Analisis Gas N ₂ O	46
3.6.2.	Analisis Perkembangan Bakteri	47
	3.6.2.1. Metode TPC (Total Plate Count)	47
3.7.	Variabel Penelitian	46

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Peralatan Biofilter	51
4.2.	Preparasi Medium Kompos.....	53
4.3.	Pembuatan Medium Pelet Kompos.....	56

4.4.	Persiapan Eksperimen	58
4.4.1.	Uji Kebocoran dan Uji Blanko	58
4.4.2.	Uji Waktu Tinggal	59
4.4.3.	Kalibrasi Gas N ₂ O	61
4.5.	Uji Kinerja Biofilter	62
4.5.1.	Pengaruh Jenis Bahan Pengikat	63
4.5.2.	Pengaruh Rasio Bahan Pengikat	67
4.5.3.	Hasil Uji Perkembangan Mikroba Metode TPC	71
BAB V. KESIMPULAN		76
DAFTAR PUSTAKA		77
LAMPIRAN		80



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Komposisi Gas Rumah Kaca Setiap Tahun	6
Gambar 2.2	Konsentrasi Outlet Vs Inlet Sebelum Inokulasi	25
Gambar 2.3	Pengaruh Suplai Nutrien Terhadap Performansi Biofilter ...	25
Gambar 2.4	Skema Sistem Biofilter yang Digunakan	27
Gambar 2.5	Pengaruh luas Permukaan Spesifik Terhadap Ec	28
Gambar 2.6	Pengaruh Diameter Partikel Pelet Terhadap <i>Pressure Drop</i> ...	28
Gambar 2.7	Mapping State of The Art Biofilter	35
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian Biofiltrasi Secara Umum	36
Gambar 4.1	Sistem Biofilter dan GC	52
Gambar 4.2	Proses Pengeringan Kompos pada Kondisi Ruang	55
Gambar 4.3	Proses Pengadukan Kompos	55
Gambar 4.4	Proses Pengayakan Kompos	55
Gambar 4.5	Kompos sebagai Medium Filter	56
Gambar 4.6	Pelet Kompos dengan Ukuran 5x5 mm	57
Gambar 4.7	Alat <i>Pelletizer</i>	57
Gambar 4.8	Uji Kebocoran dan Uji Blangko Sistem Biofilter	58
Gambar 4.9	Sampel Grafik yang Terdeteksi pada (a) Gas N ₂ O; (b) Udara Bebas oleh GC	61
Gambar 4.10	Hasil Kalibrasi N ₂ O	62
Gambar 4.11	Profil Variasi Jenis Bahan Pengikat Terhadap Reduksi N ₂ O	65

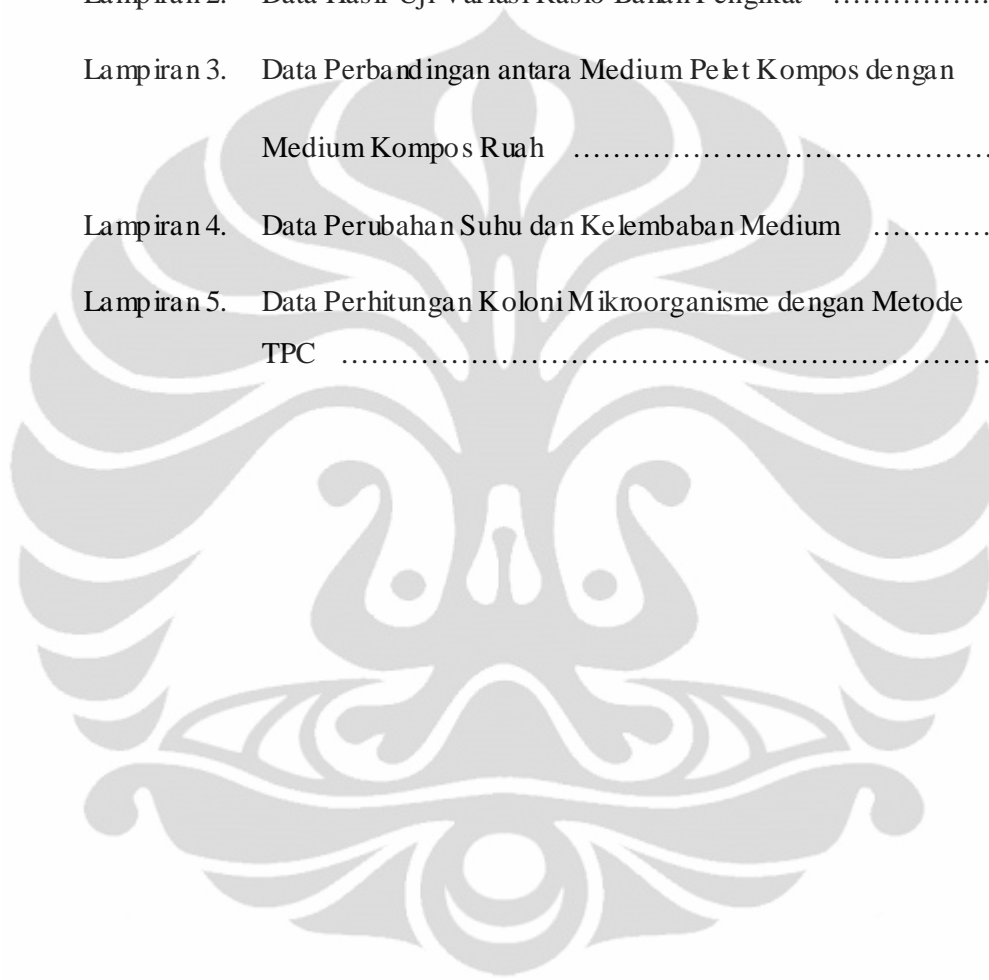
Gambar 4.12	Perbandingan Efisiensi Reduksi pada Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat	66
Gambar 4.13	Profil Variasi Rasio Bahan Pengikat terhadap Reduksi N ₂ O ...	67
Gambar 4.14	Perbandingan Efisiensi Reduksi pada Uji Variasi Rasio Bahan Pengikat	68
Gambar 4.15	Perbandingan Laju Penurunan Konsentrasi Gas N ₂ O Medium Kompos Berbentuk Pelet dan Ruah	69
Gambar 4.16	Perubahan Kelembaban Kolom Selama Proses Biofiltrasi ...	69
Gambar 4.17	Perubahan Suhu Medium Filter Selama Proses Biofiltrasi	70
Gambar 4.18	Medium Agar Sebelum Digunakan Uji TPC	73
Gambar 4.19	Hasil Uji TPC Pelet Kompos dengan Bahan Pengikat Tepung Sagu 10:90 Sebelum Biofiltrasi	73
Gambar 4.20	Hasil Uji TPC Pelet Kompos dengan Bahan Pengikat Tepung Sagu 10:90 Setelah Biofiltrasi	74
Gambar 4.21	Hasil Uji TPC yang Terjadi Kontaminasi Jamur	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Gas Rumah Kaca, Sumber dan Kontribusinya	8
Tabel 2.2	Organisme yang Aktif dalam Proses Pengomposan	14
Tabel 2.3	Bahan-Bahan yang Umum Dijadikan Bahan Baku Kompos ..	15
Tabel 2.4	Perbandingan Komposisi Elemen Utama pada Medium Filter Kompos	16
Tabel 2.5	Komposisi Bahan Pati Sagu, terigu, beras dan Tapioka setiap 100 gr	21
Tabel 2.6	Sifat Pati Sagu dan Beberapa Pati Lainnya	21
Tabel 2.7	Hasil eksperimen	29
Tabel 2.8	Karakteristik, Sifat dan Konsentrasi Bio filter	29
Tabel 2.9	Kondisi Operasi Biofilter	30
Tabel 2.10	Efisiensi Penghilangan Minimum, Maximum dan Rata-Rata Bio filtrasi	30
Tabel 2.11	Tahap-Tahap Operasi Biofiltrasi	32
Tabel 2.12	Karakteristik Kolom Biofilter	33
Tabel 2.13	Kondisi Operasi Kedua Kolom	34
Tabel 3.1	Peralatan yang Digunakan dalam Penelitian	38
Tabel 3.2.	Spesifikasi Kromatografi Gas dalam Penelitian	47
Tabel 4.1	Komposisi Bahan Pati Sagu, Terigu dan Beras setiap 100 gr..	63
Tabel 4.2	Sifat Pati Sagu, Terigu dan Beras	64
Tabel 4.3	Perubahan Sifat Fisis Medium Filter Sebelum dan Setelah Bio filtrasi	71
Tabel 4.4	Hasil uji TPC sebelum dan setelah biofiltrasi	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data Hasil Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat	79
Lampiran 2.	Data Hasil Uji Variasi Rasio Bahan Pengikat	80
Lampiran 3.	Data Perbandingan antara Medium Pelet Kompos dengan Medium Kompos Ruah	81
Lampiran 4.	Data Perubahan Suhu dan Kelembaban Medium	82
Lampiran 5.	Data Perhitungan Koloni Mikroorganisme dengan Metode TPC	83



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya suhu bumi akhir-akhir ini merupakan akibat yang ditimbulkan oleh pencemaran lingkungan yang semakin sangat mengkhawatirkan. Pemanasan bumi secara global lebih populer dikenal dengan istilah *global warming*. Hal ini tidak bisa terlepas dari efek gas rumah kaca. Efek rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas karbondioksida (CO_2) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas CO_2 ini disebabkan oleh kenaikan pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batu bara dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tumbuhan-tumbuhan dan laut untuk mengabsorbnya. Selain gas CO_2 , yang dapat menimbulkan efek rumah kaca adalah sulfur dioksida, nitrogen oksida (NO_x) serta beberapa senyawa organik seperti gas metana dan chloro fluoro carbon (CFC). Gas-gas tersebut memegang peranan penting dalam meningkatkan efek rumah kaca.

Gas dinitrogen monoksida (N_2O) adalah gas yang merugikan bagi lingkungan, karena selain sebagai salah satu penyebab pemanasan global, juga dapat merusak lapisan ozon. Peningkatan aktivitas manusia dalam pengolahan lahan persawahan bisa meningkatkan kandungan nitrogen tersedia dalam tanah melalui pemupukan nitrogen (urea, ZA, dll) dan pemberian bahan organik, namun melalui proses mikrobiologis dapat memacu peningkatan emisi gas N_2O baik secara langsung maupun tidak langsung. Meskipun emisi gas N_2O jauh lebih rendah dari pada emisi gas CO_2 , namun gas N_2O dapat menyerap panas 270 kali lebih kuat dibandingkan gas CO_2 di atmosfer. Gas N_2O di atmosfer juga dapat tinggal lebih lama (166 +16 tahun) dan lebih stabil dari pada gas CO_2 dan gas metana (CH_4). Konsentrasi N_2O di atmosfer kini telah mencapai 310 ppbv dengan laju peningkatan konsentrasi berkisar 0.6 - 0.9 ppbv/tahun. Selain itu, peningkatan N_2O di troposfer merupakan sumber terbesar yang memberikan pengaruh pada kerusakan Ozon sampai 70%. Oleh karenanya pengendalian emisi N_2O menjadi suatu yang penting dalam pengendalian lingkungan. (Wihardjaka, 2004)

Biofilter telah banyak digunakan di negara-negara Eropa, Amerika dan Jepang karena memiliki efektivitas yang tinggi untuk mengolah emisi gas buang dari berbagai industri dengan volum gas yang besar namun mempunyai konsentrasi polutan yang rendah. Selain itu, jika dibandingkan dengan metode fisika-kimia konvensional, metode biofilter ini mempunyai kelebihan yaitu biaya investasi dan operasional yang rendah, stabil pada waktu yang relatif lama, dan memiliki daya degradasi gas polutan yang tinggi (Devinny *et al.*, 1999). Teknik biofilter merupakan salah satu metode yang menggunakan mikroorganisme untuk mendegradasi polutan yang dilewatkan dalam filter. Dalam hal ini mikroba terjerat secara alami didalamnya dan membentuk *biolayer* (lapisan tipis) untuk mereduksi polutan. Prinsip kerja biofiltrasi adalah mengalirkan udara dan polutan yang telah dihumidifikasi melalui media berpori yang memiliki kemampuan menyerap senyawa gas, sekaligus mendukung pertumbuhan mikroorganisme dalam medium filter. Jenis medium yang biasa digunakan adalah kompos. Fungsi kompos adalah sebagai medium filter, yakni sebagai tempat mikroorganisme berkembang biak dan melakukan aktivitasnya untuk mendegradasi gas polutan tersebut. Metode penyaringan gas yang berbahaya ini menggunakan teknik adsorpsi dan biodegradasi. Cara pertama berfungsi menyerap polutan oleh kompos. Sedangkan sisanya berguna untuk menguraikan polutan yang telah diserap menggunakan mikroorganisme.

Luas permukaan bahan penyerap sangatlah berpengaruh pada proses adsorpsi. Semakin kecil ukuran partikel bahan penyerap yang berarti luas permukaannya semakin besar akan menghasilkan penyerapan yang lebih baik. Ukuran partikel yang lebih kecil akan memperbesar *pressure drop* yang terjadi (Ottengraf *et al.*, 1986). Dalam penelitian ini digunakan medium biofilter berbasis kotoran kambing yang berbentuk pelet. Pembentukan pelet kompos sebagai medium filter berfungsi untuk mengurangi *pressure drop* pada proses biofiltrasi.

Pada prinsipnya proses pembuatan pelet sama dengan pembuatan tablet atau pil pada dunia farmasi. Pelet kompos dibuat dengan cara mencetak kompos dengan menggunakan alat *pelletizer*. Tetapi kenyataannya pelet yang dihasilkan dari alat *pelletizer* mudah hancur dan cenderung lebih banyak yang masih

berbentuk ruah. Oleh karena itu dibutuhkan penambahan bahan pengikat. Bahan pengikat diperlukan untuk mengikat komponen-komponen kompos yang akan dijadikan pelet agar mempunyai struktur yang kompak sehingga tidak mudah hancur dan mudah dibentuk pada proses pembuatannya. Air juga dapat digunakan sebagai bahan pengikat, tetapi untuk mengikat kompos agar menjadi pelet yang memiliki struktur yang kuat air tidaklah cukup untuk dijadikan bahan pengikat. Tepung atau pati adalah bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pengikat karena amilum beberapa jenis tepung memiliki sifat seperti lem (dapat membentuk gelatin) sehingga dapat merekatkan kompos yang berbentuk serbuk. Pada penelitian ini bahan pengikat yang digunakan adalah tepung sagu, tepung terigu dan tepung beras. Pemilihan tepung-tepung tersebut karena sifatnya sebagai bahan pengikat yang dapat membantu pembentukan pelet kompos, dan merupakan bahan perekat yang mudah ditemukan karena merupakan salah satu bahan makanan pokok di Indonesia dengan harga yang relatif murah. Selain itu tepung-tepung tersebut memiliki kandungan unsur-unsur yang dapat membantu perkembangan mikroorganisme yang dapat mereduksi gas polutan.

Berdasarkan uraian di atas, diharapkan penelitian ini akan menghasilkan performansi biofilter yang lebih baik dengan melihat parameter-parameter yang diteliti. Adapun parameter-parameter yang akan diteliti dalam biofiltrasi ini antara lain adalah pengaruh variasi jenis bahan pengikat dan variasi rasio bahan pengikat yang ditambahkan pada pembuatan pelet kompos terhadap performansi biofilter dalam mereduksi N_2O . Selain itu juga akan diteliti perubahan suhu dan kelembaban medium filter selama proses biofiltrasi, pertumbuhan serta perkembangan mikroba pada pelet sebelum dan setelah proses biofiltrasi.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh zat pengikat yang ditambahkan pada pembuatan pelet kompos terhadap efisiensi biofiltrasi gas N_2O ?

2. Bagaimana pengaruh jenis-jenis bahan pengikat yang ditambahkan pada pelet kompos sebagai medium filter terhadap efisiensi reduksi gas N_2O ?
3. Bagaimana pengaruh rasio bahan pengikat pada pelet kompos sebagai medium filter terhadap efisiensi reduksi gas N_2O ?
4. Bagaimana efektifitas biofilter dalam menurunkan konsentrasi gas N_2O berdasarkan penurunan konsentrasi maksimum yang dihasilkan?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengkaji pengaruh medium filter berupa pelet terhadap efisiensi biofiltrasi gas N_2O .
2. Mengkaji pengaruh variasi zat pengikat yang ditambahkan pada pembentukan pelet kompos terhadap performansi biofiltrasi gas N_2O .
3. Menentukan kemampuan optimum biofilter pada reduksi gas N_2O .

1.4. Batasan Masalah

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

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Bioproses Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok.
2. Peralatan biofilter yang digunakan untuk penelitian merupakan peralatan dalam skala kecil.
3. Gas NO_x yang digunakan adalah gas N_2O .
4. Konsentrasi gas N_2O sebagai gas sampel adalah 15.000 ppm dalam udara.
5. Tinggi dan diameter kolom biofilter berturut-turut adalah 120 cm dan 80 cm.
6. Medium filter yang digunakan adalah kompos berbasis kotoran kambing.
7. Bahan pengikat dalam pembentukan pelet kompos adalah tepung sagu, tepung terigu dan tepung beras.

8. Peralatan yang digunakan untuk membuat pelet kompos ini merupakan peralatan yang biasa digunakan dalam pembuatan pelet pakan ternak

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari makalah ini adalah sebagai berikut:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan mengenai 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 tentang kompos, polutan udara, biofiltrasi dan metode pembuatan pelet dengan bahan pengikat tepung sagu serta jurnal-jurnal internasional yang terkait dengan biofilter.

- **BAB III METODE PENELITIAN**

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

- **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisikan hasil dan pembahasan dari uji kebocoran dan uji kemampuan alat biofilter dalam mereduksi gas N_2O dengan variasi jenis bahan pengikat dan rasio bahan pengikat yang digunakan dalam pembuatan pelet kompos sebagai medium filter, perubahan suhu dan kelembaban medium filter selama proses biofiltrasi dan pengaruhnya terhadap efisiensi reduksi N_2O yang dihasilkan.

- **BAB V KESIMPULAN**

Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan pembahasan.

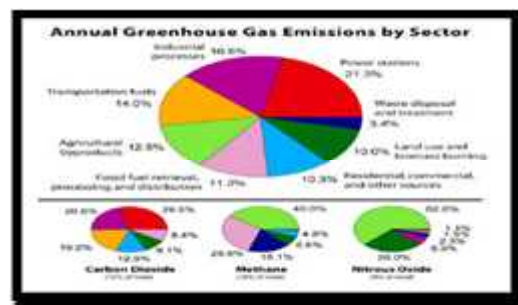
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemanasan Global

Pemanasan global atau *Global Warming* adalah adanya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi. Suhu rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat $0,74 \pm 0,18$ °C ($1,33 \pm 0,32$ °F) selama seratus tahun terakhir. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyimpulkan bahwa, sebagian besar peningkatan suhu rata-rata global sejak pertengahan abad ke-20 kemungkinan besar disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca akibat aktivitas manusia melalui efek rumah kaca (Chaves, 2008). Model iklim yang dijadikan acuan oleh proyek IPCC menunjukkan suhu permukaan global akan meningkat 1,1 hingga 6,4 °C (2,0 hingga 11,5 °F) antara tahun 1990 dan 2100. Walaupun sebagian besar penelitian terfokus pada periode hingga 2100, pemanasan dan kenaikan muka air laut diperkirakan akan terus berlanjut selama lebih dari seribu tahun walaupun tingkat emisi gas rumah kaca telah stabil. Ini mencerminkan besarnya kapasitas panas dari lautan (Chaves, 2008).

Meningkatnya suhu global diperkirakan akan menyebabkan perubahan-perubahan yang lain seperti naiknya permukaan air laut, meningkatnya intensitas fenomena cuaca yang ekstrim, serta perubahan jumlah dan pola presipitasi. Akibat-akibat pemanasan global yang lain adalah terpengaruhnya hasil pertanian, hilangnya gletser, dan punahnya berbagai jenis hewan.



Gambar 2.1. Komposisi Gas Rumah Kaca Setiap Tahun (<http://www.mnp.nl/edgar/model/v32ft2000edgar/:4/8/08>)

2.2. Efek rumah kaca

Segala sumber energi yang terdapat di bumi berasal dari matahari. Sebagian besar energi tersebut berbentuk radiasi gelombang pendek, termasuk cahaya tampak. Ketika energi ini tiba permukaan bumi, ia berubah dari cahaya menjadi panas yang menghangatkan bumi. Permukaan bumi, akan menyerap sebagian panas dan memantulkan kembali sisanya. Sebagian dari panas ini berwujud radiasi infra merah gelombang panjang ke angkasa luar. Namun sebagian panas tetap terperangkap di atmosfer bumi akibat menumpuknya jumlah gas rumah kaca antara lain uap air, karbon dioksida, dan metana yang menjadi perangkap gelombang radiasi ini. Gas-gas ini menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan bumi dan akibatnya panas tersebut akan tersimpan di permukaan bumi. Keadaan ini terjadi terus menerus sehingga mengakibatkan suhu rata-rata tahunan bumi terus meningkat.

Gas-gas tersebut berfungsi sebagaimana gas dalam rumah kaca. Dengan semakin meningkatnya konsentrasi gas-gas ini di atmosfer, semakin banyak panas yang terperangkap dibawahnya. Efek rumah kaca sangat dibutuhkan oleh segala makhluk hidup yang ada di bumi, karena tanpanya planet ini akan menjadi sangat dingin. Dengan temperatur rata-rata sebesar 15°C (59°F), bumi sebenarnya telah lebih panas 33°C (59°F) dari temperaturnya semula, jika tidak ada efek rumah kaca suhu bumi hanya -18°C sehingga es akan menutupi seluruh permukaan bumi. Akan tetapi sebaliknya, apabila gas-gas tersebut telah berlebihan di atmosfer, akan mengakibatkan pemanasan global.

