



UNIVERSITAS INDONESIA

HALAMAN JUDUL

**KARAKTERISTIK PELET KOMPOS BERBASIS KOTORAN
KAMBING HASIL BIOFILTRASI SEBAGAI PUPUK
ORGANIK**

SKRIPSI

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

**ARNA MARDIANA
0706269653**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 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 : Arna Mardiana

NPM : 0706269653

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Juni 2011

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Arna Mardiana

NPM : 0706269653

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Karakteristik Pelet Kompos Berbasis Kotoran Kambing Hasil Biofiltrasi Sebagai Pupuk Organik

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

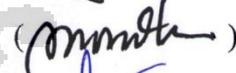
Pembimbing : Tania Surya Utami, S.T., M.T.

()

Penguji : Dr. Eng. Misri Gozan, M. Tech

()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M. Eng

()

Penguji : Ir. Mahmud Sudibandriyo, M. Sc, PhD

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas izin-Nya, saya sapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam penyusunan makalah ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tania Surya Utami, ST., MT., selaku dosen pembimbing atas saran, arahan, dan kesabarannya membimbing penulis dalam pembuatan skripsi ini.
2. Keluarga, atas doa dan dukungannya kepada penulis baik secara moril maupun materil setiap harinya.
3. Tatink, selaku teman satu riset biofilter yang telah memberikan semangat serta membantu penulis dalam penelitian.
4. *Alga Community* (Tangguh, Udin, Dora, dan khususnya Irfan) yang setia menemani penelitian di Laboratorium Bioproses dan bersedia untuk direpotkan ketika lembur.
5. Teman-teman riset bioproses lainnya yang sama-sama berjuang dan saling memberikan semangat agar bisa lulus tahun ini, serta terima kasih atas bantuan atau pun nasihatnya kepada penulis selama penelitian dan penulisan skripsi.
6. Mas Eko, mas Taufik, mbak Tiwi, mang Ijal dan Ius, yang telah bersedia direpotkan dalam segala hal mengenai penelitian biofilter ini.
7. Teman-teman Tekim2007, yang telah memberikan semangat dan doanya kepada penulis mulai dari penelitian hingga pembuatan skripsi ini.
8. Mbak Anis, yang telah membantu penulis selama penelitian di Laboratorium Industri Pakan Ternak IPB.
9. Fika dan Nia, yang telah membantu penulis untuk bisa melakukan penelitian di Laboratorium Industri Pakan Ternak IPB.

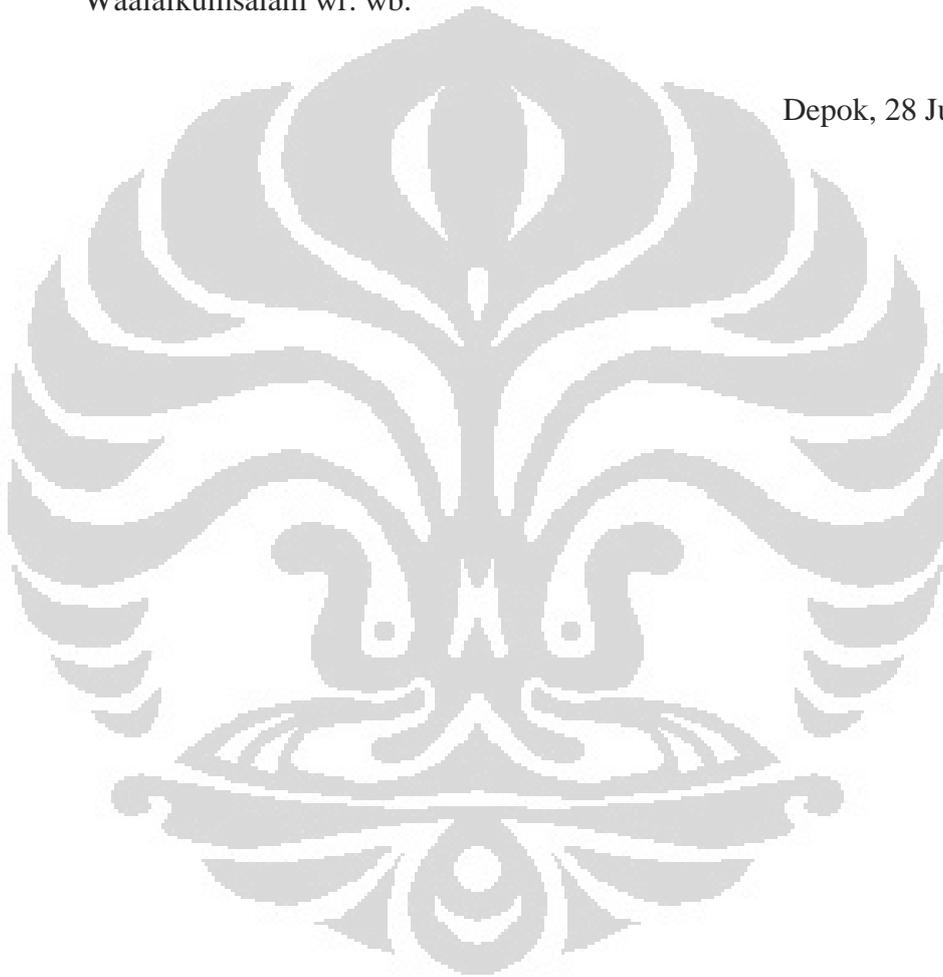
10. Serta pihak-pihak lain yang turut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini dan belum disebutkan di atas.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan datang. Selain itu, penulis juga berharap bahwa skripsi yang ditulis ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Walaikumsalam wr. wb.