Gas yang dikategorikan sebagai gas rumah kaca (GRK) adalah gas-gas yang berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap efek rumah kaca yang akan menyebabkan perubahan iklim. Dalam konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim (*United Nation Framework Convention On Climate Change-UNFCCC*), ada enam jenis yang digolongkan sebagai GRK yaitu karbon dioksida (CO_2), gas metan (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O), sulfur heksa fluorida (SF_6), perfluoro karbon (PFC_s) dan hidrofluoro karbon (HFC_s). Selain itu ada beberapa gas yang juga termasuk dalam GRK yaitu karbon monoksida (CO), nitrogen

oksida (NO_x), clorofluorocarbon (CFC), dan gas-gas organik non metal volatil lainnya. (DEPTAN, 2007)

Di Indonesia kontribusi terbesar GRK berasal dari karbon dioksida, metan dan dinitrogen oksida. Bagian terbesar emisi ini dihasilkan oleh sektor kehutanan (khususnya karena deforestasi) dan energi. Emisi GRK Indonesia, khususnya sektor pertanian pada tahun 1994 berdasarkan laporan Kementerian Lingkungan Hidup adalah emisi CH_4 sebesar 3,2 kT, emisi N_2O sebesar 52,86 kT. Gas dinitrogen monoksida yang dihasilkan dari industri pupuk memiliki kontribusi relatif terhadap efek rumah kaca sebesar 5%. Hal ini menunjukkan bahwa gas N_2O memiliki peringkat ke-5 penyumbang efek rumah kaca hanya dari produksi industri pupuk saja, seperti ditunjukkan pada tabel berikut (DEPTAN, 2007).

Tabel 2.1. Gas Rumah Kaca, Sumber dan Kontribusinya

Senyawa	Sumber	Kontribusi Relatif terhadap Efek Gas Rumah Kaca (dalam persen)	
		Hanks (1996)	Porteous (1992)
CO_2	Pembakaran bahan bakar fosil, penebangan hutan	60	50
CH_4	sapi, dekomposisi sampah (landfill), lahan persawahan	15	20
N_2O	industri pupuk	5	5 (mencakup uap air)
CFC	AC, refrigerator, busa aerosol	12	15
O_3	Konversi polutan otomobil oleh sinar matahari	8	10

Sumber: (DEPTAN, 2007).

2.3. Dinitrogen Monoksida

Dinitrogen monoksida adalah senyawa kimia dengan rumus kimia N_2O yang juga merupakan gas rumah kaca yang terdapat secara alami. Dinitrogen monoksida pada suhu kamar, sifatnya tidak berwarna, mudah terbakar, sedikit berbau manis. Dulunya gas ini digunakan sebagai anastasi ringan, yang dapat membuat orang tertawa sehingga juga dikenal sebagai gas tertawa. Tidak banyak

diketahui secara terinci tentang asal dinitrogen monoksida dalam atmosfer. Diduga bahwa sumber utamanya, yang mungkin mencakup sampai 90 persen, merupakan kegiatan mikroorganisme dalam tanah. Pemakaian pupuk nitrogen meningkatkan jumlah gas ini di atmosfer. Dinitrogen monoksida juga dihasilkan dalam jumlah kecil oleh pembakaran bahan bakar fosil (minyak bumi, batu bara, gas bumi).

Oksida Nitrous (dinitrogen monoksida, N_2O) diidentifikasi sebagai gas penyerap aktif pada radiasi di troposfer dan memberikan kontribusi pada pemanasan global di permukaan bumi. Satu molekul N_2O sama dengan 270 kali lebih efektif berpengaruh dalam proses pemanasan atmosfer dibandingkan molekul CO_2 . Selain itu, peningkatan N_2O troposfer merupakan sumber terbesar dari pemanasan lapisan stratosfer yang memberikan pengaruh pada kerusakan ozon sampai 70%. Oleh karenanya pengendalian emisi N_2O menjadi suatu yang penting dalam pengendalian lingkungan. Menurut Yokoyama *et al.*, diketahui bahwa N_2O memberikan kontribusi 10% dari emisi efek rumah kaca. (A Sudrajad, dkk., 2004)

2.4. Biofilter

Sebagai akibat dari semakin berkembangnya perhatian dunia terhadap pencemaran udara, maka berbagai negara di dunia menerapkan peraturan-peraturan yang ketat untuk melindungi lingkungan dari kerusakan. Keadaan tersebut mendorong berbagai upaya untuk mereduksi pencemar yang ada di dalam limbah gas dengan teknologi-teknologi yang berkembang. Ada banyak pilihan teknologi yang bisa digunakan, salah satunya adalah teknologi biologi atau teknologi biofilter. Teknologi ini mudah diterapkan dan juga relatif tidak ada limbah samping karena seluruh pencemar (polutan) diubah atau didegradasi menjadi senyawa yang tidak mencemari lagi. Di samping itu bila dibandingkan dengan teknologi lainnya, maka biofilter adalah teknologi yang relatif murah. (Devanny *et.al.*, 1999)

Teknologi biofilter ini terutama didasarkan pada proses biologi, walaupun terjadi pula proses kimia dan fisika, seperti kelembaban, keasaman (pH), tekanan

dan temperatur media yang sangat berpengaruh terhadap perkembangan mikroorganisme dan juga berpengaruh terhadap optimalisasi proses.

Pada dasarnya biofilter berisi media dari material organik baik campuran atau media terpisah seperti kompos, *peat*, *sawdust* dan lain-lain yang berfungsi sebagai pembawa mikroorganisme dan sumber nutrient, sehingga jika terjadi kontak antara polutan (substrat) dengan media ini maka mikroorganisme yang aktif akan mendegradasinya menjadi senyawa yang lebih sederhana. 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.

Kinerja sistem biofilter dapat dinilai berdasarkan beberapa hal berikut:

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 bioavailibilitas 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. (Wahyuni, 2004).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penerapan teknologi biofilter ini:

2.4.1. Media Filter

Menurut Clark dan Wnorowski bahwa hampir seluruh material organik yang struktur dan komposisinya sesuai bisa digunakan. Sedangkan menurut

Bohan perlu dipertimbangkan karakteristik fisika, kimia dan biologinya untuk mendapatkan media filter yang baik. (Kennes, Christian, 1998)

Beberapa karakteristik fisika penting yang perlu diperhatikan:

- Luas permukaan harus mencukupi supaya pertumbuhan atau perkembangbiakan mikroorganisme bisa optimum
- *Bulk density* yang rendah akan memudahkan dalam pengoperasian dan murah
- *Voidfraction* (ruang kosong) yang tinggi untuk mengurangi *pressure drop* dan problem penyumbatan (*clogging*). Keseimbangan ruang kosong perlu sekali dipertimbangkan bagi perkembangan mikrobiologi.
- Diameter (besar butiran) media sangat penting untuk dipertimbangkan. Umumnya butiran media yang semakin kecil akan menyebabkan penurunan *pressure drop* yang semakin besar.

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. (Hirai et. al., 2001). 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.

2.4.2. Kelembaban (*Moisture*)

Kelembaban adalah salah satu kunci untuk perkembangan mikroorganisme bisa optimal. Ada batasan seberapa besar kelembaban yang baik untuk perkembangbiakan mikroorganisme. Kelembaban optimal bervariasi terhadap

medium filter yang berbeda, tergantung pada area permukaan medium dan porositasnya. Kelembaban dalam media filter sebaiknya berkisar antara 40 - 60 %.

Pengaturan kelembaban bisa dilakukan dengan menggunakan cara humidifikasi gas masuk (*incoming gas*). Cara ini lebih mahal karena harus membuat unit peralatan sendiri tetapi hasil yang didapatkan lebih baik. Cara lain dapat dilakukan dengan menyemprotkan air ke dalam filter bed. Cara ini lebih murah tetapi beberapa kendala kadang dijumpai seperti pengaturan debit yang agak sulit sehingga kadang tidak bisa merata ke seluruh filter dan juga bila kebanyakan akan dapat menyebabkan kebasahan (*over wet*) sehingga menyebabkan kondisi anaerob dan menaikkan *pressure drop*.

Kandungan kelembaban yang kurang dapat mengakibatkan kekeringan dan menimbulkan celah pada medium filter, serta dapat menyebabkan terjadinya *channeling*. Selain itu, kelembaban yang kurang juga dapat menyebabkan berkurangnya kadar air bagi mikroorganisme dan mengakibatkan penurunan laju biodegradasi polutan. Sebaliknya, terlalu banyak air atau kelembaban yang tinggi akan menghalangi transfer oksigen dan polutan hidrofobik ke dalam biofilm, munculnya zona anaerobik dalam medium filter sehingga menghambat laju reaksi, terhambatnya proses difusi dan akan menaikkan *pressure drop* (Ottengraf 1986; Van Lith *et al.*, 1997)

2.4.3. Suhu (Temperatur)

Suhu operasi ini biasanya dipengaruhi oleh peristiwa kimia, fisika dan biologi. Untuk keberhasilan operasi, temperatur sistem dijaga tetap konstan. 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. Meskipun kadang-kadang terjadi pula temperatur psychophilik (temperatur rendah) dan thermophilik (suhu tinggi). Proses reaksi eksotermis juga akan mempengaruhi suhu karena akan menghasilkan panas. Di samping itu juga dipengaruhi oleh kondisi cuaca (suhu lingkungan) dan suhu dari gas masuk. Seiring meningkatnya temperatur, metabolisme dan laju pertumbuhan sel juga meningkat, akan tetapi kemampuan biosorpsi menurun (McNevin & Barford, 2000).

2.4.4. Derajat Keasaman (pH)

Tidak semua bahan-bahan untuk filter bersifat netral. Ada juga yang bersifat buffer yang sangat diperlukan untuk mendapatkan kondisi yang optimum terutama untuk mengolah gas yang mengandung klorin, sulfida dan ammonia. Pada berbagai penelitian menunjukkan tanah mempunyai sifat buffer yang lebih baik dibandingkan dengan kompos yang mempunyai kemampuan buffer 5 kali dibandingkan dengan serpihan kayu/kulit kayu.

Derajat keasaman (pH) optimum biasanya berkisar antara 6,5 – 7,5 sedangkan pada pH > 8,5 dan pH < 5 kecepatan pertumbuhan mikroorganisme akan menjadi turun, sehingga efisiensi kurang optimal (Ottengraf *et al.*, 1986).

2.4.5. Penurunan Tekanan (*Pressure Drop*)

Pressure drop tergantung pada kondisi, jenis filter dan juga kandungan moisture. Bahan filter yang berasal dari tanah mempunyai pressure drop yang paling tinggi, kemudian menyusul kompos, peat dan serpihan/kulit kayu. 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%.

2.4.6. Kandungan Oksigen

Oksigen juga merupakan salah satu parameter operasi yang vital bagi biofiltrasi karena banyak mikroorganisme yang digunakan dalam biofiltrasi bersifat aerobik. Konsentrasi oksigen terlarut memberikan pengaruh pada laju pertumbuhan bakteri aerobik. Kehadiran oksigen terlarut dalam jumlah yang cukup sangat diperlukan untuk proses oksidasi dan sintesa sel. Bakteri heterotrofik aerobik dalam medium biofilter membutuhkan paling sedikit 5-15% oksigen pada aliran gas masukan. Oksigen juga sangat diperlukan oleh bakteri nitrifikasi untuk oksidasi nitrogen organik dan ammonia. Nitrifikasi akan berjalan dengan baik jika oksigen terlarut lebih besar dari 1 mg/L. Secara umum kadar oksigen terlarut untuk proses aerobik harus dijaga minimum 2 mg O₂/L (Dharmvaram, 1991).

2.5. Kompos

Kompos adalah hasil penguraian parsial/tidak lengkap dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat secara artifisial oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab, dan aerobik atau anaerobik. Pengomposan dapat didefinisikan sebagai suatu proses biokimia dimana bahan organik didekomposisi menjadi zat-zat seperti humus (kompos) oleh kelompok mikroorganisme yang berbeda pada kondisi yang dikontrol (Gaur, 1983 dan EPA, 1989). Biokonversi terhadap bahan organik pada saat pengomposan dilakukan oleh kelompok mikroorganisme heterofilik berbeda yang meliputi bakteri, kapang, protozoa, dan *actinomycetes*. Mikroorganisme selulolitik dan lignolitik juga sangat berperan dalam mendekomposisi komponen dari bahan organik yang terdegradasi secara lambat (Gaur, 1983).

Tabel 2.2. Organisme yang Aktif dalam Proses Pengomposan

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

Sumber: Sutanto (2002)

Sedangkan bahan baku pengomposan adalah semua material organik yang mengandung karbon dan nitrogen, seperti kotoran hewan, sampah hijau, sampah kota, lumpur cair dan limbah industri pertanian. Berikut disajikan bahan-bahan yang umum dijadikan bahan baku pengomposan.

Tabel 2.3 Bahan-Bahan yang Umum Dijadikan Bahan Baku Kompos

Asal	Bahan
1. Pertanian	
Limbah dan residu tanaman	Jerami dan sekam padi, gulma, batang dan tongkol jagung, semua bagian vegetatif tanaman, batang pisang dan sabut kelapa
Limbah & residu ternak	Kotoran padat, limbah ternak cair, limbah pakan ternak, cairan biogas
Tanaman air	Azola, ganggang biru, enceng gondok, gulma air
2. Industri	
Limbah padat	Serbuk gergaji kayu, blotong, kertas, ampas tebu, limbah kelapa sawit, limbah pengalengan makanan dan pemotongan hewan
Limbah cair	Alkohol, limbah pengolahan kertas, limbah pengolahan minyak kelapa sawit
3. Limbah rumah tangga	
Sampah	Tinja, urin, sampah rumah tangga dan sampah kota

Sumber : Wilyan Djaya *et al.*, 2008

Adapun alasan penggunaan pupuk kandang sebagai bahan organik dalam kompos adalah karena jumlah ternak di Indonesia cukup banyak dan volum kotoran ternak juga cukup besar. Selain itu, pupuk kandang secara kualitatif relative lebih kaya hara dan mikrobial dibandingkan limbah pertanian. Adapun yang dimaksud pupuk kandang adalah kotoran hewan/ternak dan urin. Secara umum dapat disebutkan bahwa setiap ton pupuk kandang mengandung 5 kg N, 3 kg P₂O₅, dan 5 kg K₂O serta unsur-unsur hara esensial lain dalam jumlah yang relatif kecil (Knuti, Korpi dan Hide, 1970).

Berdasarkan hasil uji komposisi unsure pada tabel di bawah ini, dapat diketahui bahwa seluruh komposisi unsur yang terdapat pada kompos berbasis kotoran kambing lebih tinggi apabila dibandingkan dengan kompos berbasis kotoran sapi. Demikian pula halnya dengan rasio C/N yang dihasilkan oleh kedua jenis kompos tersebut. Aspek paling penting dari hasil uji komposisi unsur untuk biofiltrasi adalah rasio C/N. Rasio C:N yang terlalu kecil menghambat pertumbuhan bakteri karena keterbatasan nitrogen sedangkan jika terlalu besar

menyebabkan proses pengasaman yang menghambat pertumbuhan bakteri (Praswasti PDK Wulan *et. al.*, 2004). Organisme mendekomposisi bahan organik menggunakan karbon sebagai sebuah sumber energi dan nitrogen untuk membangun struktur sel. Organisme memerlukan lebih banyak karbon dibandingkan nitrogen. Jika karbon terlalu banyak, dekomposisi melambat ketika nitrogen yang tersedia habis dan beberapa organisme akan mati (<http://whatcom.wsu.edu/ag/compost/fundamentals>).

Tabel 2.4 Perbandingan Komposisi Elemen Utama pada Medium Filter Kompos

Parameter	Kandungan (%w/w)		Metode
	Kompos Kotoran Kambing	Kompos Kotoran Sapi	
Nitrogen (N)	1.73	1.19	SNI 02-2803-2000
P ₂ O ₅	2.57	1.7	957.02* 958.01*
K ₂ O	1.56	0.59	965.09*
Sulfur (S)	0.34	0.18	973.57*
Organic Carbon (C)	30.17	15.39	Kurmies
Rasio C/N	17.44	12.93	

Sumber : Laboratorium Sucofindo, 2009

Sifat-sifat pupuk kandang dari tiap-tiap jenis hewan yang dipelihara menghasilkan

pupuk kandang dengan sifat yang berbeda-beda seperti diuraikan berikut:

- Kotoran ayam mengandung unsur N tiga kali lebih besar dari pada pupuk kandang yang lain.
- Kotoran kambing mengandung unsur N dan K masing-masing dua kali lebih besar dari pada kotoran sapi.
- Kotoran babi mengandung unsur P dua kali lebih banyak dari kotoran sapi.
- Pupuk kandang dari kuda atau kambing mengalami fermentasi dan menjadi panas lebih cepat dari pada pupuk kandang sapi dan babi.
- Petani biasanya menyebut pupuk kandang sapi sebagai pupuk dingin (*Cold manures*).
- Dalam semua pupuk kandang unsur P selalu terdapat dalam kotoran padat, sedang sebagian besar unsur K dan N terdapat dalam kotoran cair (urine).

- Kandungan unsur K dalam urin adalah lima kali lebih banyak daripada dalam kotoran padat, sedang kandungan unsur N adalah dua kali lebih banyak.
- Kandungan unsur hara dalam kotoran ayam adalah yang paling tinggi, karena bagian cair (urin) tercampur dengan bagian padat. (Hardjowigeno, 1987)

2.6. Pelet

Pelet adalah suatu medium filter berbentuk silinder yang berfungsi untuk meningkatkan kekompakan partikel-partikel pembentuknya. Karakteristik material yang dapat dibuat pelet yaitu:

- Memiliki ukuran partikel yang seragam.
- Material memiliki kandungan *moisture* tertentu.
- Partikel dapat mengisi cetakan.
- Dapat menggumpal pada saat dipadatkan.

2.6.1. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembuatan Pelet

Proses pembuatan pelet pada prinsipnya sama dengan proses pembuatan pil/tablet 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 lubricant, kemudian ditekan.

Jadi faktor-faktor yang mempengaruhi pembuatan pelet adalah:

a. Binder

Binder berfungsi untuk merekatkan bahan sehingga kekuatan pelet meningkat. Binder menyebabkan berkurangnya luas permukaan material yang dipeletkan. Bila jumlah binder dalam campuran terlalu sedikit akan menyebabkan pelet yang terbentuk mudah pecah. Sebaliknya jika jumlah binder dalam campuran terlalu banyak, maka pori-pori material pelet yang tertutup akan lebih banyak.

b. Lubricant

Lubricant berfungsi untuk membantu pemindahan gaya-gaya tekanan dan mengurangi tertinggalnya material pada permukaan cetakan. Terdiri atas internal lubricant yang digunakan dengan mencampurkannya bersama dengan material yang akan dibuat pelet dan eksternal lubricant yang digunakan dengan cara mengoleskan pada permukaan cetakan. Internal lubricant biasanya dapat memperlemah sifat-sifat ikatan. Jika terlalu sedikit lubricant yang digunakan maka pelet akan sulit dikeluarkan dari dalam cetakan, sehingga besar kemungkinan pelet akan retak atau pecah. Penggunaan lubricant yang berlebihan juga akan merugikan karena tertutupnya pori-pori material yang hendak dipeletkan.

c. Tekanan

Peristiwa pembuatan pelet terjadi bila sejumlah tekanan diaplikasikan pada suatu sistem tertentu dalam ruangan yang terbatas. Keberhasilan dari proses ini sebagian tergantung pada keefektifan penggunaan dan aplikasi tekanan eksternal. Sebagian lagi oleh karena sifat fisik dari material. Jika tekanan yang diberikan terlalu kecil atau besar, maka pelet akan pecah.

Keuntungan pelet sebagai adsorben yaitu:

- Menjadi tidak mudah pecah
- Mengurangi pembentukan debu
- Memiliki hambatan yang kecil terhadap aliran gas
- Lebih kuat ketika basah

2.6.2. Pembuatan Pelet

Pembuatan pelet terdiri dari proses pencetakan, pendinginan dan pengeringan. Proses penting dalam pembuatan pelet adalah:

a. Pencampuran (*mixing*)

Proses mixing dilakukan dengan mencampurkan seluruh bahan pembuat pelet yaitu kompos untuk dibentuk dalam suatu adonan agar dapat dibentuk pelet dengan alat pencetak yang ada.

b. Pengaliran uap (*conditioning*)

Proses *conditioning* adalah proses menambahkan kemudian memanaskan bahan pengikat untuk proses gelatinisasi agar terjadi perekatan antar partikel bahan penyusun sehingga penampakan pelet menjadi kompak, durasinya mantap, tekstur dan kekerasannya bagus. Selama proses *conditioning* terjadi penurunan kandungan bahan kering sampai 20% akibat peningkatan kadar air bahan dan menguapnya sebagian bahan organik. Proses *conditioning* akan optimal bila kadar air bahan berkisar 15 –18%. Kadar air yang lebih dari 20% akan menurunkan kekentalan larutan gel hasil gelatinisasi. Gelatinasi merupakan sumber perekat alami pada proses “peleting”.

c. Pencetakan (*extruding*)

Pencetakan merupakan tahap pemadatan bentuk melalui alat cetakan. Pencetakan pelet dilakukan dengan memberikan tekanan. Alat yang digunakan adalah *pelletizer* atau *extruder*.

d. Pengeringan

Pengeringan dilakukan untuk menghindarkan pelet itu dari serangan jamur selama penyimpanan. Proses pengeringan bisa dilakukan dengan penjemuran di dalam ruangan. Gelatinisasi pati sangat penting dan krusial dalam pembuatan pelet karena mempengaruhi kekuatan dan kekompakan pada pelet yang dihasilkan. Jumlah pati yang tergelatinisasi bergantung kepada tipe pati, ukuran partikel, dan kondisi pengolahan.

Proses pembuatan pelet meningkatkan kekuatan crushing (kerapuhan), tetapi mengakibatkan pori-pori pada permukaan lebih kecil dibandingkan pada bagian dalam, menurunkan volume pori dan ukuran pori rata-rata, sehingga menyebabkan pembatasan difusi. Hal tersebut tidak diinginkan dalam proses adsorpsi karena akan menurunkan kapasitas adsorpsi.

2.6.3. Sifat – Sifat Pelet

Sifat-sifat pelet dapat mempengaruhi lancar atau tidaknya suatu operasi. Oleh karena itu penting untuk mengetahui sifat-sifat dari pelet.

1. Efek ukuran dan bentuk pelet terhadap aktifitas dan *pressure drop*

Semakin besar ukuran pelet maka aktifitasnya akan dibatasi oleh difusi di dalam partikel. Dengan ukuran partikel yang lebih besar, hambatan difusi dapat menurunkan laju reaksi di tengah partikel dan oleh karena itu menurunkan aktifitas pelet per unit masa. Partikel pelet yang lebih besar sering dibuat dalam bentuk cincin tebal dan diberi beberapa lubang atau dibentuk seperti roda pedati.

Bentuk-bentuk tersebut dapat meningkatkan rasio luas permukaan/volume sehingga dapat membantu mengurangi hambatan difusi. Ukuran dan bentuk pelet juga mempengaruhi *pressure drop*. Pada umumnya pelet berbentuk kurus panjang dan gemuk pendek lebih baik dibandingkan bentuk yang hampir persegi dalam hal *pressure drop*.