Depok, 28 Juni 2011

Penulis



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

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

Nama : Arna Mardiana
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
NPM : 0706269653
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

“Karakteristik Pelet Kompos Berbasis Kotoran Kambing Hasil Biofiltrasi
Sebagai Pupuk Organik”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, 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.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada Tanggal: 28 Juni 2011

Yang Menyatakan



(Arna Mardiana)

ABSTRAK

Nama : Arna Mardiana
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Karakteristik Pelet Kompos Berbasis Kotoran Kambing Hasil Biofiltrasi Sebagai Pupuk Organik

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi gas N_2O selama 12 jam terhadap pupuk yang beredar luas di pasaran. Penentuan kualitas ini dilakukan dengan uji karakteristik fisik (pH, kandungan air, kapasitas retensi kelembaban, densitas, porositas, dan durabilitas), kimia (kandungan nutrisi dan logam), kematangan (stabilitas dan perkecambahan), dan mikroba. Sampel yang digunakan antara lain pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat berupa tepung sagu (15:85 & 10:90), terigu (15:85), dan beras (15:85). Hasil dari penelitian ini menunjukkan pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan zat perekat tepung sagu (10:90) memiliki karakteristik fisik yang lebih baik dibandingkan dengan Super Tani. Adapun mengenai karakteristik kimia dan kematangan yang diuji menghasilkan kualitas yang relatif sama dengan Super Tani.

Kata kunci: karakterisasi, pelet, kompos, kompos berbasis kotoran kambing, zat perekat, pupuk, pupuk organik, biofiltrasi

ABSTRACT

Name : Arna Mardiana
Study Program : Chemical Engineer
Title : Characteristics of after Biofiltration Manure-Based Goat Compost Pellets as Organic Fertilizer

The purpose of this research is to considering the quality of the manure-based goat compost pellet after N_2O gas biofiltration for 12 hours toward the common organic fertilizer. Determination of these qualities will be done by characterizations of microbiological identification, chemical (nutrition and metal composition), maturity (stability and germination test), and physical (pH, water content, moisture retention capacity, density, porosity, and durability) properties. There are four types of goat's manure compost pellets in this research; sago starch (10:90 & 15:85), rice starch (15:85), and wheat starch (15:85). The data shows the manure-based goat compost pellet with the sago starch is the better organic fertilizer than Super Tani organic fertilizer in physical characteristics, but relative the same in chemical and maturity characteristics.

Key words: characterization, pellet, compost, binders, fertilizer, organic fertilizer, biofiltration

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS... Error! Bookmark not defined.	
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Biofilter	6
2.1.2 Parameter yang Mempengaruhi Kinerja Biofiltrasi	10
2.2 Pelet Kompos berbasis kotoran kambing.....	14
2.3 Zat Perekat (<i>Binder</i>).....	17
2.3.1 Amilum Pregelatinasi.....	17
2.4 Karakterisasi Pupuk Organik	19
2.4.1 Karakterisasi Sifat Fisik.....	19
2.4.2 Karakterisasi Sifat Kimia.....	22
2.4.3 Karakterisasi Kematangan Pupuk	24
2.4.4 Karakterisasi Mikroba.....	25
2.5 <i>State of The Art</i>	25
2.5.1 Biofiltrasi dengan Medium Filter Berupa Pelet.....	25
2.5.2 Biofiltrasi dengan Medium Filtrasi yang Menggunakan Zat Perekat ..	29
2.5.3 Biofiltrasi terhadap NOx.....	30
2.5.4 Karakterisasi Media Filter.....	33
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 Diagram Alir Penelitian	37
3.2 Peralatan dan Bahan.....	40
3.2.1 Bahan	40

3.2.2 Peralatan.....	41
3.3 Prosedur Penelitian	42
3.3.1 Pengujian Sifat Fisik	42
3.3.2 Pengujian Kematangan Kompos	47
3.3.3 Pengujian Sifat Kimia	48
3.3.4 Pengujian Mikroba.....	49
3.4 Teknik Pengumpulan dan Analisa Data.....	49
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1 Karakterisasi Mikroba.....	51
4.2 Karakterisasi Sifat Fisik	52
4.2.1 pH.....	52
4.2.2 Kandungan air.....	53
4.2.3 Kapasitas Retensi Kelembaban (<i>Moisture Retention Capacity</i>).....	55
4.2.4 Densitas.....	57
4.2.5 Porositas	58
4.2.6 Durabilitas.....	59
4.3 Karakterisasi Sifat Kimia	61
4.3.1 Kandungan Nutrisi	62
4.3.2 Kandungan Logam.....	64
4.4 Karakterisasi Kematangan Pupuk	66
4.4.1 Kestabilan Pupuk	66
4.4.2 Perkecambahan	67
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA.....	72
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme difusi pada biofilter menggunakan kompos sebagai media filter.....	7
Gambar 2.2 Hubungan antara investasi modal dengan laju alir gas	8
Gambar 2.3 Hubungan antara biaya operasi dengan laju alir gas	8
Gambar 2.4 Skema sistem biofilter yang digunakan dalam penelitian Delhomenie, Bibeau, dan Heitz (2002)	26
Gambar 2.5 Pengaruh luas permukaan spesifik terhadap EC	27
Gambar 2.6 Pengaruh diameter partikel pelet terhadap <i>pressure drop</i>	27
Gambar 2.7 <i>Pall Rings</i> komersial (kiri) dan biofilter dengan isian <i>Pall Rings</i> yang mengandung sel terimobilisasi (kanan).....	28
Gambar 2. 8 <i>Mapping State of The Art</i> Biofilter terhadap Emisi	36
Gambar 4. 1 Kandungan air rata-rata pada setiap pupuk uji	53
Gambar 4.2 Kapasitas retensi kelembaban rata-rata pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi gas N ₂ O selama 12 jam.....	55
Gambar 4.3 Densitas rata-rata setiap pupuk uji	57
Gambar 4.4 Porositas pada Setiap Pupuk Uji	59
Gambar 4.5 Durabilitas Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Hasil Biofiltrasi Selama 12 jam.....	60
Gambar 4.6 Hasil pencatatan temperatur pupuk uji selama 10 hari berturut-turut66	
Gambar 4.7 (a) Ekstrak Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Hasil Biofiltrasi Sagu 10:90; (b) Ekstrak Pupuk merk Super Tani	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-jenis komponen yang dapat diperlakukan dengan biofilter	9
Tabel 2.2 Kandungan kompos berbasis kotoran kambing dan kompos berbasis kotoran sapi	15
Tabel 2.3 Karakteristik beberapa pati	18
Tabel 2.4 Uji kematangan kompos berdasarkan CCQC	24
Tabel 2.5 Hasil penelitian Delhomenie, Bibeau, dan Heitz (2002)	28
Tabel 2.6 Formulasi <i>packing material</i> dan karakteristik fisiknya	34
Tabel 4.1 Hasil pengujian pH pada setiap sampel	53
Tabel 4. 2 Nilai Kapasitas Retensi Kelembaban Gaudin, Andres, & Cloirec (2008)	56
Tabel 4.3 Densitas hasil penelitian Gaudin dkk (2008)	58
Tabel 4.4 Perbandingan kandungan nutrisi antara pupuk merk super tani dan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi selama 12 jam dengan bahan perekat T. sagu (10:90)	62
Tabel 4.5 Komposisi tepung sagu per 100 g	64
Tabel 4.6 Perbandingan Kandungan Nutrisi antara Pupuk Merk Super Tani dan Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Hasil Biofiltrasi Selama 12 jam dengan Bahan Perekat T. Sagu (10:90)	65
Tabel 4.7 Persentase Relatif Perkecambahan Pelet Kompos Berbasis Kotoran Kambing Hasil Biofiltrasi Selama 12 jam dan Pupuk Merk Super Tani	68