2. Kekuatan mekanik pelet

Daya tahan terhadap *crushing*, pemecahan pada saat penyimpanan, distribusi dan pengisian adsorber merupakan karakteristik pelet yang penting. Pelet yang berada di bagian bawah unggun tetap dalam suatu operasi harus mampu menahan, bukan hanya beban dari pelet yang ada di atasnya tetapi juga gaya dari *pressure drop*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu pengujian kekuatan mekanik untuk mengetahui kekuatan pelet.

Kekuatan pelet sangat penting untuk mencapai waktu operasi yang lama dan biasanya terdapat hubungan yang kuat antara kekuatan dan densitas pelet. Kekuatan pelet juga dipengaruhi oleh ukurannya. Pelet yang lebih besar biasanya lebih mampu menahan mal-operasi dari pada pelet yang lebih kecil. Untuk komposisi pelet tertentu, kekuatan mekanik maksimum diberikan oleh pelet yang cukup rapat dengan porositas rendah, tetapi hal ini dapat menurunkan difusifitas efektif.

2.7. Pati sebagai Bahan Pengikat

Pati merupakan butiran atau granula yang berwarna putih mengkilat, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa. Granula pati mempunyai bentuk dan ukuran yang beraneka ragam, tetapi pada umumnya berbentuk elips atau bola (Bambang Haryanto, 1992).

Tabel. 2.5 Komposisi Bahan Pati Sagu, terigu, beras dan Tapioka setiap 100 gr

Komponen	Tepung Beras	Tepung Terigu	Tepung Sagu	Tepung Tapioka
Kalori (kal)	360	365	353	358
Protein (gr)	6.8	8.9	0.7	0.5
Lemak (gr)	0.7	1.3	0.2	0.1
Karbohidrat (gr)	78.9	77.3	84.7	88.69
Kalsium (mg)	6	16	11	20
Fosfor (mg)	140	106	13	7
Zat Besi (mg)	0.8	1.2	1.5	0.7
Air (gr)	13	12	14	62.5

Sumber : Direktorat Gizi, Depkes RI (1981)

Pada dasarnya pati merupakan polimer glukosa dengan ikatan 1,4 glukosa. Berbagai macam pati tidak sama sifatnya, tergantung dari panjang rantai C-nya. Pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Fraksi yang dapat larut dalam air panas disebut amilosa dan fraksi yang tidak larut disebut amilopektin.

Tabel 2.6 Sifat Pati Sagu dan Beberapa Pati Lainnya

Jenis Pati	Bentuk Granula	Ukuran Granula (mikron)	Kandungan Amilosa/Amilopektin	Range Suhu Gelatinisasi (°C)
Sagu	elips agak terpotong	20 – 60	27/73	60 - 72
Beras	poligonal	3 – 8	17/83	61 - 78
Jagung	poligonal	5 – 25	26/74	62 - 74
Kentang	bundar	15 – 100	24/76	56 - 69
Tapioka	oval	5 – 35	17/83	52 - 64
Gandum	elips	2 – 35	25/75	52 - 64
Ubi Jalar	poligonal	16 – 25	18/82	58 - 74

Sumber: Knight (1969)

Perbandingan jumlah amilosa dan amilopektin berbeda-beda dalam setiap jenis pati, seperti yang ditunjukkan pada tabel di atas. Rasio amilosa dan amilopektin akan mempengaruhi sifat-sifat pati itu sendiri. Apabila kadar amilosa tinggi maka pati akan bersifat kering, kurang lekat dan cenderung meresap air

lebih banyak (higroskopis). Sifat pati tidak larut dalam air, tetapi bila suspensi pati dipanaskan akan terjadi gelatinasi setelah mencapai suhu tertentu (suhu gelatinasi).

Hal ini disebabkan oleh pemanasan energi kinetik molekul-molekul air yang menjadi lebih kuat dari pada daya tarik-menarik antara molekul pati dalam granula, sehingga air dapat masuk ke dalam pati tersebut dan pati akan membengkak (mengembang). Granula pati dapat membengkak luar biasa dan pecah sehingga tidak dapat kembali pada kondisi semula. Perubahan sifat inilah yang disebut gelatinisasi. Suhu pada saat butir pecah disebut suhu gelatinisasi. Suhu gelatinisasi tergantung pada konsentrasi suspensi pati, semakin tinggi konsentrasi larutan (suspensi) pati, suhu gelatinisasi makin lambat tercapai. Selain itu suhu gelatinisasi tiap jenis pati berbeda-beda, antara 52°C sampai 78°C. Apabila suhu dinaikkan melebihi dari suhu gelatinasinya maka viskositas pasta atau gel akan berkurang.

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 pati khususnya amilopektin yang cukup tinggi, seperti terigu, tapioka, maizena, sagu dan sebagainya.

2.8. State of The Art

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengkaji proses biofiltrasi dengan menggunakan berbagai jenis medium filter dan bertujuan untuk mereduksi gas-gas polutan yang berbeda-beda. Adanya berbagai penelitian ini dapat menunjukkan penggunaan medium filter yang paling sesuai untuk mencapai efisiensi optimum dalam reduksi gas polutan tertentu. Berikut ini merupakan ringkasan dari beberapa hasil penelitian biofilter yang pernah dilakukan sebelumnya.

2.8.1. Biofiltrasi NH_3 , H_2S dan Toluena dengan Media Kompos dan Batuan Wol

Penelitian dilakukan oleh Melvin Galera *et.al* (2007) yang bertujuan untuk menghilangkan bau yang disebabkan oleh NH_3 , H_2S dan toluene. Pada penelitian ini media biofilter yang digunakan adalah campuran antara batuan wol dan kompos yang berasal dari sampah makanan dengan perbandingan rasio berat 70:30 antara batuan wol dan kompos. Campuran tersebut dicampur dengan arang aktif sebanyak 2.5 % berat untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dan dibasahi dengan air agar dapat tercampur merata. Kemudian campuran tersebut dibentuk pelet berbentuk bola dengan diameter 0,8-1 cm lalu dikeringkan di dalam oven dengan suhu 60°C selama 4 jam.

Pada penelitian ini digunakan tiga kolom biofilter untuk NH_3 , H_2S dan Toluena yang masing-masing disebut dengan BF1, BF2 dan BF3. Setiap kolom memiliki diameter dan panjang 10 dan 30 cm. Percobaan biofiltrasi ini dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas penghilangan bau senyawa organik yang bersifat volatile pada aliran udara dengan media filter berupa campuran kompos dan batuan wol.

- Hasil dari penelitian diketahui bahwa media ini memiliki efisiensi penghilangan yang baik terhadap HN_3 , H_2S dan toluene. Tinggi efisiensi penghapusan mencapai 95- 100 % dimana konsentrasi inlet untuk NH_3 , H_2S dan toluene masing-masing meningkat sampai 155, 150 dan 260 ppm.

Media campuran kompos dan batuan wol ini tidak menyebabkan peningkatan pressure drop atau pematatan pada kolom yang signifikan.

- Selama penelitian pada media ini pressure drop $2\text{O}/\text{m bed}$. Terjadi penurunan efisiensi penghapusan (RE) ketika kandungan air menurun sebanyak 30 % khususnya pada biofiltrasi H_2S dan toluene. Kapasitas eliminasi yang tertinggi yang diperoleh adalah sebesar $6.4\text{ g-NH}_3/\text{m}^3\cdot\text{h}$, $12.1\text{ g-H}_2\text{S}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ dan $57.6\text{ g-toluen}/\text{m}^3\cdot\text{h}$

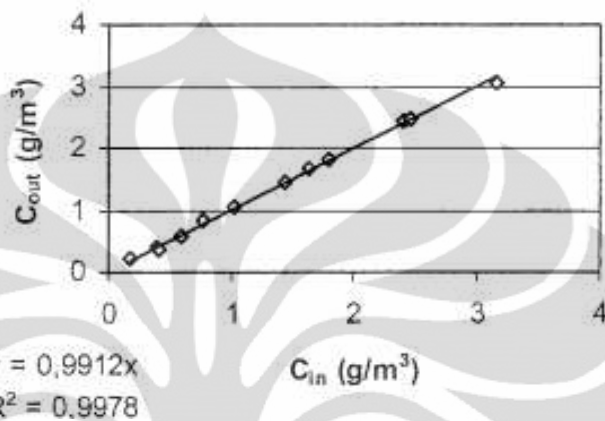
2.8.2. Biofiltrasi Menggunakan Medium Filter dengan Tambahan Nutrisi

Penelitian lain dilakukan dengan medium filter sintetik perlite (O.J. Prado *et. al.*, 2002). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem biofilter dalam mereduksi toluena dengan mengkombinasikan pengaruh suplai nutrisi dan pengaruh temperatur. Medium filter ini diinokulasikan dengan bakteri *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, dan *Tricosporon beigellii*. Larutan nutrisi yang ditambahkan mengandung (g/l) KH_2PO_4 , 4.5; K_2HPO_2 , 0.5; NH_4Cl , 2.0; and $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.1 yang ditambahkan secara periodik. Laju alir diukur dengan menggunakan *thermal mass flow controller* (MKS Industries, Type 1259, Control channel type 247) dan konsentrasi dari isopentana akan diambil dengan menggunakan *syringe pump* (Harvard Apparatus, model 11). Gas toluena diukur dengan *HP-6890 gas chromatograph* (GC) (Agilent Technologies, Spain). Adapun hasil yang diperoleh :

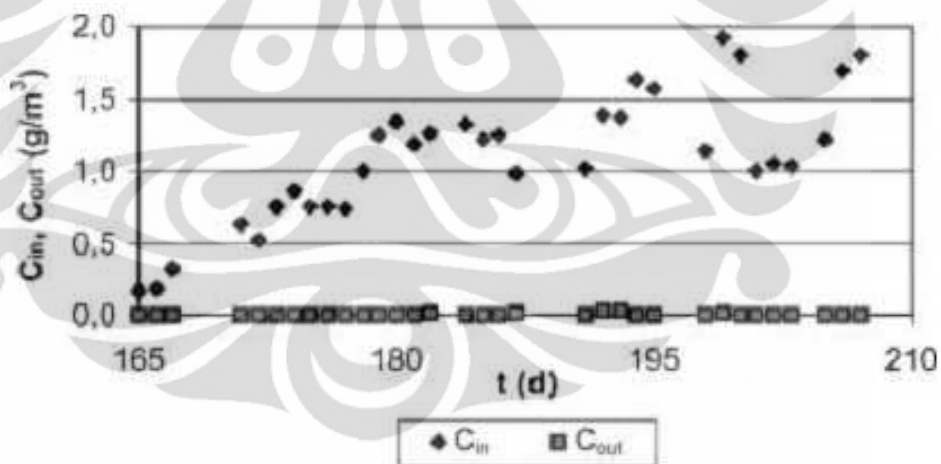
- Penambahan nutrisi akan meningkatkan kinerja biofilter dengan cara menyediakan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroba yang mampu mendegradasi polutan.
- Dalam biofilter, sintesis mikoba (biomassa) dengan mineralisasi polutan *biodegradable* untuk pertumbuhan biomassa dan akumulasi dari waktu ke waktu, yang mana hal ini berhubungan dengan peningkatan terhadap resistensi aliran gas pada *bed*.
- Reduksi polutan (*contaminant removal*) merupakan proses yang *multi-step* di mana dalam proses ini terjadi penyekatan (*partitioning*) ke fasa cair/

liquid, transport ke sel bakteri pada biofilm, yang diikuti dengan transpor melalui membran sel untuk terjadinya metabolisme.

- RE (*removal efficiency*) pada biofilter terutama terkontrol oleh laju transfer massa substrat di biofilm dan pada *boundary layer* fasa gas, di mana dipengaruhi oleh waktu retensi dalam biofilter.



Gambar 2.2 Konsentrasi Outlet Vs Inlet Sebelum Inokulasi



Gambar 2.3 Pengaruh Suplai Nutrien Terhadap Performansi Biofilter

2.8.3. Biofilter Bau dengan Medium Campuran Serpihan Kayu dan Kompos

Penelitian biofilter dilakukan oleh R.E. Nicolai, K.A. Janni (2001) dalam 18 biofilter skala pilot untuk mengatasi bau dari saluran udara pada fasilitas peternakan babi. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan rasio campuran antara kompos dan serihan kayu, dengan variasi rasio antara kompos dan serpihan kayu sebesar 0:100 sampai 50:50 dengan inkremen sebesar 10%. Dan dilakukan

analisa terhadap pengaruh kelembaban media, dengan variasi kelembaban terdiri dari kelembaban rendah (10-35% wb), sedang (35-55% wb) dan tinggi (55-65% wb).

Pengurangan kadar bau meningkat pada semua media campuran sesuai dengan meningkatnya kelembaban media. Pengurangan kadar bau untuk tingkat kelembaban media rendah, sedang dan tinggi masing-masing adalah sebesar 42.3%, 69.1% dan 78.8%. Pengurangan kadar bau meningkat sesuai dengan bertambahnya persen kompos dalam campuran sebesar 20% untuk media dengan tingkat kelembaban sedang dan tinggi.

Pada biofilter dengan tingkat kelembaban media yang rendah tingkat penghilangan hidrogen sulfida juga rendah. Rata-rata penghilangan hidrogen sulfida untuk tingkat kelembaban media rendah, sedang dan tinggi yaitu sebesar 3%, 72% dan 87%. Pada biofiltrasi hidrogen sulfida media campuran dengan konsentrasi kompos di atas 20% dan tingkat kelembaban tinggi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, yaitu masing-masing sebesar 91%, 90%, 95% dan 91%. Pengurangan kadar ammonia meningkat dengan meningkatnya rasio campuran kompos dan serpihan kayu. Dari hasil penelitian direkomendasikan campuran dengan komposisi kompos sebesar 30% wb. Rata-rata pengurangan ammonia pada tingkat kelembaban rendah, sedang dan tinggi masing-masing sebesar 6%, 49% dan 81%.

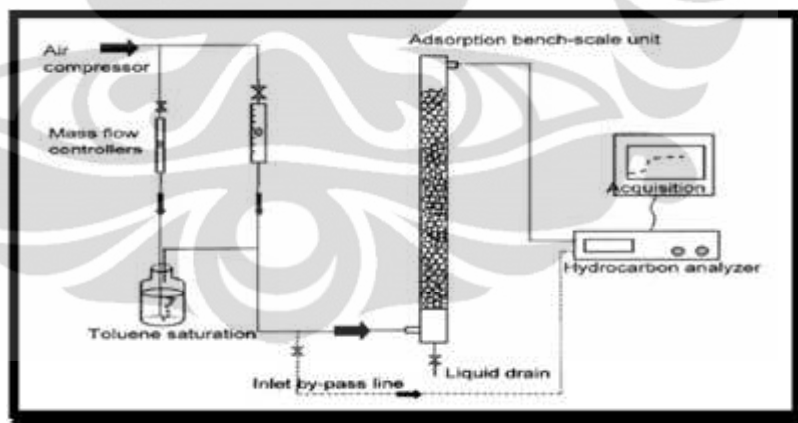
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pressure drop meningkat dengan meningkatnya persen kompos dalam campuran media. Diperkirakan karena partikel kompos yang kecil cenderung akan mengurangi porositas dan meningkatkan pressure drop. Pada media dengan rasio kompos rendah, kandungan air media berpengaruh pada pressure drop. Tetapi ketika rasio kompos mendekati rasio serpihan kayu, contohnya pada rasio 50% kompos, kelembaban tidak begitu berpengaruh pada pressure drop. Untuk biofilter dengan biaya rendah, pressure drop haruslah dijaga agar tetap minimum.

Jumlah bakteri heterotropik atau bakteri pengoksidasi sulfur tidak dipengaruhi oleh campuran media ataupun kelembabannya. Meningkatnya jumlah kompos dalam campuran media, maka pressure drop juga akan meningkat. Berdasarkan penelitian ini, rasio pencampuran untuk kompos dan serpihan kayu

sebagai biofilter bau di peternakan babi yang baik minimum sebesar 30% kompos dan 70% serpihan kayu.

2.8.4. Biofiltrasi dengan Medium Pelet Alami

Suatu penelitian untuk mereduksi konsentrasi toluena dilakukan oleh Marie-Caroline Delhomenie, Louise Bibeau, dan Michele Heitz (2002). Medium filter yang digunakan adalah pelet kompos. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari diameter pelet yang digunakan dalam proses biofiltrasi dengan diameter pelet yang digunakan adalah 5, 10, dan 20 mm. Laju alir yang digunakan adalah $1\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$, konsentrasi masukan toluena adalah $2\text{--}3\text{ g of NI}^{-1}$. Laju alir dikontrol dengan menggunakan MFC (*Mass Flow Controllers*) (Brooks, Series 5800) dan penghubung dari sistem komponen berbahan teflon. Medium filter yang digunakan berupa kompos dengan adanya bahan pengikat, dengan rasio kompos (90% v/v) dan bahan pengikat (10% v/v). Untuk mendapatkan performansi biofilter yang terbaik dapat dilihat dari nilai EC (*Elimination Capacity*) dan PCO_2 (*Production CO}_2*).



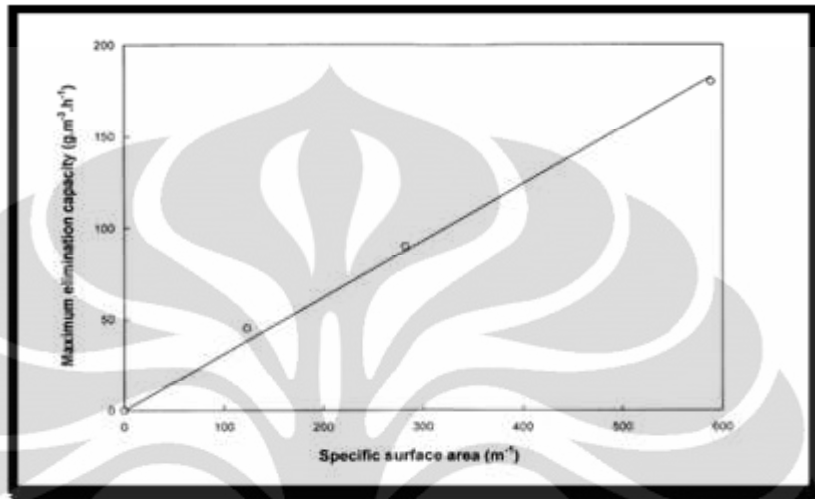
Gambar 2.4 Skema Sistem Biofilter yang Digunakan

Adapun hasil yang diperoleh :

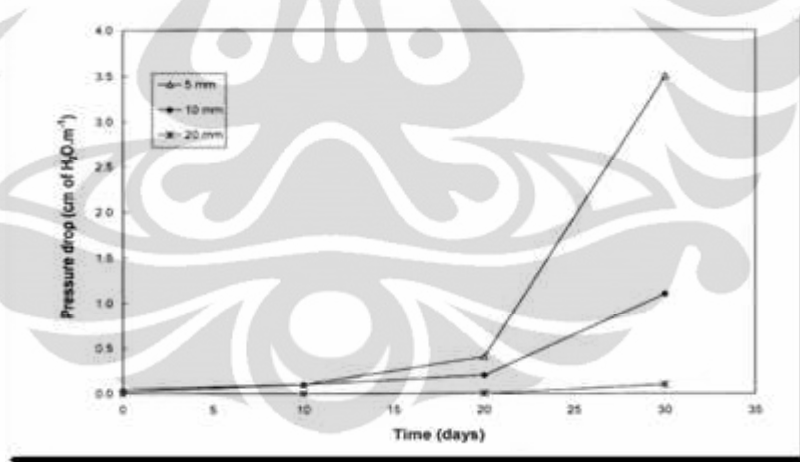
- Performansi meningkat seiring dengan penurunan diameter partikel pelet yang digunakan. Cara yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari

karakteristik granumetrik adalah dengan menggunakan persamaan luas permukaan spesifik (a_s).

$$a_s = \frac{\text{Particle surface}}{\text{Particel volume}} = \frac{6(1 - \varepsilon)}{d_p}$$



Gambar 2.5 Pengaruh luas Permukaan Spesifik Terhadap Ec



Gambar 2.6 Pengaruh Diameter Partikel Pelet Terhadap *Pressure Drop*

Dari gambar-gambar di atas maka dapat disimpulkan bahwa dengan diameter pelet yang kecil dapat meningkatkan luas permukaan area spesifik, akan tetapi dapat meningkatkan *pressure drop*. Selain itu juga laju degradasi kontaminan oleh mikroba amat tergantung pada luas permukaan spesifik. Performansi biofilter yang terbaik didapatkan pada diameter pelet yang kecil (5mm). Akan tetapi dengan semakin kecil diameter pelet yang digunakan, maka

pressure drop yang dihasilkan juga semakin besar. Untuk itulah disarankan adanya penambahan *polystyrene spheres* dalam kolom biofilter (Ottengraf, Meesters, Van den Oever, dan Rezema, 1986).

Penambahan luas permukaan area spesifik dan peningkatan nilai EC seiring dengan penurunan diameter pelet yang digunakan.

Tabel 2.7 Hasil eksperimen

No.	Diameter Pelet	Luas Permukaan Spesifik	EC
1	5 mm	590 m ⁻¹	180 gm ⁻³ h ⁻¹
2	10 mm	280 m ⁻¹	90 gm ⁻³ h ⁻¹
3	20 mm	120 m ⁻¹	45 gm ⁻³ h ⁻¹

2.8.5. Biofiltrasi Udara dalam Ruang dengan Media Kompos

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa polusi udara dalam ruangan sangat berdampak buruk bagi kesehatan. Penelitian yang dilakukan oleh Michel Ondarts, Cecile Hort, Vincent Platel, Sabine Sochard (2010) bertujuan untuk mengevaluasi kinerja biofilter dalam menangani polusi udara dalam ruangan. Pada penelitian ini digunakan kompos sebagai medium filter, dimana kompos merupakan medium alami yang memiliki berbagai macam mikroorganisme di dalamnya dan juga sifat fisik yang baik seperti kandungan air dan pH serta sudah terdapat banyak nutrisi. 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.