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Biofiltrasi merupakan transformasi secara biologis atau perlakuan kontaminan pada fasa gas, umumnya yang terdapat di udara (Govind, 1999). Kontaminan yang berfasa gas ini dialirkan ke dalam suatu reaktor yang mana di dalamnya terdapat medium filter yang akan mendegradasikan kontaminan tersebut secara biologi. Satu-satunya produk samping yang dihasilkan oleh biofilter adalah limbah biomassa, yang mana bentuk penanganannya umumnya berupa tindakan pembuangan secara langsung ke saluran pembuangan (Govind, 1999). Limbah biomassa yang dimaksudkan di sini ialah medium filter setelah digunakan untuk biofiltrasi dan kompos adalah salah satu media bioaktif alami yang telah terbukti sukses dalam mendegradasikan kontaminan. Penanganan dengan cara pembuangan ini dilakukan dengan alasan bahwa saat biofiltrasi berlangsung terjadi absorpsi kontaminan oleh fraksi organik dari medium filter (kompos), sehingga kompos menjadi terkontaminasi dan harus diperlakukan sebagai limbah padat (Govind, 1999).

Banyak penelitian yang telah dihasilkan dengan menggunakan medium filter berupa kompos. Penelitian skala internasional yang menggunakan medium filter ini antara lain adalah biofiltrasi isopentana oleh Zhao Wang dan Rakesh Govind (1998), biofiltrasi *triethylamine* oleh Torkian et al. (2005), biofiltrasi NO oleh Yang et al. (2007), dan masih banyak lagi. Adapun untuk penelitian yang dilakukan oleh Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia (DTK UI) sendiri telah dilakukan penelitian yang cukup mendalam mengenai penggunaan kompos sebagai medium filter. Dimulai dari penelitian Utami dkk (2009) mengenai pengaruh laju alir gas dan kandungan air pada medium filter terhadap efisiensi reduksi N₂O, serta menganalisis dan membandingkan pengaruh penambahan nutrisi alami dan sintetik terhadap efisiensi biofiltrasi. Medium filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompos berbasis kotoran kambing. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Noviani (2009) dan Filayuri (2009) dengan

menggunakan medium yang berbeda, yakni medium kompos berbasis kotoran sapi. Dari hasil penelitian tersebut ternyata didapatkan hasil bahwa medium kompos berbasis kotoran kambing menghasilkan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan kompos berbasis kotoran sapi.

Dari hasil uji kandungan nutrisi kompos berbasis kotoran kambing dan kompos berbasis kotoran sapi yang dilakukan oleh Noviani (2009), diperoleh hasil bahwa kompos berbasis kotoran kambing memiliki kandungan nutrisi berupa karbon organik yang jumlahnya hampir dua kali lebih besar daripada yang dimiliki oleh kompos berbasis kotoran sapi (30,17:15,39). Hal ini tentunya merupakan pertanda baik karena karbon (bersama-sama dengan nitrogen) merupakan komponen yang digunakan mikroorganisme untuk metabolisme. Mikroorganisme memerlukan sekitar 30 bagian karbon terhadap setiap bagian nitrogen untuk metabolisme, dimana sekitar 20 bagian dari karbon tersebut dioksidasi menjadi CO₂ (ATP) dan 10 bagian lagi digunakan untuk mensintesis protoplasma untuk berkembang biak (Noviani, 2009). Penambahan larutan nutrisi sintetik yang pada medium filter, seperti yang dilakukan oleh Yusmalia (2011), juga turut menambah jumlah nutrisi pada kompos yang digunakan sebagai medium filter sehingga kemungkinan akan ketersediaan nutrisi setelah proses biofiltrasi cukup besar. Selain itu, terjadinya peningkatan jumlah mikroorganisme (Irwan, 2010) pada medium filter juga merupakan nilai tambah tersendiri bagi kompos hasil biofiltrasi sebagai pupuk organik. Adanya aktifitas mikroorganisme dalam tanah dapat menghasilkan *phytohormones* yang dapat menstimulasi pertumbuhan serta absorpsi nutrisi.