Tabel.2.8 Karakteristik, Sifat dan Konsentrasi Biofilter

Senyawa	C (µ.g.m ⁻³)	P _{sat} (kPa)	H (adim)	Bio
Butanol	112	0.89	3.6 x 10 ⁻⁴	+++
Butil asetat	93	1.53	1.15 x 10 ⁻²	+++
Formaldehid	71	5180	1.38 x 10 ⁻⁵	+
Limonen	45	0.19	15.5	-
Nitrogen dioksida	140	1200	1.02	-
Toluena	92	3.79	2.71 x 10 ⁻¹	++
TCE	81	9.21	4.03 x 10 ⁻¹	--
Undecane	32	0.054	78.9	-

Tabel.2.9 Kondisi Operasi Biofilter

Parameter Operasi	Kondisi
EBRT	23 s
	13 s
laju Alir	0.6 m ³ .h ⁻¹
Humuditas relatif efluent	80% ± 2%

Pengujian terhadap kinerja biofilter dilakukan selama 75 hari dalam kondisi steady state. Selama 75 hari pengamatan, kecuali untuk trikloroetilen (TCE), efisiensi rata-rata lebih besar dari 90%, misalnya konsentrasi butil asetat berada di bawah ambang batas yang diijinkan yaitu sebesar (0.7 dan 0.2 µg.m/3) pada akhir proses dengan efisiensi yang dicapai lebih besar dari 98.7% dan 99.7%.

Tabel.2.10 Efisiensi Penghilangan Minimum, Maximum dan Rata-Rata Biofiltrasi

Senyawa	Minimum (%)	Maximum (%)	Average (%)
Butanol	55.5	99.5	98
Butil asetat	98.7	99.7	99.7
Formaldehid	77.8	99.5	95.5
Limonen	70.7	99.7	99.3
Nitrogen dioksida	86.3	99.6	93.8
Toluena	13.9	99.7	97.9
TCE	-	33	-
Undecane	98.1	99.7	99.6

Hanya TCE yang tidak dapat dihilangkan dengan metode biofilter. Efisiensi biofiltrasi yang tercapai pada tepat waktu hanya mencapai 20 sampai 30%. Dari hasil pengamatan dimana efisiensi biofiltrasi 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 sulit dihilangkan dan biofiltrasi 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 biofiltrasi polutan dengan konsentrasi tinggi fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh penyumbatan pada kolom biofilter.

2.8.6. Biofiltrasi Uap Diklorometana dengan Medium Kompos

Penelitian yang dilakukan oleh R. Ravi, Ligy Philip dan T. Swaminathan (2009) ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja biofilter dalam menghilangkan uap diklorometan yang merupakan senyawa penyebab polusi udara dan dapat mengganggu kesehatan. Biofiltrasi ini menggunakan medium filter berupa kompos yang diinokulasikan dengan campuran beberapa populasi mikroorganisme untuk menghilangkan uap diklorometan pada aliran gas sintetik. Penelitian ini dioperasikan secara terus-menerus dalam periode 14 bulan dengan laju alir yang berbeda-beda (0.024 sampai 0.06 m³/hr) dengan waktu tinggal dari 2.4 sampai 1 menit diperoleh konsentrasi diklorometan sekitar 0.15 sampai 1.1 g/m³.

Pada biofilm terlihat pembentukan dan perubahan mekanisme penghilangan dari proses adsorpsi sampai biodegradasi. Selama operasi, RE (removal efficiency) yang dicapai cukup tinggi yaitu sebesar 60-80% untuk tingkat beban inlet DCM (dichloromethane) sampai dengan 30 g/m³.h tetapi pada tingkat beban yang lebih tinggi akan menurun secara drastis sampai 25%. Kapasitas eliminasi meningkat secara linier dengan nilai maksimum sebesar 20.1 g/m³.h pada beban inlet 30 g/m³.h. Kapasitas eliminasi ini akan tetap konstan hingga beban inlet 40 g/m³.h tetapi menurun pada beban yang lebih tinggi. Pressure drop maksimum pada sistem biofilter ini sebesar 3.5 cm H₂O.

Uap lembab diklorometan pada laju alir dan konsentrasi konstan, yang melewati bed biofilter dengan arah aliran ke atas dikontrol melalui katup/valve. Pada awalnya bed biofilter diinokulasi dengan campuran kultur mikroorganisme. Percobaan ini dilakukan dengan memvariasikan laju alir uap diklorometan dan udara lembab yang bebas untuk mendapatkan konsentrasi awal yang dan waktu tinggal berbeda pada biofilter. Konsentrasi gas DCM diukur dengan Kromatografi Gas tipe 5765.

Tabel.2.11 Tahap-Tahap Operasi Biofiltras

Tahap Operasi Biofilter	EBRT (menit)	Konsentrasi Inlet DCM (C_i , g/m ³)	Lama Operasi (hari)
Tahap adaptasi	2.4	0.15 - 0.32	0 - 134
Tahap I	1.6	0.40 - 0.50	134 - 185
Tahap II	1.6	0.60 - 0.70	185 - 251
Tahap III	1.6	0.75 - 0.80	251 - 292
Tahap IV	1.8	0.90 - 1.00	292 - 328
Tahap V	1.4	0.25 - 0.30	328 - 354
Tahap VI	1	0.35 - 0.40	354 - 380
Tahap VII	1.2	0.97 - 1.00	380 - 395
Tahap VIII	1.6	1.00 - 1.11	395 - 414

Pada operasi tahap I, konsentrasi DCM yang mengalami biofiltrasi relatif lebih tinggi dari pada tahap adaptasi (acclimasi), meskipun waktu tinggal yang dibutuhkan 1.6 menit tetapi dibutuhkan waktu untuk adaptasi kembali selama 51 hari untuk mencapai RE lebih dari 81% pada keadaan steady state. Pada tahap II, ketika konsentrasi DCM meningkat hingga 0.7 g/m³, RE turun menjadi sekitar 64%. Selama tahap II, RE pada kondisi steady state tetap stabil antara 70 sampai 80%. Peningkatan konsentrasi DCM pada tahap III, IV dan penurunan tingkat aliran gas dalam tahap IV mengakibatkan penurunan RE. RE biofilter sebagian besar dipengaruhi oleh laju perpindahan massa substrat di dalam biofilm dan pada lapisan batas fase gas, dimana perubahannya diakibatkan oleh waktu tinggal di biofilter tersebut.

Pada laju alir rendah, waktu tinggalnya sudah memadai, penurunan RE pada konsentrasi DCM yang tinggi dapat disebabkan oleh inhibisi substrat di dalam biofilm. Akumulasi racun dan asam tingkat menengah pada media biofilter dan gangguan metabolisme mikroba mungkin juga merupakan penyebab rendahnya RE pada konsentrasi tinggi.

2.8.7. Biofiltrasi H₂S dengan Medium Filter Berupa Pelet Karbon Aktif

Penelitian yang dilakukan oleh Huiqi Duan, Lawrence C, Rong Yan dan Xiaoge Chen (2006) bertujuan mengevaluasi kelayakan menggunakan karbon aktif sebagai medium filter untuk meningkatkan kinerja proses biofiltrasi H₂S melalui kesetimbangan optimum dan kombinasi kapasitas adsorpsi dengan biodegradasi

H₂S oleh imobilisasi bakteri pada media tersebut. Biofilm ini kebanyakan dikembangkan melalui budidaya bakteri yang terdapat pada media pelet karbon. Scanning electron microscopy (SEM) digunakan untuk mengidentifikasi perkembangan biofilm pada permukaan karbon.

Penelitian ini menggunakan dua biofilter skala laboratorium yang identik, satu dioperasikan dengan karbon aktif biologis (BAC) dan yang lain dengan karbon murni tanpa imobilisasi bakteri. Variasi konsentrasi H₂S (sampai dengan 125 ppmv) digunakan untuk menentukan kinerja optimal kolom. Pada laju volumetrik 1600 m³/m³.h (konsentrasi inlet H₂S 87 ppmv), dengan kapasitas eliminasi BAC sebesar 181 g-H₂S/m³.h diperoleh RE sebesar 94%. Jika konsentrasi inlet dijaga tetap di bawah 30 ppmv, penghilangan H₂S yang tinggi (di atas 99%) dicapai dengan waktu tinggal gas (GRT) selama 2 detik, angka ini lebih pendek dari pada proses biofiltrasi yang sebelumnya.

Populasi bakteri dalam biofilter asam menunjukkan kapasitas penghapusan H₂S pada kisaran pH yang luas yaitu pH 1-7. Eksperimen ini menunjukkan BAC bekas dapat kembali digunakan sebagai medium filter pada biofilter berbasis BAC. Secara keseluruhan, hasil eksperimen ini menunjukkan bahwa kinerja biofilter yang belum pernah terjadi sebelumnya dapat dicapai dengan menggunakan BAC sebagai media pendukung untuk biofiltrasi H₂S.

Tabel.2.12 Karakteristik Kolom Biofilter

Kondisi	Kolom	
	A	B
Bakteri imobilisasi	Ya	tidak
Berat karbon basah, W ₁ (g)	183.4	181.6
Berat karbon kering, W ₂ (g)	105.6	106.9
Kandungan air, $m = (W_1 - W_2) / W_1$ (%)	42.4	41.1
Kapasitas adsorpsi H ₂ S (Basis berat kering), (%)	20.08 ^a	0.44 ^b
Diameter kolom (cm)	3.6	3.6
Luas area permukaan karbon, m ² /g	807	807
Diameter pelet karbon (mm)	4	4
Tinggi media dalam kolom, L (cm)	20	20
Volume packing, V (L)	0.2	0.2
Bulk Densitas, $d = W_1 / V$ (kg/m ³)	917	908
Densitas karbon aktif, (kg/m ³)	490	490

Tabel.2.13. Kondisi Operasi Kedua Kolom

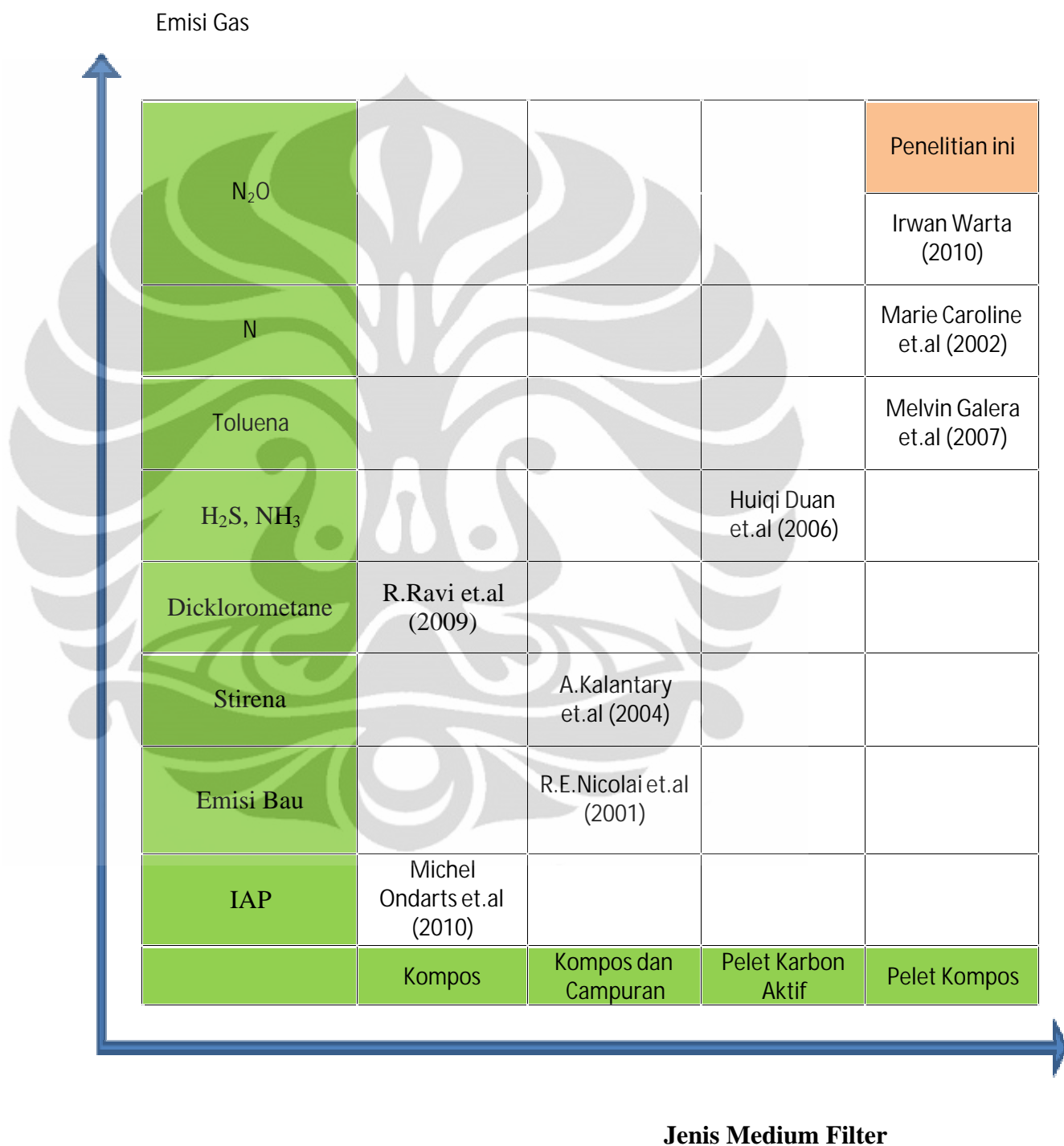
Parameter Operasi	Range
Waktu tinggal gas (GRT), (s)	2 - 21
Konsentrasi inlet HS, C (ppmv)	5 - 100
Laju alir gas, Q_g (L/min)	0.57 - 4
Superficial foul gas velocity, v (cm/s)	0.95 - 10
pH kolom	1.0 - 2.0

2.8.8. Pengaruh Ketinggian Filter dan Penambahan Nutrisi pada Biofiltrasi N_2O dengan Medium Kompos

Penelitian biofiltrasi dengan medium pelet kompos ini dilakukan oleh Irwan Warta (2010). penelitian ini dilaksanakan untuk mengevaluasi pengaruh ukuran pelet kompos dan penambahan kandungan nutrisi terhadap efisiensi reduksi N_2O dan pertumbuhan mikroorganisme pada medium filter. Selain itu juga diteliti perubahan sifat medium filter yang terjadi sebelum dan setelah biofiltrasi serta karakteristik medium filter. Penelitian dilakukan pada laju alir konstan sebesar 88 cc/menit dengan sistem aliran *batch* selama 12 jam. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi reduksi N_2O terbaik sebesar 62,25% didapatkan pada ukuran pelet kompos 5x5 mm dengan penambahan kandungan nutrisi 40% serta pelet kompos sebelum biofiltrasi mengandung lebih sedikit mikroorganisme dibandingkan pelet kompos setelah biofiltrasi. Estimasi parameter dengan persamaan adsorpsi Langmuir menunjukkan bahwa kapasitas biosorpsi maksimum pada pelet ukuran 5x5 mm dengan penambahan kandungan nutrisi 40% mencapai 1,996 g/kg. Parameter yang diestimasi menggunakan persamaan Michaelis Menten menunjukkan bahwa *maximum removal rate* (V_m) dan K_s (konstanta saturasi) pada pelet 5x5 mm dengan kandungan nutrisi 40% berturut-turut mencapai 1.215,89 gm-3h-1 dan 8,51126 g m-3. Nilai ini lebih tinggi dari pelet ukuran 5x8 mm di mana V_m -nya mencapai 688,29 g m-3 h-1 dengan K_s yang lebih rendah yaitu 4,1298 g m-3.

2.1. Ringkasan State of The Art

Penelitian biofilter telah banyak dilakukan di berbagai negara. Berikut ini adalah gambar peta perjalanan biofilter yang telah dilakukan selama ini.



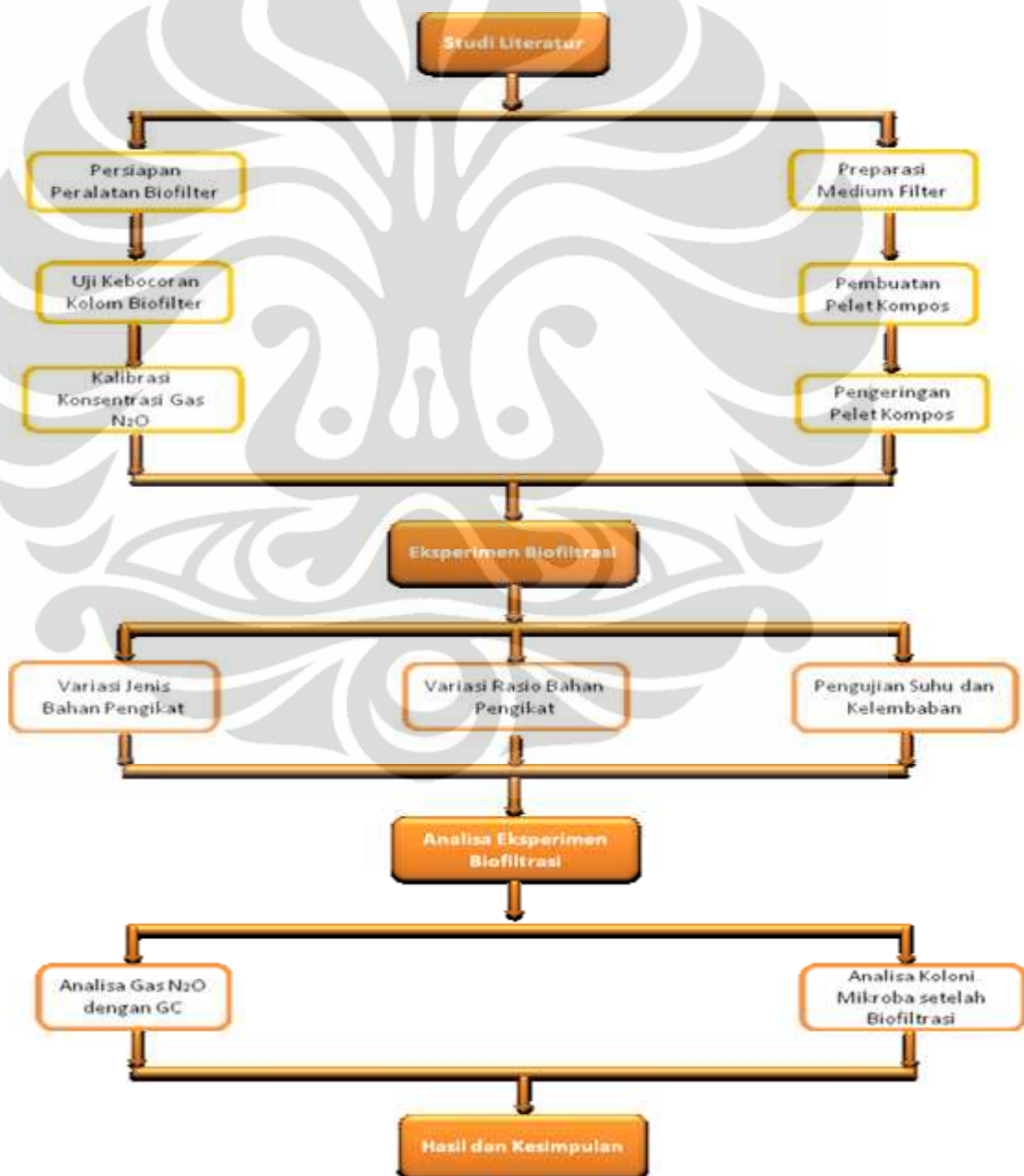
Gambar. 2.7 Mapping State of The Art Biofilter

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Bioproses Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, Depok. Diagram alir penelitian biofiltrasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian Biofiltrasi Secara Umum

Tahap awal penelitian yaitu studi literatur yang dilakukan dengan mempelajari jurnal publikasi nasional maupun internasional mengenai biofiltrasi. Peralatan biofilter yang digunakan merupakan alat skala laboratorium yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya.

Langkah selanjutnya adalah preparasi kompos. Preparasi diawali dengan pembuatan kompos dengan sumber bahan organik berasal dari kotoran kambing dan *bulking agent* berupa *cocopeat* dan sekam yang akan digunakan sebagai medium filter. Kompos yang sudah jadi selanjutnya dikeringkan pada suhu ruang yaitu 26 °C dengan humiditas ruang 81% dan dilakukan pengayakan untuk mendapatkan partikel kompos yang seragam. Setelah proses preparasi kompos, dilakukan proses pembuatan pelet kompos dengan menggunakan alat pencetak pelet.

Sebelum memulai eksperimen, dilakukan uji kebocoran pada alat biofilter yang berguna untuk memastikan bahwa konsentrasi gas N₂O berkurang karena proses adsorpsi dan degradasi, bukan karena kebocoran. Dilakukan juga kalibrasi terhadap gas N₂O untuk mengetahui luas peak N₂O pada volum sampel standar.

Percobaan biofiltrasi dilakukan untuk mereduksi gas N₂O menggunakan biofilter. Evaluasi kinerja biofilter dengan medium filter pelet kompos berbasis kotoran kambing dilakukan dengan mengkaji pengaruh jenis bahan pengikat dan pengaruh rasio bahan pengikat yang digunakan pada proses pembuatan pelet kompos terhadap performansi biofilter dalam mereduksi gas N₂O.

Gas keluaran kolom biofilter dianalisa konsentrasinya dengan *gas chromatography* (GC) untuk mengetahui efisiensi penghilangan gas N₂O. Kompos sebelum dan sesudah biofiltrasi diteliti perkembangan populasi mikroorganismenya dengan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). Setelah itu dilakukan analisa hasil melalui pembahasan untuk mencapai suatu kesimpulan.

3.2. Alat dan Bahan

Pada penelitian biofiltrasi N₂O menggunakan medium filter kompos pelet berbasis kotoran kambing, digunakan sejumlah alat dan bahan sebagai berikut.