Berdasarkan uraian di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi yang pada awalnya dibuang (Govind, 1999), berpotensi untuk dapat dimanfaatkan lebih lanjut lagi sebagai pupuk organik. Oleh karenanya penelitian ini penting untuk dilakukan agar medium filter (kompos) yang telah terpakai ini tidak terbuang sia-sia. Adapun bentuk kompos berbasis kotoran kambing yang digunakan dalam penelitian ini bukanlah berbentuk curah, melainkan pelet. Bentuk pelet digunakan karena memiliki kelebihan antara lain efektif untuk model transportasi jarak jauh dan penyimpanan, tidak menghasilkan debu, dan bersifat *slow release* atau pelepasan

nutrisi secara perlahan (Masayuki Hara, 2001). Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini ialah variasi zat perekat yang digunakan pada pelet.

Melalui penelitian ini diharapkan akan ditemukan bagaimana pengaruh zat perekat yang digunakan terhadap kualitas pelet kompos berbasis kotoran kambing tersebut sebagai pupuk organik. Selain itu, juga ingin diketahui bagaimana efek dari biofiltrasi terhadap kualitas pupuk organik yang dihasilkan dan bagaimana kualitas pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi tersebut jika dibandingkan dengan pupuk organik yang luas beredar di pasaran. Kualitas sebagai pupuk organik yang ingin dilihat ditinjau berdasarkan empat aspek, yaitu sifat fisik, kimia, kematangan, dan kandungan mikroba pada pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dibuat beberapa perumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimanakah pengaruh jenis zat perekat terhadap kualitas pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi sebagai penyubur tanaman?
2. Bagaimanakah efek proses biofiltrasi terhadap kualitas pupuk yang akan digunakan sebagai penyubur tanah pertanian?
3. Bagaimanakah kualitas pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi sebagai penyubur tanaman terhadap pupuk komersil?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan hal-hal yang diharapkan dapat tercapai melalui penelitian ini:

1. Mendapatkan jenis zat perekat yang paling tepat untuk digunakan pada pelet yang akan digunakan sebagai penyubur tanaman.
2. Mengetahui kualitas pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terhadap pupuk komersil melalui karakterisasi fisik, kimia, dan kematangannya sebagai penyubur tanaman.
3. Mendapatkan pupuk pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan pupuk komersil.

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah pada seminar ini adalah:

1. Pelet yang digunakan merupakan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terhadap gas N_2O selama 12 dengan zat perekat yang berbeda.
2. Zat perekat yang digunakan ialah tepung sagu (15:85 dan 10:90), tepung terigu (15:85), dan tepung beras (15:85).
3. Karakterisasi pelet kompos berbasis kotoran kambing yang akan diuji meliputi karakterisasi sifat fisik, kimia, kematangan pupuk, serta mikroba.
4. Pengujian mikroba hanya dilakukan pada pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi.
5. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakterisasi sifat fisik pupuk antara lain uji pH, kandungan air, kapasitas retensi kelembaban, densitas, porositas, dan durabilitas.
6. Karakterisasi sifat kimia yang dilakukan meliputi pengujian kandungan nutrisi (C, N, S, P, dan K) dan kandungan logam (Pb, Hg, As, dan Cd) pada pupuk komersil dan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terbaik berdasarkan karakterisasi sifat fisik yang dilakukan.
7. Karakterisasi kematangan pupuk yang dilakukan adalah uji stabilitas dan uji kecambah yang juga dilakukan pada pupuk komersil dan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terbaik berdasarkan karakterisasi sifat fisik yang dilakukan.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari skripsi ini ialah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan studi literatur mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian, seperti pembahasan mengenai biofiltrasi secara umum beserta

dengan parameter-parameter yang berkaitan, pelet kompos berbasis kotoran kambing, bahan perekat, amilum pregelatinasi, dan karakterisasi-karakterisasi pupuk. Selain itu, dalam bab ini juga akan dibahas jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, prosedur setiap kegiatan penelitian, serta cara pengambilan dan pengolahan data yang diperoleh.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan pembahasan hasil penelitian yang didapat disertai dengan analisa mengenai hasil tersebut.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisikan kesimpulan atas pembahasan dan analisa yang diuraikan pada Bab IV.

BAB 2

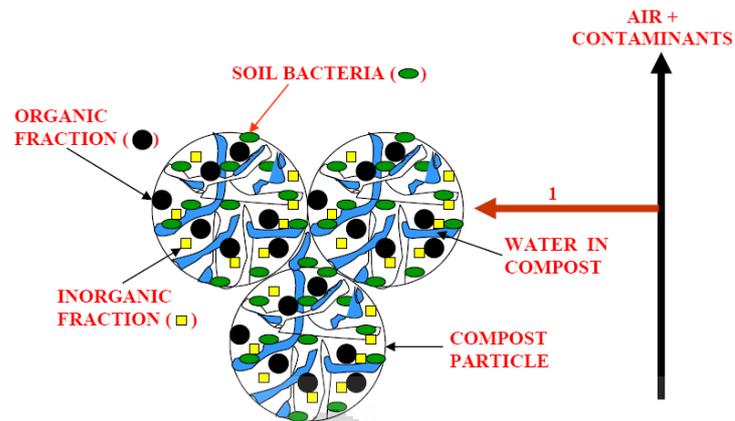
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biofilter

Berbagai dampak pemanasan global yang telah dirasakan oleh masyarakat masa kini, misalnya ialah siklus iklim yang tidak menentu, membuat para teknolog berlomba-lomba untuk mencari suatu teknologi yang mampu mengatasi emisi polutan penyebab pemanasan global tersebut. Tentu saja solusi akan teknologi yang diinginkan merupakan teknologi yang relatif sederhana, murah, dan tidak menghabiskan sumber daya alam. Salah satu sistem pengolahan yang lebih disukai adalah pengolahan gas buang secara biologis karena lebih efektif dalam penanganan kontaminan berkonsentrasi rendah dengan laju alir tinggi (Devinny et al., 1999). Salah satu perlakuan secara biologis yang paling umum adalah biofiltrasi.

Biofiltrasi merupakan suatu teknologi berkembang yang menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan dengan metode-metode lainnya yang dapat digunakan untuk mendegradasikan gas-gas pencemar. Prinsip dari biofiltrasi secara relatif mudah; aliran udara yang terkontaminasi dilewatkan melalui medium yang berpori dimana terimobilisasi mikroorganisme yang dapat mendegradasi polutan. Ketika udara terkontaminasi melalui medium, kontaminan dalam aliran udara terabsorpsi oleh biofilm dan kontaminan ini akan teroksidasi untuk menghasilkan biomassa, CO_2 , H_2O , NO^3 , dan SO_4^{-2} (Filayuri, 2009).

Gambar 2.1 berikut ini merupakan ilustrasi dari mekanisme proses biofiltrasi kontaminan oleh mikroorganisme.

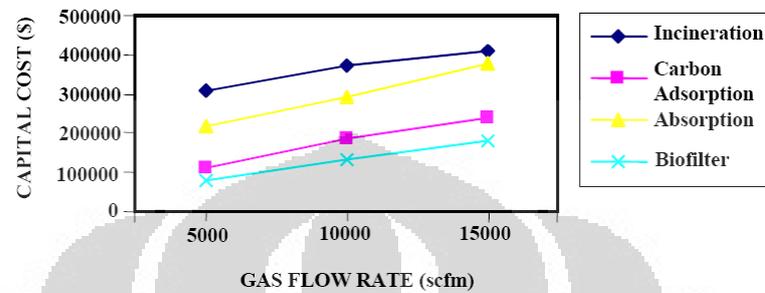


Gambar 2.1 Mekanisme difusi pada biofilter menggunakan kompos sebagai media filter
(Sumber: Govind, 1999)