3.2.1. Alat

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

Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat	Fungsi
1	Beaker glass	Wadah pembuatan larutan gelatin, larutan agar dan pengujian pH sampel
2	Tampah	Tempat mengeringkan dan menjemur kompos
3	Ember	Wadah untuk kompos yang telah diayak (sebelum dimasukkan ke dalam kolom biofilter)
4	Ayakan	Alat untuk mengayak kompos supaya memiliki ukuran partikel yang seragam
5	Gelas ukur	Alat untuk mengambil larutan dalam jumlah tertentu
6	Erlenmeyer	Wadah pencampuran nutrient agar dan air
7	Spatula kaca/pengaduk	Mengaduk nutrien agar dan aquadest
8	Kaca Arloji	Tempat untuk menimbang nutrien agar
9	<i>Bubble soap</i>	Kalibrasi laju alir
10	pH meter dan pH indikator	Alat untuk mengukur pH sampel
11	<i>Gas Chromatograph</i> (GC)	Menganalisa konsentrasi N ₂ O dalam sampel
12	<i>Syringe</i>	Mengambil gas sampel untuk analisa GC
13	Cawan Petri	Tempat pembiakan bakteri dalam nutrient agar
14	Tabung Reaksi	Tempat pengenceran larutan
15	Timbangan	Mengukur berat bahan dan sampel
16	Autoklaf	Tempat sterilisasi sampel
17	Bunsen	Memanaskan peralatan yang akan digunakan agar tetap steril
18	<i>Transfer box</i>	Tempat melakukan metode TPC
19	Inkubator	Tempat menginkubasi bakteri
20	<i>Hot Plate stirrer</i>	Memanaskan dan menghomogenkan medium agar untuk TPC
21	<i>Micropipet</i>	Mengambil sejumlah volume larutan yang kecil (1000 µl)
22	Oven	Mensterilisasi alat-alat yang akan digunakan pada metode TPC
23	Peletizer	Alat untuk pencetak kompos menjadi berbentuk pelet

3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gas sampel berupa campuran N_2O dalam udara, kompos sebagai bahan pengisi biofilter, nutrisi agar, *aquadest*, tepung sagu, tepung terigu dan tepung beras.

Perincian bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Kompos** sebagai medium filter 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 pembiakan bakteri yang akan digunakan untuk perhitungan jumlah koloni bakteri dalam sampel.
4. ***Aquadest*** sebagai pelarut kompos dalam pengukuran pH, sebagai pelarut nutrisi agar, pelarut tepung sagu, terigu dan beras dalam pembuatan gelatin.
5. **Tepung sagu, tepung terigu dan tepung beras** digunakan sebagai bahan pengikat dalam pembuatan.
6. **Larutan nutrisi** sebagai pemberi nutrisi tambahan untuk bakteri di dalam kompos. Adapun nutrisi yang akan ditambahkan berupa:
 - **Nutrisi Sintetik**, yang terdiri dari komponen K_2HPO_4 (0.4 gr), KH_2PO_4 (0.15 gr), NH_4Cl (0.3 gr), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (0.4 gr), dan CH_3COONa (2.93 gr), yang dilarutkan dalam 1 L *aquadest*.
 - **Larutan *trace element***, yang terdiri dari komponen Titriplex (50 gr), $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (2.2 gr), $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (5.5 gr), $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ (5.06 gr), $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (5.0 gr), $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ (1.1 gr), $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (1.57 gr), dan $CoCl_2 \cdot H_2O$ (1.61 gr), yang dilarutkan dalam 1 L *aquadest*.

Adapun larutan nutrisi ini telah pernah digunakan oleh Yang et.al. (2007) untuk mengembangkan bakteri penitrifikasi aerobik.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Preparasi Medium Filter

Medium filter yang digunakan untuk biofiltrasi ini adalah kompos yang berbasis kotoran kambing. Kompos yang digunakan berasal dari “Green Lab” Sekolah Alam Indonesia, Ciganjur. 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 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 bioaktivator untuk mempercepat pengomposan

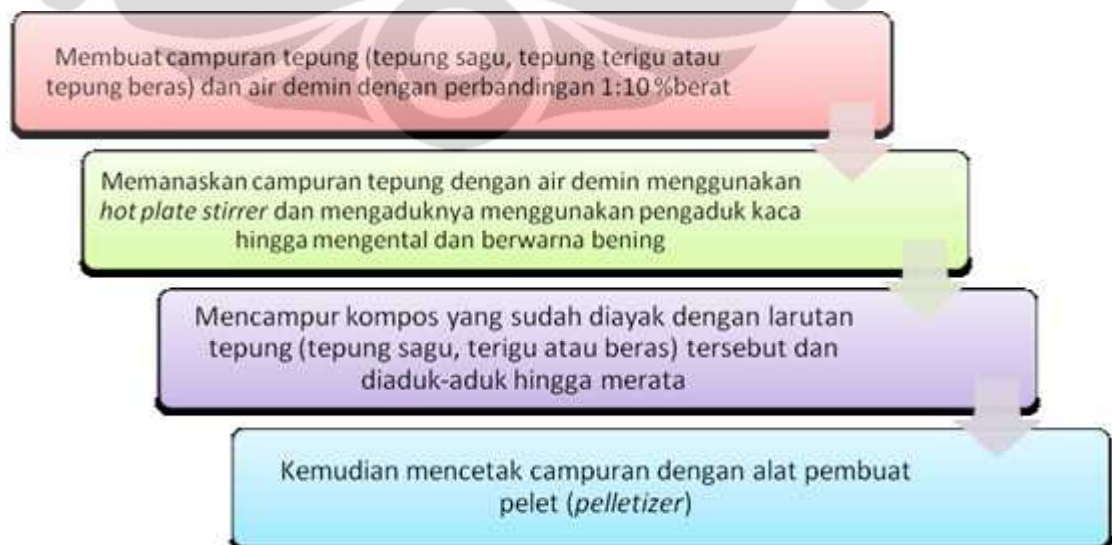
Tahap awal penelitian adalah pembuatan kompos yang akan digunakan sebagai medium filter pada proses biofilter. Adapun perincian prosedur pembuatan kompos sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan-bahan yang digunakan, seperti: pupuk kandang, sekam, *cocopeat*, gula pasir, kapur dan dedak.
2. Membuat campuran kompos dari bahan-bahan di atas dengan komposisi 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 diaduk dengan larutan EM4 (*Effective Microorganism*) 120 ml, dengan penambahan 10 liter air limbah. Penggunaan EM4 sebagai bioaktivator untuk mempercepat proses pengomposan.
4. Setelah dicampur, kompos disekap di dalam terpal selama 10 hari dengan dilakukan pengadukan setiap 3 hari.

Persiapan kompos yang sudah jadi untuk medium filter dilakukan dengan pengeringan dan pengayakan, dimana ayakan yang digunakan memiliki diameter 100 mash (sekitar 2 mm). Tujuannya adalah untuk menghasilkan partikel medium filter yang homogen dan mempermudah proses pembuatan pelet. Diagram alir sederhana proses preparasi kompos sebelum digunakan untuk pembuatan pelet adalah sebagai berikut:



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



Kompos yang telah berbentuk pelet dengan ukuran 5x5 mm kemudian dikeringkan dengan meletakkan pelet kompos di dalam tampah dan menjemur kompos pada suhu dan kelembaban ruang selama lebih kurang 2 hari. Pengeringan bertujuan untuk mendapatkan medium filter kompos dengan kelembaban yang optimal bagi proses biofiltrasi. Setelah proses preparasi medium selesai dilakukan, maka kompos dapat langsung digunakan atau disimpan di dalam wadah berupa ember pada suhu dan kelembaban ruang.

3.3.2. Uji Sifat Kompos Sebelum dan Sesudah Biofiltrasi

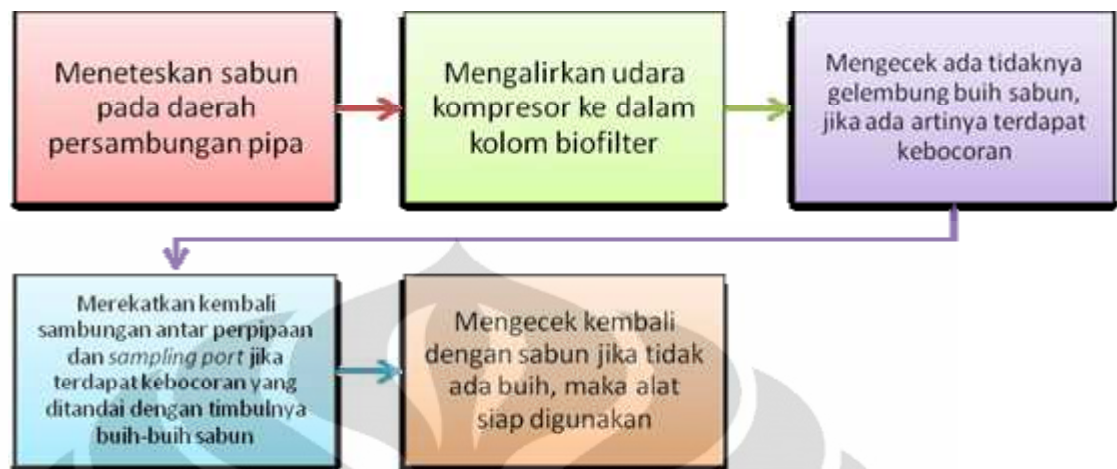
Pelet kompos sebelum dan sesudah digunakan sebagai medium filter diambil sampelnya dan dilakukan pengujian untuk mengetahui pH medium filter. Prosedur yang dilakukan pada pengujian pH pelet kompos adalah sebagai berikut.

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.

3.3.3. Uji Kebocoran Alat dan Uji Blangko

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_2O berkurang karena proses adsorpsi dan degradasi, bukan karena kebocoran. Uji kebocoran dapat dilakukan dengan menggunakan sabun, dengan prosedur sebagai berikut :



Selain uji kebocoran dengan menggunakan sabun, kebocoran dalam sistem biofilter juga dapat diketahui dengan menggunakan uji blangko. Prosedur uji kebocoran dengan cara uji blangko yaitu sebagai berikut:



Uji blangko dilakukan juga untuk memastikan bahwa terjadinya penurunan luas area N_2O (setelah melewati kolom) hasil analisis GC dikarenakan adanya biofiltrasi 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 biofiltrasi.

3.3.4. Kalibrasi Gas N₂O

Kalibrasi gas N₂O juga dilakukan dengan tujuan mengetahui konsentrasi aktual dan waktu retensi gas N₂O dimana harus diketahui berapa luas area dari gas N₂O. Prosedur pengukuran uji kalibrasi gas yaitu sebagai berikut :

1. Mengalirkan gas N₂O 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 N₂O terhadap luas *peak* N₂O sehingga didapat garis linear.
5. Kalibrasi gas N₂O dilakukan dengan pengambilan data sebanyak dua kali (metode duplikasi) untuk memastikan keakuratan hasil kalibrasi gas N₂O.

3.4. Eksperimen Biofiltrasi

Pengujian kinerja biofilter pada penelitian ini dilakukan dengan sistem aliran *batch* (sekali jalan) terhadap variasi yang akan dilakukan. Variasi yang dilakukan yaitu jenis bahan pengikat dan rasio bahan pengikat dalam pembuatan pelet kompos sebagai medium filter terhadap kinerja biofilter yaitu daya adsorpsi dan degradasi biofilter. Pada tahapan ini, ada dua bagian besar pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian dalam hal kemampuan mereduksi gas N₂O dan dalam hal perkembangan jumlah mikroba sebelum dan setelah biofiltrasi pada kompos.

Pengambilan data pada uji kinerja biofilter dilakukan dengan memperhatikan prinsip duplikasi. Adapun prosedur yang dilakukan pada eksperimen dengan biofiltrasi gas N₂O dalam penelitian ini sebagai berikut :

3.4.1. Variasi Jenis Bahan Pengikat

1. Menyiapkan kompos yang sudah dipreparasi.
2. Memvariasikan bahan pengikat berupa tepung sagu, tepung terigu dan tepung beras dengan cara mencampurkan masing-masing tepung dengan

air demin, kemudian memanaskannya di atas *hot plate stirrer* hingga mengental dan berwarna bening.

3. Mencampur kompos dengan larutan di atas 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 2 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 gr basis massa).
7. Mengalirkan gas sampel dengan kandungan N₂O sebesar 15.000 ppm dalam udara dengan laju alir 88 cc/menit untuk dilakukan biofiltrasi.
8. Mengambil gas sampel yang telah dibiofiltrasi dengan *syringe* untuk dianalisis pada kromatografi gas setiap jam selama 12 jam.
9. Mengambil sampel kompos setelah dilakukan biofiltrasi untuk uji TPC (*Total Plate Count*) dan uji pH.

3.4.2. 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: 10:90; 15:85; 20:80 %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 2 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 gr basis massa).
7. Mengalirkan gas sampel dengan kandungan N_2O sebesar 15.000 ppm dalam udara dengan laju alir 88 cc/menit untuk dilakukan biofiltrasi.
8. Mengambil gas sampel yang telah dibiofiltrasi dengan *syringe* untuk dianalisis pada kromatografi gas setiap jam selama 12 jam.
9. Mengambil sampel kompos setelah dilakukan biofiltrasi untuk uji TPC (*Total Plate Count*) dan uji pH.

3.5. Data Penelitian

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

1. Konsentrasi gas N_2O sesudah dilakukan biofiltrasi.
2. Jumlah koloni mikroorganisme pada medium filter sebelum dan setelah dilakukan biofiltrasi untuk melihat pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme di dalam medium filter menggunakan metode TPC.
3. Data sifat dan karakteristik medium filter sebelum dan sesudah biofiltrasi seperti uji pH menggunakan pH meter dan uji *pressure drop* dalam kolom menggunakan manometer digital.
4. Data suhu dan kelembaban medium filter selama proses biofiltrasi berlangsung.

3.6. Pengukuran dan Analisis

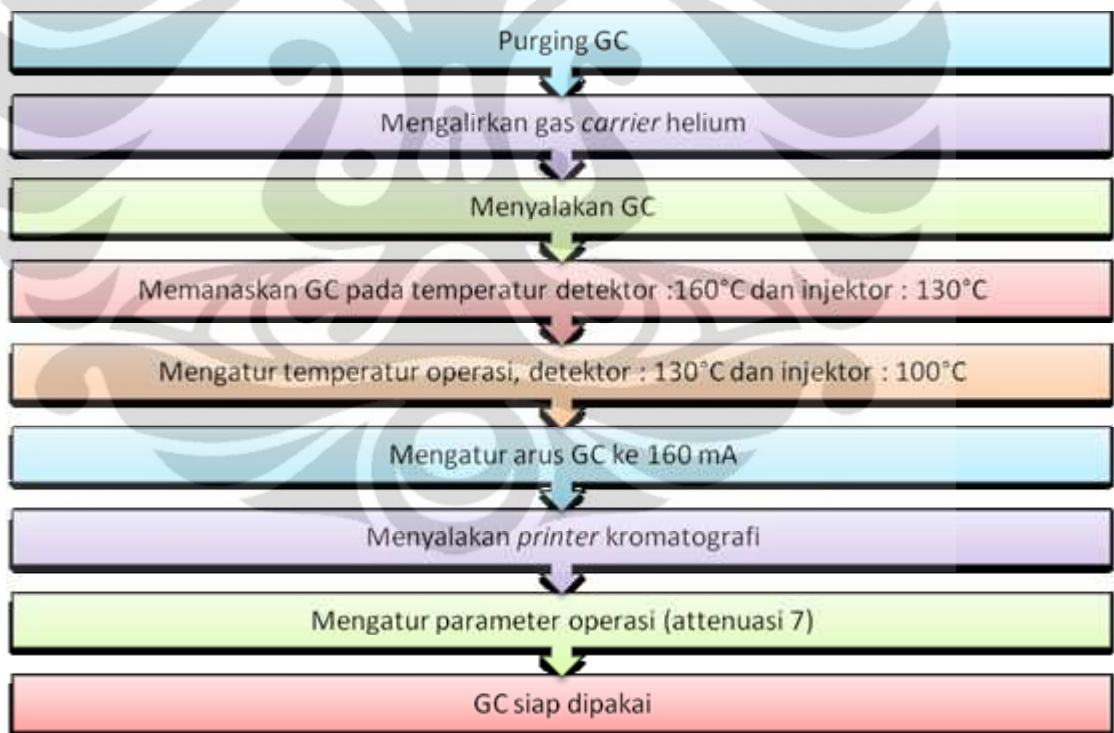
3.6.1. Analisis Gas N_2O

Konsentrasi gas N_2O masukan dan keluaran 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 N₂O yang datanya akan diplot terhadap waktu. Prosedur pengoperasian kromatografi gas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:



3.6.2. Analisis Perkembangan Bakteri

3.6.2.1. Metode TPC (Total Plate Count)

Total Plate Count dilakukan sebelum dan sesudah proses biofiltrasi untuk menguji seberapa besar aktivitas degradasi dengan mengetahui jumlah koloni 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 $1:10^{12}$ agar keakuratan penghitungan jumlah koloni bakteri dapat terjaga. Langkah-langkah pengencerannya adalah sebagai berikut:

1. Menimbang kompos sebanyak 9,7 gram
2. Melarutkan sampel tersebut ke dalam *aquadest* 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 $1:10^4$, $1:10^5$, $1:10^6$, $1:10^7$, $1:10^8$, $1:10^9$, $1:10^{10}$, $1:10^{11}$ dan $1:10^{12}$ (sesuai dengan banyaknya pengenceran yang diharapkan).

Perkembangbiakan mikroorganisme yang akan digunakan dalam perhitungan jumlah koloni bakteri dengan metode TPC menggunakan media *nutrient* agar. Langkah-langkah pembuatan medium agar adalah sebagai berikut:

1. Melarutkan bubuk nutrisi agar sebanyak yang diperlukan (takaran 23 gram untuk *aquadest* sebanyak 1 L, dimana satu cawan petri mampu menampung sedikitnya 15 mL larutan nutrisi 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 ditandai dengan warna cairan menjadi kuning jernih.
3. Mendiamkan larutan tersebut selama 1 menit.
4. Mensterilisasi dengan autoklaf sebelum digunakan dalam TPC selama 15 menit.

Perkembangan jumlah populasi mikroorganisme di dalam medium pelet kompos sebelum dan sesudah proses biofiltrasi dihitung dengan menggunakan metode *Total Plate Count*. Adapun langkah-langkah metode TPC adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan larutan dilusi yang sesuai sebanyak 1 mL, kemudian menambahkan larutan agar sebanyak 15 ml ke dalam cawan dan dibiarkan hingga agar mengering (dilakukan di dalam *transfer box*).
2. Inkubasikan cawan petri tersebut pada suhu 34-35°C selama satu hingga dua hari.
3. Menghitung jumlah koloni yang ada pada cawan petri dengan bantuan mikroskop atau kaca pembesar. Hitung jumlah bakteri per mL dengan rumus sebagai berikut :

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

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. Berikut adalah metode sterilisasi alat-alat yang akan digunakan dalam analisis TPC:



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. Di bawah ini adalah metode sterilisasi bahan-bahan yang akan digunakan.



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. Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi jenis bahan pengikat dan variasi rasio bahan pengikat pada pelet kompos sebagai medium filter. Sedangkan variabel terikat dalam penelitian ini adalah efisiensi reduksi gas N_2O yang diperoleh setelah melalui proses biofiltrasi dan jumlah populasi mikroorganisme yang terdapat dalam medium filter setelah proses biofiltrasi. Selanjutnya, kedua variabel terikat akan diteliti terhadap variabel bebas yang divariasikan, sehingga diperoleh variabel bebas yang tepat untuk menghasilkan efisiensi reduksi gas N_2O optimal.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan mengenai berbagai hasil dan analisa terhadap kinerja biofilter dalam mereduksi N_2O , perubahan suhu dan kelembaban medium selama proses biofiltrasi berlangsung, serta jumlah koloni mikroorganisme sebelum dan sesudah proses biofiltrasi dengan metode *Total Plate Count*. Dalam penelitian ini, pengamatan biofiltrasi dilakukan setiap jam selama 12 jam dengan menggunakan GC (*Gas Chromatography*) jenis TCD. Pembahasan akan dimulai dari tahap persiapan sistem biofilter, tahap preparasi kompos, tahap pembuatan pelet kompos, tahap persiapan eksperimen dan tahap eksperimen biofiltrasi.

4.1. Peralatan Biofiltrasi

Penelitian mengenai proses biofiltrasi gas dinitrogen monoksida (N_2O) di Riset Grup Teknologi Bioproses Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia telah dilakukan sejak tahun 2008. Sistem aliran biofiltrasi yang digunakan dirancang beroperasi secara *batch*. Peralatan biofilter ini telah mengalami beberapa kali modifikasi untuk menghasilkan suatu sistem peralatan yang lebih baik sehingga diperoleh data-data yang lebih akurat. Peralatan biofilter ini terbuat dari *acrylic* dengan dimensi tinggi kolom 120 cm, diameter dalam 7,35 cm, dan tebal bahan 0,325 cm. Adapun sistem biofilter yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tabung gas N_2O 15000 ppm dalam udara sebagai sumber gas polutan yang akan dibiofiltrasi, *flowmeter* sebagai pengatur laju alir gas N_2O , kolom biofilter sebagai tempat terjadinya biofiltrasi, perpipaan yang menghubungkan seluruh sistem biofilter, serta *sampling port* sebagai tempat pengambilan sampel N_2O . Peralatan biofilter ini telah dilengkapi dengan *mass flow* regulator digital yang bertujuan supaya laju alir gas N_2O aktual yang digunakan dapat dipastikan lebih akurat dan stabil. Aliran gas N_2O dalam udara akan dialirkan melalui bagian atas kolom biofilter (*down-flow mode*). *Down-flow mode* dipilih untuk meningkatkan kontrol terhadap kelembaban (Pagans, 2005),

agar medium filter dapat menahan air lebih lama. Sistem peralatan biofilter yang akan digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.1 Sistem Biofilter dan GC

Keterangan:

1. <i>Upper pressure</i> ;	2. <i>Gas Chromatography</i> ;
3. Printer GC;	4. <i>Lower pressure</i> ;
5. <i>Sampling port inlet</i> ;	6. <i>Sampling port outlet</i> ;
7. Kolom biofilter;	8. <i>Thermo-hygrometer</i> ;
9. <i>Mass flow meter digital</i> ;	10. <i>Mass flowmeter</i> ;

Selain *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 mikroorganismenya. Akumulasi pertumbuhan mikroorganismenya selama biofiltrasi dapat menyebabkan semakin kecilnya rongga antar partikel medium filter sehingga gas akan sulit keluar dari sistem biofiltrasi. Hal ini dapat menyebabkan dua fenomena, yaitu *clogging* dan *channeling*. *Clogging* adalah peristiwa dimana gas tidak bisa keluar dari sistem biofiltrasi akibat tertutupnya celah jalur keluar gas di dalam medium filter. Sedangkan *channeling* terjadi akibat terbentuknya jalur-jalur tertentu yang dapat dilewati gas untuk keluar dari sistem biofilter karena pertumbuhan biofilm mikroorganismenya. *Clogging* dapat menyebabkan kegagalan sistem biofiltrasi dalam mereduksi gas polutan dan *channeling* dapat mengakibatkan menurunnya efisiensi reduksi gas polutan oleh medium filter. Oleh karena itu *clogging* dan *channeling* merupakan hal yang harus dihindari pada pengoperasian biofilter jangka panjang.

Pada peralatan biofilter ditambahkan alat *Thermo-Hygrometer* yang merupakan alat untuk mengukur temperatur dan kelembaban. Penambahan alat *Thermo-Hygrometer* ini berfungsi untuk mengetahui perubahan kelembaban dan suhu yang terjadi di dalam kolom biofilter selama proses biofiltrasi. Dimana suhu dan kelembaban merupakan faktor-faktor yang sangat menentukan efisiensi reduksi gas polutan yang dihasilkan proses biofiltrasi.

4.2. Preparasi Medium Kompos

Medium filter yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah medium filter alami berupa kompos. Kompos dipilih sebagai medium filter karena kompos merupakan medium filter yang mudah diperoleh dan memenuhi kriteria sebagai medium filter yang baik menurut Gaudin (2007), seperti memiliki ruang antar partikel yang besar, luas area permukaan yang tinggi, *pressure drop* gas yang rendah, bersifat hidrofilik dan rendah biaya. Selain itu, kompos juga memiliki retensi air yang baik, kaya akan nutrisi alami yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganismenya dan memiliki komunitas mikroorganismenya yang kompleks yang

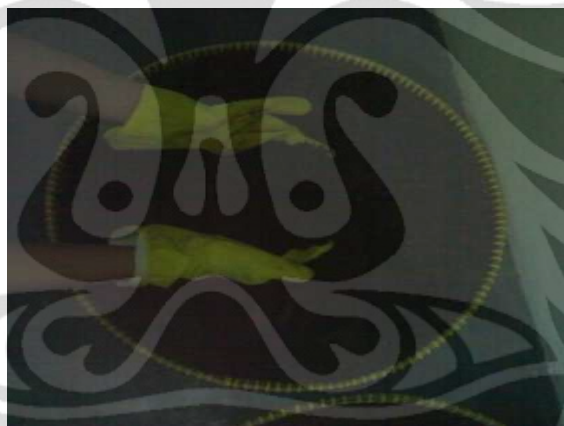
cocok digunakan untuk mereduksi gas N₂O. Medium filter berupa kompos berbasis kotoran kambing yang digunakan dalam penelitian ini dibuat atas kerja sama dengan “Green Lab” Sekolah Alam Indonesia, Ciganjur.

Tahap preparasi medium filter berupa kompos ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu pembuatan kompos dan persiapan kompos sebagai medium filter untuk proses biofiltrasi. Dalam pembuatannya, kompos berbasis kotoran kambing ini ditambahkan dengan *bulking agent* berupa *cocopeat* dan sekam beras untuk membantu penyerapan air dalam medium filter. Kemudian, kompos yang sudah dibuat diberikan perlakuan awal, yaitu pengeringan dan pengayakan kompos untuk menghasilkan partikel yang seragam. Pengeringan kompos dilakukan di dalam ruang dengan temperatur ruang sekitar 26°C dan humiditas ruangan 81%. Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan tampah yang terbuat dari bambu sehingga sirkulasi udara medium yang berada di dalam wadah lebih lancar dibandingkan dengan menggunakan wadah dengan bahan dasar plastik. Hal ini dapat membantu mempercepat pengeringan kompos. Proses pengeringan kompos ini dilakukan selama 10 hari hingga dihasilkan kompos yang agak kering dan dilakukan pengadukan pada hari kelima agar pengeringan terjadi secara merata. Tujuan dilakukannya pengeringan adalah agar kompos dapat diayak, sehingga menghasilkan partikel kompos dengan ukuran yang seragam, yaitu sekitar 2 mm. Ukuran partikel ini disarankan untuk meminimalisir kemungkinan kompaksi medium filter agar tidak terjadi *clogging* atau *channeling* (Yang, 2007). Selain itu, proses pengeringan kompos dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kelembaban yang sesuai untuk pertumbuhan mikroorganisme pendegradasi polutan. Kelembaban yang direkomendasikan untuk medium filter organik berkisar antara 40-60% basis berat (Van Lith *et al.*, 1997).

Tahapan proses preparasi medium filter berupa kompos berbasis kotoran kambing ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Tahapan-tahapannya yaitu proses pengeringan kompos ditunjukkan oleh Gambar 4.2, proses pengadukan dan proses pengayakan kompos dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.2 Proses Pengeringan Kompos pada Kondisi Ruang



Gambar 4.3 Proses Pengadukan Kompos



Gambar 4.4 Proses Pengayakan Kompos

Setelah kompos dikeringkan dan diayak, maka kompos telah siap digunakan sebagai medium filter. Kompos sebelum digunakan disimpan di dalam wadah tertutup yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kompos sebagai Medium Filter

4.3. Pembuatan Medium Pelet Kompos

Penelitian biofiltrasi gas N_2O ini menggunakan medium filter berupa pelet kompos. Medium filter berbentuk pelet memiliki beberapa keuntungan yaitu antara lain menurunkan jumlah kompos yang tercecce, memperpanjang lama waktu penyimpanan dan menurunkan *pressure drop*. Proses pembuatan medium pelet kompos terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembentukan pelet kompos dan tahap persiapan pelet kompos sebagai medium filter untuk proses biofiltrasi. Tahap pembentukan pelet kompos dilakukan dengan mencampur kompos ruah yang sudah dipreparasi dengan bahan pengikat/binder yang berbentuk larutan amilum pregelatinasi. Bahan pengikat/binder yang digunakan pada penelitian ini berupa tepung sagu, tepung terigu dan tepung beras yang akan divariasikan. Tahap ini diawali dengan membuat larutan amilum pregelatinasi dari masing-masing bahan pengikat yaitu dengan cara memanaskan campuran bahan pengikat/binder dengan air (dengan perbandingan 1:10 %berat) di atas *hot plate stirrer* sambil dibantu pengadukan dengan pengaduk kaca hingga mengental dan berwarna bening. Kemudian mencampurkan kompos ruah yang telah dipreparasi dengan larutan pregelatinasi dan diaduk hingga merata. Selanjutnya dilakukan pencetakan campuran tersebut dengan alat *pelletizer*. Pelet kompos yang

dihasilkan berbentuk silinder dengan ukuran 5x5 mm. Hasil pelet kompos dan alat *pelletizer* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7 di bawah ini:



Gambar 4.6 Pelet Kompos dengan Ukuran 5x5 mm



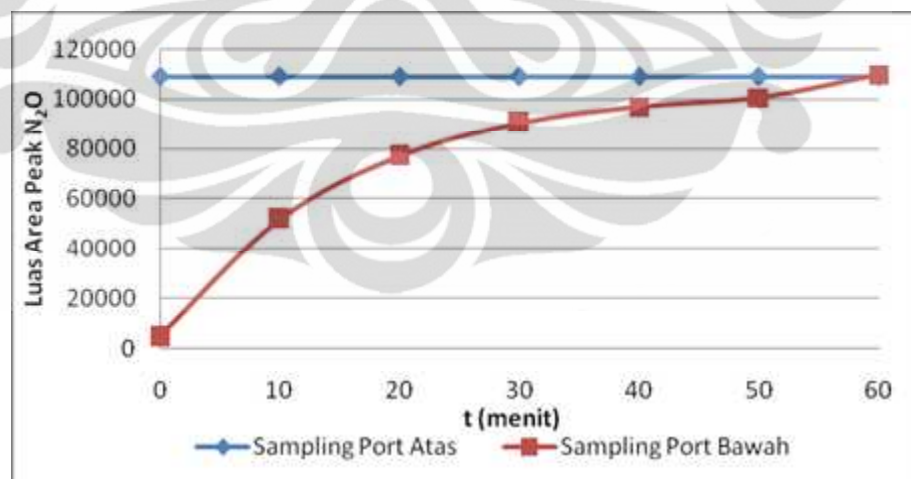
Gambar 4.7 Alat *Pelletizer*

Pelet kompos kemudian dikeringkan dengan cara yang sama pada proses pengeringan kompos berbentuk ruah. Pelet kompos dikeringkan menggunakan tampah yang terbuat dari bambu untuk lebih memudahkan proses pengeringan dibandingkan dengan menggunakan wadah yang terbuka dari plastik. Proses pengeringan ini dilakukan pada kondisi ruang selama lebih kurang 2 hari.

4.4. Persiapan Eksperimen

4.4.1. Uji Kebocoran dan Uji Blangko

Uji kebocoran pada sistem peralatan biofilter dilakukan untuk mengecek dan memastikan keakuratan data percobaan sehingga akan didapatkan hasil yang baik. Keakuratan berhubungan dengan penurunan konsentrasi N_2O saat uji kinerja biofilter disebabkan oleh adanya adsorpsi dan degradasi, bukan karena kebocoran. Uji kebocoran juga dilakukan untuk menghindari ketidakakuratan alat. Pengujian kebocoran alat dilakukan dengan meneteskan air sabun pada daerah kolom biofilter yang rentan terjadinya kebocoran karena sekrup dan baut serta sambungan perpipaan. Indikasi terjadinya kebocoran adalah timbulnya busa sabun yang berbuih pada bagian alat biofilter yang tidak tertutup dengan rapat saat dialiri gas N_2O . Jika buih semakin banyak dalam waktu yang lebih cepat, maka tingkat kebocoran lebih tinggi, namun jika tidak bocor maka tidak akan terbentuk buih. Selain dengan buih sabun (cara mekanik), uji kebocoran juga dilakukan dengan cara analitik yaitu dengan cara mengalirkan udara sampel ke dalam kolom biofilter kemudian dicek luas area pada *sampling port* atas (sebelum biofiltrasi) dan *sampling port* bawah (setelah biofiltrasi). Gambar berikut menunjukkan hasil uji blangko pada sistem biofiltrasi yang digunakan.



Gambar 4.8 Uji Kebocoran dan Uji Blangko Sistem Biofilter

Pada uji kebocoran ini, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.8. Dari hasil ini dapat jelas terlihat bahwa sesaat setelah penginjeksian gas N_2O ke dalam kolom biofilter ($t = 0$ menit) sampai t mendekati 60 menit, distribusi gas belum homogen pada *sampling port* bawah. Artinya, gas N_2O memerlukan waktu

untuk berdistribusi di dalam kolom biofilter dari *inlet* hingga menuju *sampling port* bawah. Setelah mencapai sekitar menit ke-60, maka konsentrasi gas N_2O di dalam kolom selama waktu pengamatan dapat dikatakan konstan. Hal ini dapat terlihat dengan membandingkan grafik tersebut dengan grafik konsentrasi gas N_2O yang diperoleh pada *sampling port* atas. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa alat biofilter tidak bocor dan siap digunakan dalam penelitian dan terjadinya penurunan konsentrasi saat penelitian nanti bukan disebabkan oleh adanya kebocoran.

Uji blangko dilakukan sama seperti halnya uji kebocoran. Uji ini bertujuan untuk memastikan bahwa penurunan luas area di bawah *peak* saat uji kinerja biofilter disebabkan oleh biofiltrasi medium filter yaitu pelet kompos. Sesuai dengan Gambar 4.8 di atas apabila konsentrasi (luas area *peak*) di atas dan di bawah sama, maka dapat dikatakan bahwa tidak terjadi biofiltrasi tanpa adanya medium filter. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa berkurangnya konsentrasi gas N_2O terjadi karena adanya fenomena adsorpsi dan degradasi gas oleh medium biofilter.

4.4.2. Uji Waktu Tinggal

Uji waktu tinggal merupakan pengujian untuk mengetahui berapa lama waktu tinggal aktual gas N_2O di dalam kolom biofilter kosong (*empty bed*). Uji waktu tinggal ditentukan dengan persamaan EBRT (*Empty Bed Residence Time*). EBRT dapat didefinisikan sebagai volum total kolom biofilter kosong dibagi dengan laju alir udara kontaminan. 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, 2006).

Lamanya waktu tinggal gas N_2O di dalam kolom biofilter dapat diketahui dengan menghitung EBRT (*Empty Bed Residence Time*) dengan persamaan EBRT yang berhubungan dengan laju alir pada kolom kosong biofilter. Dalam penelitian ini, EBRT dapat diartikan sebagai jumlah volum total kolom biofilter kosong

dibagi dengan laju alir gas N₂O dengan panjang 120 cm dan diameter dalam 7,35 cm.

$$\text{EBRT} = \frac{\pi \times (\text{jari} - \text{jari kolom})^2 \times \text{tinggi kolom cm}}{\text{laju alir cc/menit}}$$

$$\text{EBRT} = \frac{3,14 \times (3,675\text{cm})^2 \times 120\text{cm}}{88 \text{ cc/menit}} = 57,83 \text{ menit} = 0,96 \text{ jam}$$

Selain dengan analisis empiris dengan formula EBRT, uji waktu tinggal juga dilakukan secara eksperimental seperti pada saat uji blangko, yaitu dengan cara mengalirkan gas N₂O pada laju alir 88 cc/menit ke dalam kolom biofilter kosong (*empty bed*), kemudian *syringe* diinjeksikan pada *sampling port* bawah untuk selanjutnya *syringe* tersebut diinjeksikan ke dalam *Gas Chromatography* (GC) untuk mendeteksi keberadaan gas N₂O beserta konsentrasinya. Pengukuran rentang waktu yang dibutuhkan oleh gas N₂O mulai dari gas tepat dialirkan ke dalam kolom hingga gas tersebut diperoleh pada *sampling port* bawah dapat dibandingkan dengan hasil perhitungan empiris EBRT di atas.

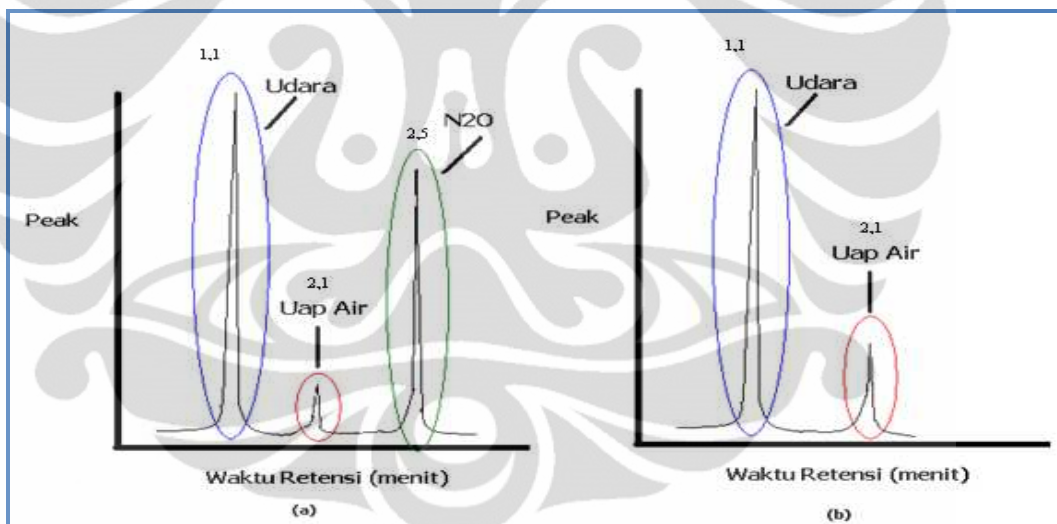
Dari eksperimen, fakta menunjukkan bahwa gas tersebut dapat dideteksi pada kolom biofilter beberapa menit kemudian setelah gas dialirkan ke dalam kolom biofilter. Akan tetapi, konsentrasi gas N₂O pada outlet belum sama dengan konsentrasi gas N₂O yang masuk dari atas kolom biofilter. Hal ini dapat dibuktikan dengan mengecek luas area *peak* gas N₂O dengan GC.

Berdasarkan Gambar 4.8 pada uji blangko yang dilakukan setiap 10 menit, dapat dilihat bahwa luas area *peak* keluaran N₂O akan mendekati luas area *peak* masukan N₂O sekitar menit ke 60 atau 1 jam. Hal tersebut memperkuat hasil perhitungan EBRT yang dilakukan (nilai EBRT empiris = 57,83 menit ~ 58 menit). Dari hasil tersebut dapat diperkirakan bahwa kemungkinan pada menit ke-58 luas area *peak* N₂O *sampling port* bawah telah sama dengan nilai luas area *peak* N₂O *sampling port* atas (pada menit ke-58, gas N₂O telah mengalir ke dalam kolom hingga menuju *sampling port* bawah dan terdistribusi secara merata/homogen di dalam kolom biofilter).

4.4.3. Kalibrasi Gas N₂O

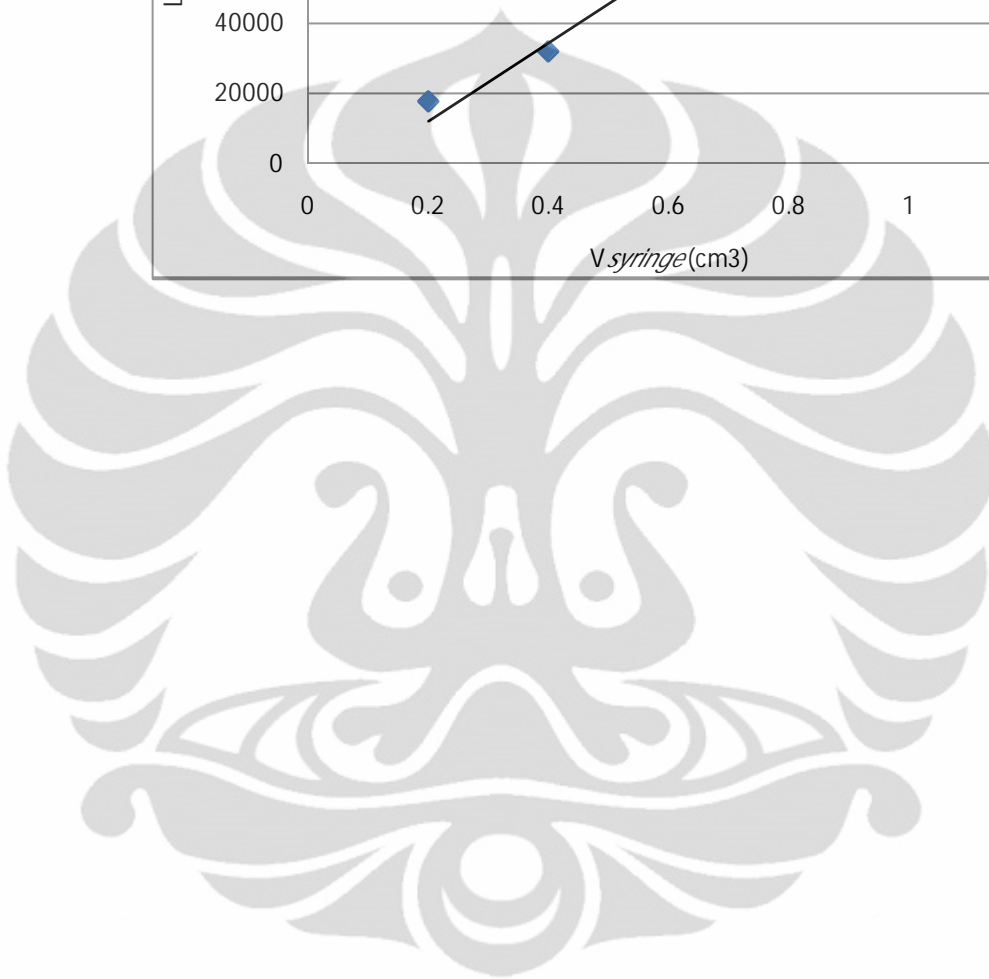
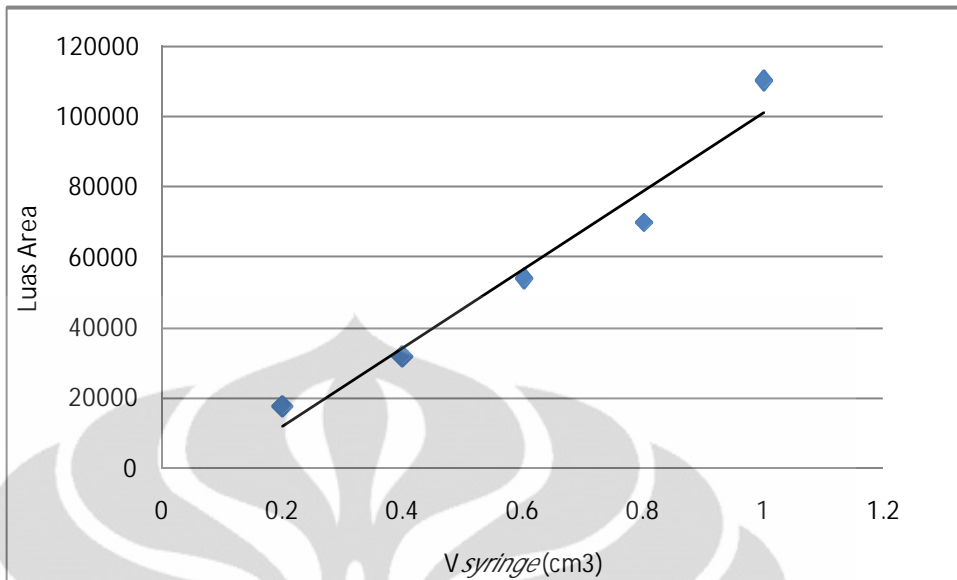
Untuk mengetahui letak *peak* N₂O, waktu retensi udara dan gas N₂O, serta volum dan konsentrasi aktual gas N₂O maka harus dilakukan prosedur kalibrasi gas N₂O. Konsentrasi gas sampel N₂O belum dapat diketahui sehingga untuk sementara gas N₂O dianggap 100% dengan menyesuaikannya terhadap luas *peak* yang tertera dari pembacaan GC. Cara pengukuran uji kalibrasi gas dengan mengalirkan gas N₂O ke dalam *gas sampling* yang kemudian ditutup dengan rapat. Lalu sampel diambil dari *gas sampling* dengan menggunakan *syringe*. *Syringe* kemudian diinjeksikan ke dalam *Gas Chromatography* (GC) yang akan mendeteksi keberadaan gas beserta konsentrasinya.

Hasil yang terbaca berupa *peak* dengan luas area tertentu. Contoh pembacaan hasil kromatograf pada sampel gas N₂O dengan volum 1,0 ml dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Sampel Grafik yang Terdeteksi pada (a) Gas N₂O; (b) Udara Bebas oleh GC

Dari hasil perbandingan antara sampel udara dan sampel gas N₂O (gas N₂O yang digunakan merupakan gas N₂O dengan konsentrasi 15.000 ppm dalam udara) maka dapat diketahui letak *peak* N₂O yang terletak setelah udara dan uap air. Pada kalibrasi udara hanya menghasilkan dua *peak* (Gambar 4.4.b). Langkah selanjutnya adalah memvariasikan volum gas (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 ml) di dalam *syringe* untuk membuat plot antara volum gas N₂O terhadap luas *peak* area N₂O sehingga didapat garis linear.



4.5.1. Pengaruh Jenis Bahan Pengikat

Percobaan dengan memvariasikan jenis bahan pengikat pada pelet kompos ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh jenis bahan pengikat terhadap kinerja biofilter dalam mereduksi gas N₂O. Pada penelitian ini digunakan bahan pengikat/binder berupa amilum pregelatinasi yang berasal dari tepung (pati) sagu, terigu dan beras. Ketiga jenis tepung tersebut dipilih karena tepung (pati) merupakan bahan pengikat alami yang mudah ditemukan dan memiliki sifat sebagai bahan perekat 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). Komposisi yang terkandung di dalam tepung sagu, terigu, dan beras dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.1 Komposisi Bahan Pati Sagu, Terigu dan Beras setiap 100 gr

Komponen	Tepung Beras	Tepung Terigu	Tepung Sagu	Tepung Tapioka
Kalori (kal)	360	365	353	358
Protein (gr)	6.8	8.9	0.7	0.5
Lemak (gr)	0.7	1.3	0.2	0.1
Karbohidrat (gr)	78.9	77.3	84.7	88.69
Kalsium (mg)	6	16	11	20
Fosfor (mg)	140	106	13	7
Zat Besi (mg)	0.8	1.2	1.5	0.7
Air (gr)	13	12	14	62.5

Sumber : Direktorat Gizi, Depkes RI (1981)

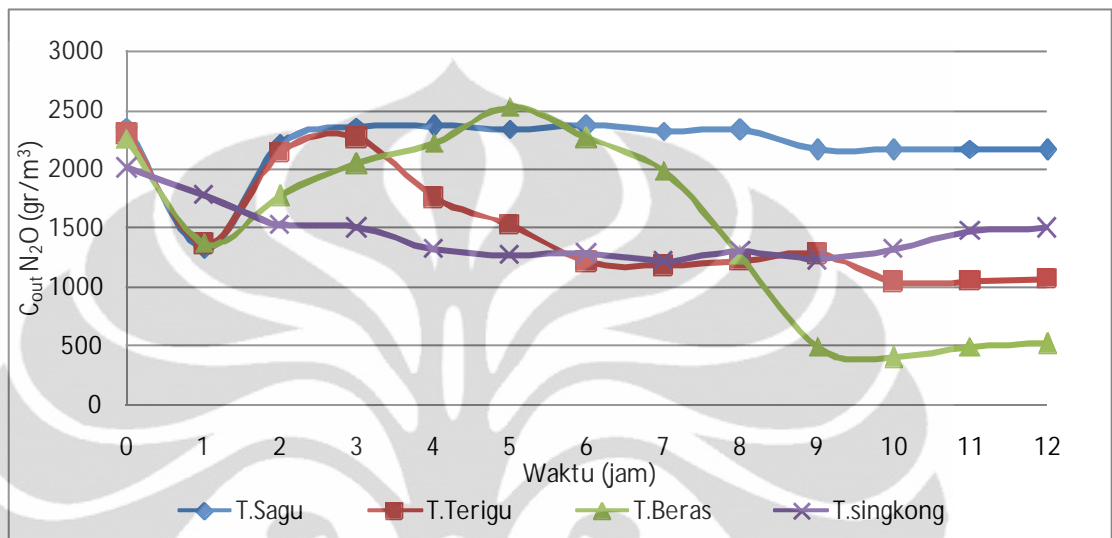
Tabel 4.2 Sifat Pati Sagu, Terigu dan Beras

Jenis Pati	Bentuk Granula	Ukuran Granula (mikron)	Kandungan Amilosa/Amilopektin	Range Suhu Gelatinisasi (°C)
Sagu	elips agak terpotong	20 – 60	27/73	60 - 72
Beras	poligonal	3 – 8	17/83	61 - 78
Jagung	poligonal	5 – 25	26/74	62 - 74
Kentang	bundar	15 – 100	24/76	56 - 69
Tapioka	oval	5 – 35	17/83	52 - 64
Gandum	elips	2 – 35	25/75	52 - 64
Ubi Jalar	poligonal	16 – 25	18/82	58 - 74

Sumber: Knight (1969)

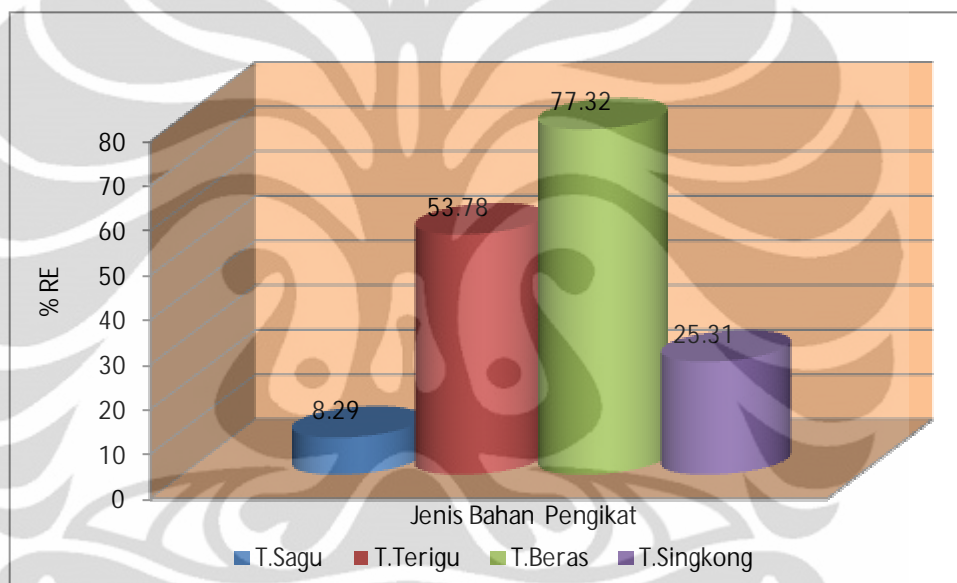
Binder atau bahan pengikat adalah merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi pembuatan pelet kompos. Binder berfungsi untuk merekatkan partikel kompos sehingga terbentuk pelet dengan kekompakan yang baik. Tabel 4.2 menunjukkan rasio amilosa dan amilopektin masing-masing bahan pengikat, dimana rasio amilosa dan amilopektin akan mempengaruhi sifat-sifat pati itu sendiri. Apabila kadar amilosa tinggi maka pati akan bersifat kering, kurang lekat dan cenderung meresap air lebih banyak (higroskopis). Untuk dapat digunakan sebagai bahan pengikat, masing-masing tepung harus dicampur dengan air kemudian dipanaskan sehingga terbentuk amilum pregelatinasi. Amilum pregelatinasi ini berbentuk seperti gel atau lem yang kemudian akan merekatkan partikel-partikel kompos. Campuran air dengan tepung sagu yang kemudian dipanaskan menghasilkan gel yang sangat baik, sehingga proses pembuatan pelet dengan menjadi lebih mudah, sedikit berbeda dengan gel yang dihasilkan dari campuran air dengan tepung terigu atau tepung beras. Hasil variasi yang diperoleh dibandingkan dengan pelet kompos penelitian sebelumnya yang menggunakan bahan pengikat dari tepung singkong (Irwan, 2010).

Pada percobaan ini digunakan laju alir gas sebesar 88 cc/menit dan tinggi medium filter 100 cm. Penggunaan ketinggian ini berdasarkan ketinggian optimum dalam mereduksi gas N₂O pada penelitian sebelumnya di Departemen Teknik Kimia, UI (Mei Linda, 2010). Selain dua kondisi di atas, pada penelitian



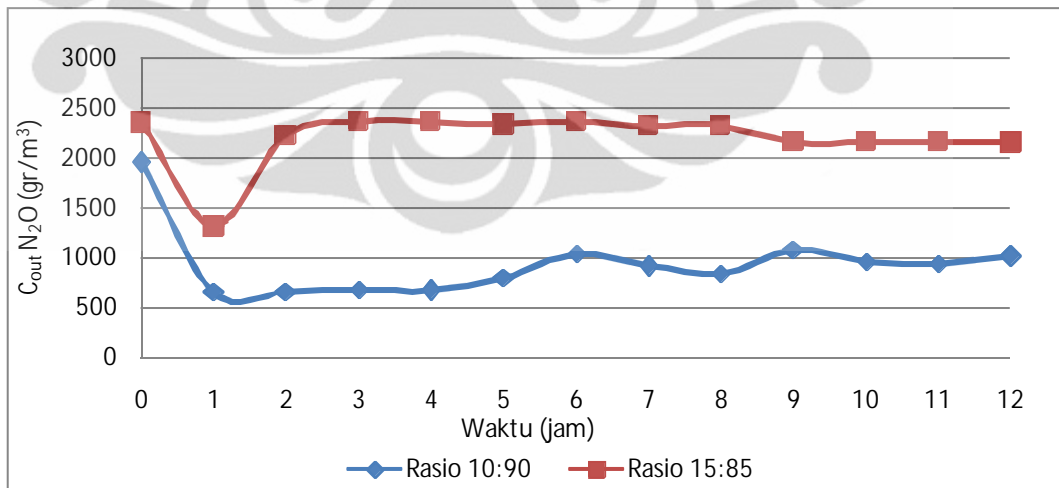
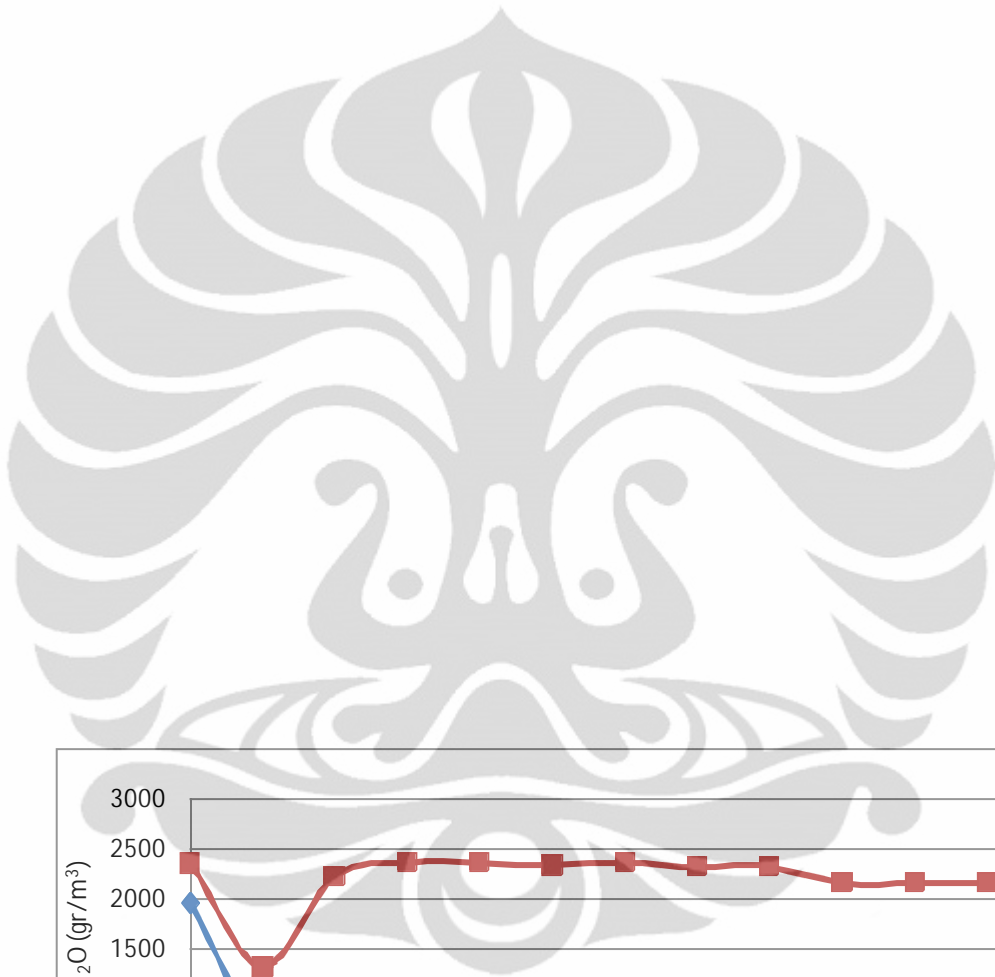
pengikat tepung sagu mengalami penurunan konsentrasi N_2O yang paling stabil dibandingkan dengan tepung terigu dan tepung beras, meskipun hanya sedikit penurunan konsentrasi N_2O yang terjadi.

Selanjutnya di atas jam ke-5, biofiltrasi telah mengalami fase yang lebih stabil. Dapat dilihat antara $t = 5$ jam sampai $t = 12$ jam, penurunan N_2O lebih stabil, kecuali pada pelet tepung beras yang mulai stabil pada jam ke-9. Gambar ini menunjukkan bahwa reduksi N_2O masih terus terjadi dan belum terjadi penjenahan sampai jam ke-12. Pada gambar 4.12 dapat dilihat bahwa tepung beras memiliki efisiensi reduksi N_2O yang cenderung lebih besar.



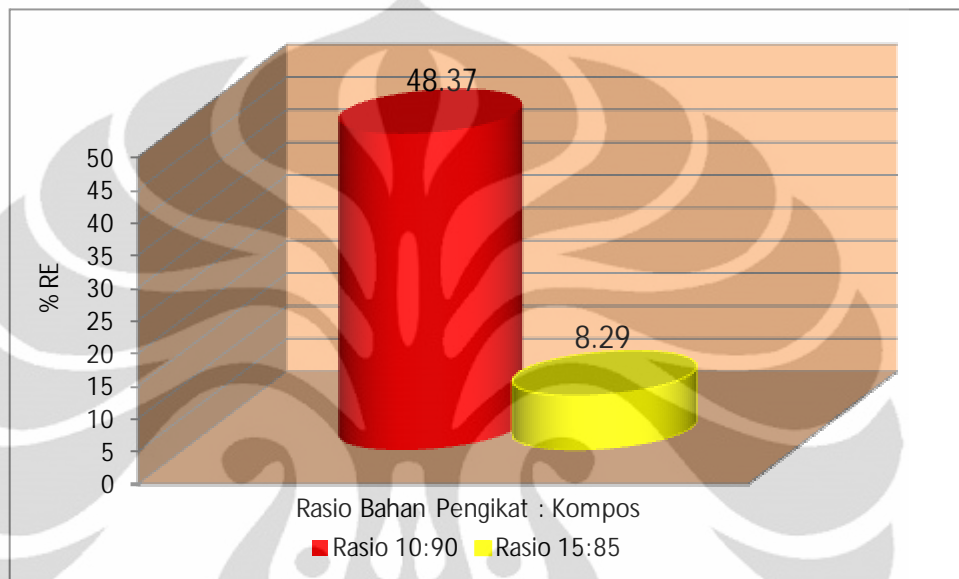
Gambar 4.12 Perbandingan Efisiensi Reduksi pada Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat
($h = 100$ cm; $t = 12$ jam)

Berdasarkan Gambar 4.11 mengenai profil efisiensi reduksi keseluruhan, dapat diperoleh Gambar 4.12 yang merupakan hasil efisiensi reduksi pada jam ke-12 dapat dilihat bahwa efisiensi reduksi tertinggi terjadi untuk medium filter pelet kompos dengan tepung beras sebagai bahan pengikat. Pati tepung beras memiliki ukuran granula yang lebih kecil daripada pati sagu dan terigu, sehingga permukaan medium filter menjadi lebih luas dan biofilm yang dapat terbentuk juga lebih luas. Dimana efisiensi reduksi pelet dengan bahan pengikat tepung beras mencapai 77,32%, kemudian berurutan tepung terigu, tepung singkong dan tepung sagu sebesar 53,78%, 25,31% dan 8,29%.



konsentrasi gas N_2O keluaran biofilter lebih kecil pada pelet kompos dengan perbandingan 10:90 %berat amilum dan kompos ruah. Pada gambar di atas dapat terlihat terjadi penurunan yang gradual pada jam pertama, kemudian terjadi kenaikan konsentrasi dan penurunan konsentrasi N_2O mulai stabil dari jam ke-2.

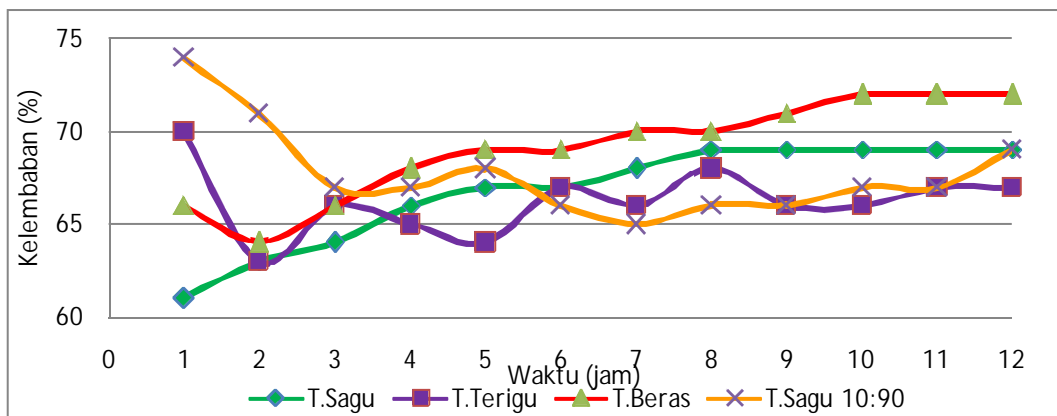
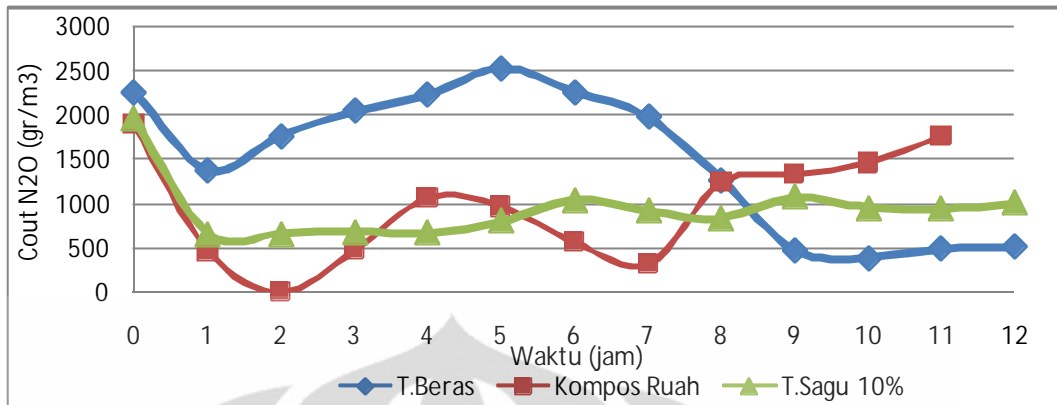
Berikut ini adalah gambar perbandingan efisiensi reduksi N_2O (%RE) pada $t = 12$ jam.

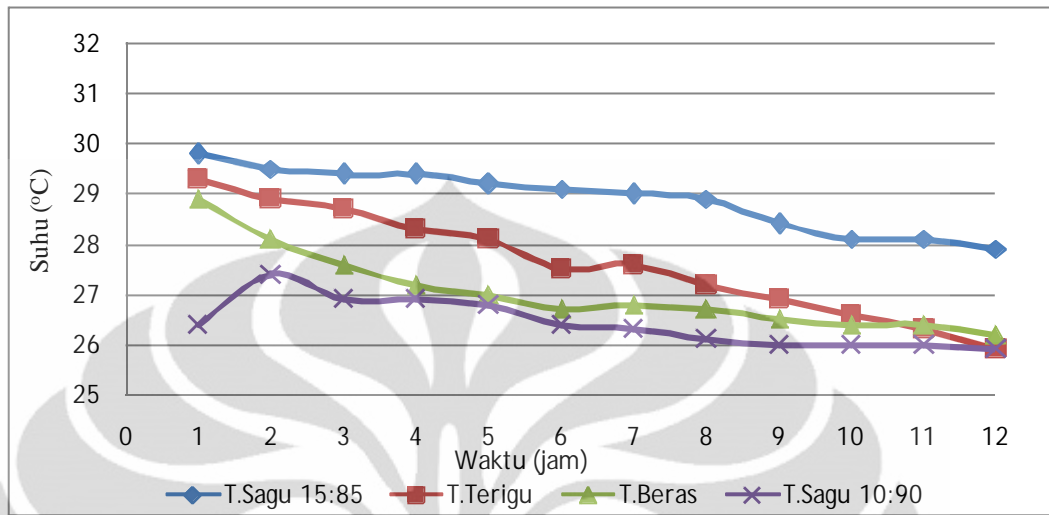


Gambar 4.14 Perbandingan Efisiensi Reduksi pada Uji Variasi Rasio Bahan Pengikat
($h = 100$ cm; $t = 12$ jam)

Gambar 4.14 di atas memperlihatkan bahwa efisiensi reduksi terbesar adalah pada pelet kompos dengan rasio bahan pengikat sebesar 10:90 %berat larutan amilum pregelatinasi dengan kompos ruah dengan efisiensi reduksi N_2O yang dihasilkan sebesar 48,37%. Dengan rasio bahan pengikat tepung sagu sebesar 10:90 berarti kompos yang menjadi medium filter lebih banyak sehingga jumlah mikroorganisme yang terdapat di dalam medium filter juga lebih banyak. Hal ini menyebabkan luas permukaan biofilm semakin besar dan laju biodegradasi terhadap gas N_2O semakin besar.

Penurunan konsentrasi N_2O lebih stabil pada proses biofiltrasi dengan menggunakan pelet kompos sebagai medium biofilter daripada menggunakan medium kompos ruah. Hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini:





Tabel 4.3 Perubahan Sifat Fisis Medium Filter Sebelum dan Setelah Biofiltrasi

Sifat Fisis	Variasi Jenis Bahan Pengikat							
	Tepung Sagu		Tepung Terigu		Tepung Beras		Tepung Sagu 10:90	
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
<i>Pressure Drop</i> (mH ₂ O)	0.02	0.08	0.18	0.2	0.04	0.06	0.02	0.08
<i>Total Pressure Drop</i> (mH ₂ O)	0.06		0.02		0.02		0.06	
pH	7,63	7,44	7,63	7,47	7,67	7,46	7,65	7,44
<i>Tinggi Aktual</i> (cm)	69		66		63		68	

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa perubahan *pressure drop* yang signifikan terjadi pada medium pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu. Terlihat dari Gambar 4.11, dimana pada medium pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu penurunan konsentrasi gas N₂O tidak begitu besar. *Pressure drop* yang tinggi maka waktu tinggal gas polutan semakin berkurang sehingga akan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme yaitu menjadi lambat dan akhirnya mempengaruhi efisiensi penurunan polutan organik.

4.5.3. Hasil Uji Perkembangan Mikroba 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.

Dalam metode TPC, setiap alat dan bahan yang akan digunakan harus selalu berada dalam keadaan steril dan aseptis supaya peralatan dan bahan yang akan digunakan tidak terkontaminasi oleh mikroorganisme lain yang tidak bersumber dari sampel. Oleh karena itu, sebelum melakukan metode ini perlu dilakukan sterilisasi alat dan bahan terlebih dahulu. Dua metode sterilisasi yang digunakan pada uji TPC antara lain adalah menggunakan panas lembab dengan

uap jenuh bertekanan dan panas kering. Sterilisasi dengan cara yang pertama dilakukan dengan menggunakan *presto*. Metode sterilisasi ini memiliki suhu efektif 121°C pada tekanan tinggi dengan waktu standar 15 – 20 menit. Cara ini dipakai untuk melakukan sterilisasi bahan-bahan yang digunakan untuk uji TPC, karena cara ini menyediakan suhu yang jauh di atas titik didih, memiliki daya tembus yang kuat, dan kelembaban sangat tinggi sehingga mempermudah koagulasi protein sel-sel mikroba yang menyebabkan sel hancur. Sementara itu, metode pemanasan dengan metode panas kering memiliki suhu efektif 170°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 juga 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 mikroorganisme lain ke dalam kultur. Teknik transfer aseptis ini sangat esensial dan merupakan kunci keberhasilan prosedur mikrobial dalam analisis mikrobiologi. Segala proses perpindahan kultur bakteri dilakukan di dalam *transfer box* (ruangan steril) dan sebelumnya dilakukan sterilisasi *transfer box* menggunakan alkohol 70% dan pemanasan alat terlebih dahulu untuk membunuh mikroorganisme pengontaminasi yang terdapat di dalam *transfer box* dan di permukaan peralatan agar tidak memasuki dan mengontaminasi bagian dalam peralatan saat dilakukan transfer sampel.

Selain sterilisasi alat dan bahan serta teknik transfer aseptis, metode TPC juga meliputi dilusi/pengenceran sampel, pembuatan nutrisi agar sebagai medium pengembangbiakan mikroorganisme, serta inkubasi sampel TPC dengan suhu 34-35°C selama 1–2 hari. Inkubasi dilakukan dengan tujuan untuk menunggu pertumbuhan koloni mikroorganisme pendenitrifikasi supaya dapat dilakukan perhitungan tanpa menggunakan alat bantu, di mana koloni bakteri pendenitrifikasi akan berbentuk bulatan berwarna putih susu. Rentang suhu tersebut dipilih karena suhu 34°C merupakan suhu maksimum yang digunakan pada proses pengomposan (Turan, 2008). Selain itu, di atas suhu 35°C, bakteri

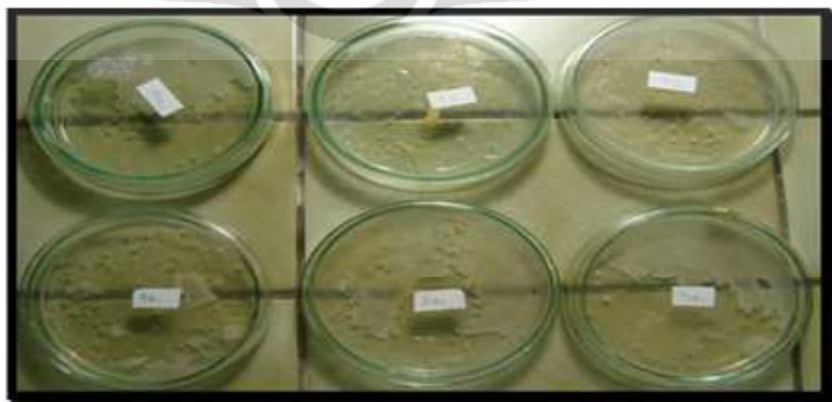
patogen akan tumbuh. Hal ini tidak diharapkan karena bakteri patogen tersebut dapat membunuh bakteri denitrifikasi. Berikut gambar uji blangko medium agar.



Gambar 4. 18 Medium Agar Sebelum Digunakan Uji TPC

Gambar 4.17 menunjukkan hasil uji blangko medium. Sebelum dilakukan TPC, penting untuk melakukan uji blangko medium agar terlebih dahulu untuk menguji ketepatan dan keefektifan prosedur TPC yang telah dirancang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah metode dan prosedur yang akan digunakan telah efektif untuk menjamin bebasnya medium nutrisi agar dari kontaminasi.

Sementara itu, hasil uji TPC dapat dilihat pada gambar berikut, di mana Gambar 4.18 merupakan hasil TPC pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu 10:90 %berat sebelum biofiltrasi, Gambar 4.19 menunjukkan hasil TPC pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu 10:90 %berat setelah biofiltrasi dan Gambar 4.20 menunjukkan hasil TPC pelet kompos yang mengalami kontaminasi dengan tumbuhnya jamur di medium agar.



Gambar 4.19 Hasil Uji TPC Pelet Kompos dengan Bahan Pengikat Tepung Sagu 10:90 Sebelum Biofiltrasi

Gambar 4.20 Hasil Uji TPC Pelet Kompos dengan Bahan Pengikat Tepung Sagu 10:90 Setelah Biofiltrasi



Gambar 4.21 Hasil Uji TPC yang Terjadi Kontaminasi Jamur

Dari Gambar 4.20 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 berikut ini:

Tabel 4.4 Hasil Uji TPC Sebelum dan Setelah Biofiltrasi

Sampel Uji TPC	Mikroorganisme (CFU/g)	
	Sebelum Nutrisi	Setelah Biofiltrasi
Pelet dengan T.Sagu 15%	2.869×10^{12}	0.953×10^{12}
Pelet dengan T.Terigu	3.370×10^{12}	1.160×10^{12}
Pelet dengan T.Beras	1.073×10^{12}	0.578×10^{12}
Pelet dengan T.Sagu 10%	0.354×10^{12}	0.531×10^{12}

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa tidak terjadi perubahan yang begitu signifikan terhadap jumlah koloni mikroorganisme yang terdapat di dalam medium sebelum dan sesudah proses biofiltrasi. Hal ini terjadi karena perkembangan bakteri yang terjadi sudah maksimal, sudah tidak terjadi penambahan jumlah bakteri meskipun dilakukan penambahan nutrisi ataupun disebabkan karena kontaminasi seperti yang ditunjukkan Gambar 4.20.

BAB V

KESIMPULAN

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

- Efisiensi reduksi tertinggi untuk variasi jenis bahan pengikat adalah pada penggunaan bahan pengikat dari tepung beras yaitu sebesar 82,53%
- Pelet kompos dengan bahan pengikat tepung sagu secara fisik terlihat lebih kuat dan kompak karena larutan amilum pregelatinasi yang dihasilkan memiliki sifat lebih seperti lem.
- Rasio tepung sagu sebesar 10 % merupakan rasio optimum dengan efisiensi reduksi sebesar 66,50%
- Kelembaban medium biofilter semakin lama akan meningkat, sedangkan suhu medium filter akan semakin menurun sejalan dengan semakin lamanya proses biofiltrasi di dalam kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Kalantary, A.Torkian, H.Pourmoghadas, R.Dehghanzadeh, B.Bina. 2004. Removal of Styrene from Waste Gas Stream Using a Biofilter. *Journal of Research in Medical Sciences*.
- Adriaty, Lila. 2009. Pemanfaatan Kompos sebagai Biofilter untuk Mereduksi Emisi Gas N₂O. Laporan Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI. Depok.
- Departemen Pertanian. 2007. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian. *Agenda Nasional [2008 – 2015] dan Rencana Aksi [2008 – 2009]*
- Deviny, J.S., M.A. Deshusses, and T.S. Webster. 1999. *Biofiltration for Air Pollution Control*. Lewis Publisher.
- Chaves, Jenina Jok. 2008. Perubahan Iklim: Sebab, Dampak, dan Tanggapan pada Pertanian Asia. *Aliansi Petani Indonesia*. Jakarta. Vol. 1. No. 1.
- Filayuri, Shilfa. 2009. Pemanfaatan Kompos sebagai Biofilter untuk Mereduksi Emisi Gas N₂O. Laporan Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI. Depok.
- Hanks, S. 1996. *Ecology and the Biosphere*. St. Luice Press. Florida. pp. 108-110.
- Haryanto, B. 1992. *Potensi dan Pemanfaatan Sagu*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. Pp. 78-121.
- Hirai *et al.* 1999. Comparison of Biological Removal Characteristic of H₂S and NH₃ Using for Kind of Inorganic Carrier.
- Huiqi Duan, Lawrence C.C. Koe, Rong Yan, Xiaoge Chen. 2006. Biological Treatment of H₂S Using Pellet Activated Carbon As a Carrier of Microorganism In A Biofilter. *Water Research* 40. Singapore.
- Marie Caroline, Louise Bibeau, Michele Heitz. 2002. A Study of The Impact of Particle Size and Adsorption Phenomena in a Compost Based Biological Filter. *Chemical Engineering Department*. University of Sherbrooke. Canada.
- Melvin Galera *et. al.* 2007. Removal of NH₃, H₂S and Toluene by Biofilters Packed with Rock Wool-Compost Media. *International Journal of Chemical Engineering*. Vol. 13. No. 6.

- Michel Ondarts, Cecile Hort, Vincent Platel, Sabine Sochard. 2010. Indoor Air Purification by Compost Packed Biofilter. International Journal of Chemical Reactor Engineering. The Barkeley Electronic Press.
- Noviani, Cynthia. 2009. Reduksi Gas Dinitrogen Monoksida melalui Biofiltrasi dengan Menggunakan Material Kompos Termodifikasi. Laporan Skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI. Depok.
- Porteous, A. 1992. Dictionary of Environmental Science and Technology. 2nd Ed. John Wiley and Sons, New York.
- R.E. Nicolai, K.A. Janni. 2001. Biofilter Media Mixture Ratio of Wood Chips and Compost Treating Swine Odors. Department of Biosystems and Agricultural Engineering. University of Minnesota. USA.
- R. Ravi, Ligy Philip dan T. Swaminathan. 2009. Performance Evaluation of a Compost Biofilter Treating Dichloromethane Vapors. International Journal of Chemical Engineering Research. Research India Publications.
- Setyorini, D. 2003. Persyaratan Mutu Pupuk Organik untuk Menunjang Budidaya Pertanian Organik. Disampaikan pada Seminar Sehari Penggunaan Pupuk Organik BPTP. DI Yogyakarta.
- Sudrajad, A. 2004. Studi Eksperimen Terhadap Pembentukan dan Pemecahan Nitrous Oxide dengan Reaktor Pemanas. Pusat Penelitian Fisika LIPI. Serpong. Volume 24 No. 0204.
- Sutanto, R. 2002. Pertanian Organik: Menuju Pertanian Alternatif dan Berkelanjutan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Tan, K.H. 1993. Enviromental Soil Science. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Tania Utami, dkk. 2008. Pengaruh Ketinggian Filter dan Penambahan Nutrisi pada Proses Biofiltrasi N₂O dengan Medium Berbasis Kompos. Pusat Penelitian Ilmu dan Teknologi – RISTEK.
- Wirahardjaka, A. 2004. Mewaspada Emisi Gas Nitro Oksida dari Lahan Persawahan. Balai Penelitian Tanah. Bogor.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Uji Variasi Jenis Bahan Pengikat

Waktu (jam)	Konsentrasi N ₂ O (gr/m ³)				% RE			
	Tepung Sagu	Tepung Terigu	Tepung Beras	Tepung Singkong	Tepung Sagu	Tepung Terigu	Tepung Beras	Tepung Singkong
0	2350.013604	2292.470826	2254.640343	2002.330668	0	0	0	0
1	1314.29796	1358.421972	1368.897144	1771.291608	44.07275099	40.74419807	39.2853433	11.53850679
2	2216.331492	2136.237468	1765.795812	1522.08906	5.68856758	6.815064176	21.6817078	23.98413088
3	2356.504188	2260.803408	2040.498636	1494.088224	0.276193465	1.381366238	9.497821134	25.38254306
4	2361.858648	1747.24818	2219.440884	1314.793413	0.504041508	23.78318798	1.561200619	34.33684887
5	2330.944116	1523.535036	2523.215436	1270.446835	0.811462877	33.54179173	11.91210358	36.55159682
6	2362.445736	1207.382712	2259.48246	1277.767263	0.529023831	47.3326902	0.21476228	36.18600145
7	2320.055808	1175.337492	1974.380568	1219.115774	1.27479245	48.73053656	12.43035395	39.11516245
8	2327.736876	1219.135344	1272.130908	1305.198096	0.947940385	46.82002797	43.57721346	34.81605627
9	2156.448516	1276.44981	481.915896	1224.633858	8.236764573	44.3199104	78.62559776	38.83957942
10	2156.910576	1035.914964	393.87444	1314.830688	8.217102559	54.81229457	82.53049799	34.33498727
11	2161.09086	1043.498184	491.157096	1470.810593	8.039219164	54.4815065	78.21572307	26.5450699
12	2155.187364	1059.496332	511.433376	1495.550508	8.290430305	53.78365037	77.3164098	25.30951396

Lampiran 2. Data Hasil Uji Variasi Rasio Bahan Pengikat

Waktu (jam)	Konsentrasi N ₂ O (gr/m ³)		% RE	
	Tepung Sagu 10%	Tepung Terigu 15%	Tepung Sagu 10%	Tepung Terigu 15%
0	1953.15027	2350.013604	0	0
1	654.296892	1314.29796	66.50043256	44.07275099
2	656.846376	2216.331492	66.36990066	5.68856758
3	679.813476	2356.504188	65.19400036	0.276193465
4	669.34374	2361.858648	65.7300439	0.504041508
5	801.367872	2330.944116	58.9704958	0.811462877
6	1040.818236	2362.445736	46.71079579	0.529023831
7	912.289452	2320.055808	53.29138438	1.27479245
8	835.370052	2327.736876	57.22960671	0.947940385
9	1074.809544	2156.448516	44.97046333	8.236764573
10	955.804632	2156.910576	51.06343599	8.217102559
11	938.686668	2161.09086	51.93986441	8.039219164
12	1008.229416	2155.187364	48.37932178	8.290430305

Lampiran 3. Data Perbandingan antara Medium Pelet Kompos dengan Medium Kompos Ruah

Waktu (jam)	Konsentrasi N ₂ O (gr/m ³)		
	Tepung Beras	Kompos Ruah	Tepung Sagu 10%
0	2254.640343	1901.38532	1953.15027
1	1368.897144	463.58812	654.296892
2	1765.795812	0.76708	656.846376
3	2040.498636	484.15432	679.813476
4	2219.440884	1061.81992	669.34374
5	2523.215436	963.73032	801.367872
6	2259.48246	567.20432	1040.818236
7	1974.380568	321.85952	912.289452
8	1272.130908	1245.55672	835.370052
9	481.915896	1325.25452	1074.809544
10	393.87444	1460.18812	955.804632
11	491.157096	1762.36932	938.686668
12	511.433376	1215.44732	1008.229416

Lampiran 4. Data Perubahan Suhu dan Kelembaban Medium

Berikut ini adalah data perubahan yang terjadi terhadap suhu dan kelembaban medium biofilter proses biofiltrasi yaitu selama 12 jam:

a. Perubahan Suhu

Waktu (jam)	Suhu Medium (oC)			
	T. Sagu	T. Terigu	T. Beras	T. Sagu 10%
1	29.8	29.3	28.9	26.4
2	29.5	28.9	28.1	27.4
3	29.4	28.7	27.6	26.9
4	29.4	28.3	27.2	26.9
5	29.2	28.1	27	26.8
6	29.1	27.5	26.7	26.4
7	29	27.6	26.8	26.3
8	28.9	27.2	26.7	26.1
9	28.4	26.9	26.5	26
10	28.1	26.6	26.4	26
11	28.1	26.3	26.4	26
12	27.9	25.9	26.2	25.9

b. Perubahan Kelembaban

Waktu (jam)	Kelembaban			
	T. Sagu	T. Terigu	T. Beras	T. Sagu 10%
1	61	70	66	74
2	63	63	64	71
3	64	66	66	67
4	66	65	68	67
5	67	64	69	68
6	67	67	69	66
7	68	66	70	65
8	69	68	70	66
9	69	66	71	66
10	69	66	72	67
11	69	67	72	67
12	69	67	72	69

Lampiran 5. Data Perhitungan Koloni Mikroorganisme dengan Metode TPC

Berikut ini adalah langkah langkah perhitungan uji TPC (Total Plate Count):

- Melakukan pengenceran sebesar 10^7 , 10^8 , 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:

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

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

Contoh perhitungan:

- Untuk pengenceran 10^7

$$\Sigma \text{bakteri} \left(\frac{\text{CFU}}{\text{g}} \right) = \frac{50}{10^7 \times 1 \text{ ml}} \times \frac{0,97}{10} = 4,84 \times 10^7$$

- Untuk pengenceran 10^8

$$\Sigma \text{bakteri} \left(\frac{\text{CFU}}{\text{g}} \right) = \frac{98,5}{10^8 \times 1 \text{ ml}} \times \frac{0,97}{10} = 9,55 \times 10^8$$

- Untuk pengenceran 10^9

$$\Sigma \text{bakteri} \left(\frac{\text{CFU}}{\text{g}} \right) = \frac{132,5}{10^9 \times 1 \text{ ml}} \times \frac{0,97}{10} = 1,29 \times 10^{10}$$

Dari hasil perhitungan masing-masing dilusi, kemudian dirata-ratakan maka akan diperoleh hasil jumlah koloni bakteri untuk tepung sagu 15:85 sebelum biofiltrasi yaitu sebesar $2,87 \times 10^{12}$ (CFU/g)

a. Pelet Kompos dengan Tepung Sagu 15:85 Sebelum Biofiltrasi

Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-rata Jumlah Koloni	Jumlah Sel	Rata-rata jumlah (CFU/g)
1.00E-07	5 95	50	4.85E+07	2.87E+12
1.00E-08	102 95	98.5	9.55E+08	
1.00E-09	156 109	132.5	1.29E+10	
1.00E-10	250 59	154.5	1.50E+11	
1.00E-11	5 180	92.5	8.97E+11	
1.00E-12	74 259	166.5	1.62E+13	

b. Pelet Kompos dengan Tepung Sagu 15:85 Setelah Biofiltrasi

Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-rata Jumlah Koloni	Jumlah Sel	Rata-rata jumlah (CFU/g)
1.00E-07	39 88	63.5	6.16E+07	9.53E+11
1.00E-08	19 16	17.5	1.70E+08	
1.00E-09	16 36	26	2.52E+09	
1.00E-10	35 50	42.5	4.12E+10	
1.00E-11	31 49	40	3.88E+11	
1.00E-12	49 60	54.5	5.29E+12	

c. Pelet Kompos dengan Tepung Terigu Sebelum Biofiltrasi

Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-rata Jumlah Koloni	Jumlah Sel	Rata-rata jumlah (CFU/g)
1.00E-07	79 115	97	9.41E+07	3.37E+12
1.00E-08	84 118	101	9.80E+08	
1.00E-09	244 188	216	2.10E+10	
1.00E-10	71 87	79	7.66E+10	
1.00E-11	131 148	139.5	1.35E+12	
1.00E-12	208 179	193.5	1.88E+13	

d. Pelet Kompos dengan Tepung Terigu Setelah Biofiltrasi

Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-rata Jumlah Koloni	Jumlah Sel	Rata-rata jumlah (CFU/g)
1.00E-07	83 58	70.5	6.84E+07	1.16E+12
1.00E-08	72 33	52.5	5.09E+08	
1.00E-09	20 68	44	4.27E+09	
1.00E-10	33 59	46	4.46E+10	
1.00E-11	70 25	47.5	4.61E+11	
1.00E-12	61 72	66.5	6.45E+12	

e. Pelet Kompos dengan Tepung Beras Sebelum Biofiltrasi

Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-rata Jumlah Koloni	Jumlah Sel	Rata-rata jumlah (CFU/g)
1.00E-07	73 151	112	1.09E+08	1.07E+12
1.00E-08	156 101	128.5	1.25E+09	
1.00E-09	206 197	201.5	1.95E+10	
1.00E-10	22 3	12.5	1.21E+10	
1.00E-11	121 9	65	6.31E+11	
1.00E-12	68 51	59.5	5.77E+12	

f. Pelet Kompos dengan Tepung Beras Setelah Biofiltrasi

Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-rata Jumlah Koloni	Jumlah Sel	Rata-rata jumlah (CFU/g)
1.00E-07	23 10	16.5	1.60E+07	5.78E+11
1.00E-08	52 20	36	3.49E+08	
1.00E-09	21 19	20	1.94E+09	
1.00E-10	29 18	23.5	2.28E+10	
1.00E-11	67 3	35	3.40E+11	
1.00E-12	35 29	32	3.10E+12	

g. Pelet Kompos dengan Tepung Sagu 10:90 Sebelum Biofiltrasi

Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-rata Jumlah Koloni	Jumlah Sel	Rata-rata jumlah (CFU/g)
1.00E-07	77 85	81	7.86E+07	3.54E+11
1.00E-08	14 35	24.5	2.38E+08	
1.00E-09	28 26	27	2.62E+09	
1.00E-10	58 29	43.5	4.22E+10	
1.00E-11	23 16	19.5	1.89E+11	
1.00E-12	18 21	19.5	1.89E+12	

h. Pelet Kompos dengan Tepung Sagu 10:90 Setelah Biofiltrasi

Pengenceran	Jumlah Koloni	Rata-rata Jumlah Koloni	Jumlah Sel	Rata-rata jumlah (CFU/g)
1.00E-07	3 16	9.5	9.22E+06	5.31E+11
1.00E-08	23 39	31	3.01E+08	
1.00E-09	11 35	23	2.23E+09	
1.00E-10	26 10	18	1.75E+10	
1.00E-11	14 9	11.5	1.12E+11	
1.00E-12	28 35	31.5	3.06E+12	