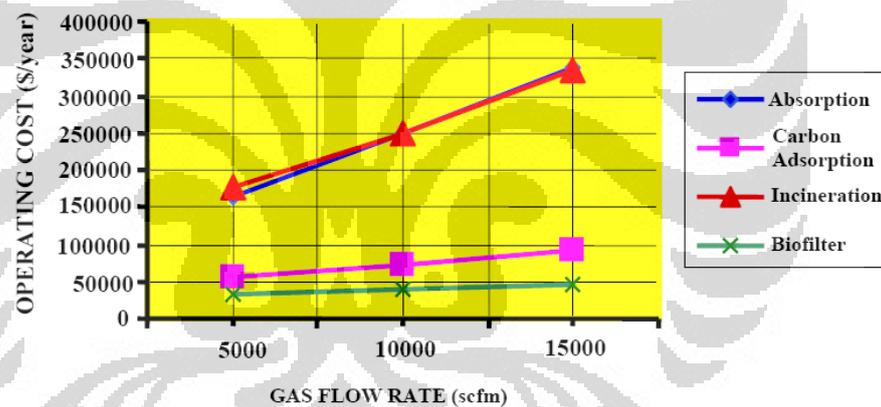
Berikut merupakan keuntungan-keuntungan yang dapat diperoleh dengan menggunakan proses biofiltrasi dibandingkan dengan teknologi-teknologi lainnya.

- ✓ Satu-satunya produk samping yang dihasilkan oleh biofilter adalah limbah biomassa, yang mana bentuk penanganannya dapat berupa tindakan pembuangan secara langsung ke saluran pembuangan. Pada proses termal dihasilkan *nitrogen oxide* yang dapat menyebabkan pengrusakkan ozon dan pembentukan kabut, sedangkan pada proses oksidasi kimia yang menggunakan hipoklorit akan menghasilkan klorin dan produk terklorinasi (Govind, 1999).
- ✓ Biofiltrasi merupakan suatu proses yang bekerja pada temperatur dan tekanan ambien sehingga menghasilkan karbon dioksida yang minimum, sedangkan proses termal memerlukan tambahan gas alam untuk mencapai temperatur tinggi yang mana meningkatkan emisi karbon dioksida secara signifikan (Govind, 1999).
- ✓ Unit biofiltrasi dapat disesuaikan ukurannya untuk berbagai penyettingan industri. Unit ini dapat didesain dengan berbagai bentuk, ukuran, maupun bentuk terbuka dengan pipa-pipa dan sistem pengantaran bawah permukaan tanah. Selain itu, biofilter dapat dibentuk bed bertumpuk guna menghemat ruang dan juga beberapa unit dapat dipasang secara paralel (Anit & Artuz).

- ✓ Dapat digunakan untuk menghilangkan kontaminan dalam konsentrasi yang rendah dan laju alir yang cukup tinggi (Govind, 1999).
- ✓ Investasi modal dan biaya operasi yang relatif murah, seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.2** dan **2.3** berikut ini.



Gambar 2.2 Hubungan antara investasi modal dengan laju alir gas
(Sumber: Govind, 1999)



Gambar 2.3 Hubungan antara biaya operasi dengan laju alir gas
(Sumber: Govind, 1999)

- ✓ Dapat digunakan untuk menghilangkan berbagai jenis kontaminan. **Tabel 2.1** berikut ini menampilkan kontaminan-kontaminan yang dapat dihilangkan dengan sistem biofilter.

Tabel 2.1 Jenis-jenis komponen yang dapat diperlakukan dengan biofilter

Contaminant	Biodegradability	Contaminant	Biodegradability
Aliphatic Hydrocarbons (<i>Methane, Propane, etc.</i>)	1-2	Aldehydes	3
Aromatic Hydrocarbons (<i>Benzene, Phenol, Toluene, etc.</i>)	2-3	Esters	3
Chlorinated Hydrocarbons		Inorganic Compounds	
<i>Carbon tetrachloride</i>	1	<i>Ammonia</i>	3
<i>Chloroform</i>	1	<i>Hydrogen Sulfide</i>	3
<i>Trichloroethylene (TCE)</i> (co-metabolic)	2	<i>Nitrogen oxide</i>	1
<i>Perchloroethylene (PCE)</i>	Recalcitrant		
Amines	3	Ketones	3
Nitriles	1	Sulfur containing Compounds	1-2
Alcohols	3	Terpenes	1-2

Note: 1 = Some Biodegradability; 2 = Moderate Biodegradability; 3 = Good Biodegradability

Sumber: Govind, 1999

Selain kelebihan, biofilter juga memiliki beberapa kekurangan. Beberapa kekurangan tersebut antara lain adalah:

- ✓ Beberapa senyawa yang memiliki daya adsorpsi ataupun laju degradasi yang lambat tidak dapat dibiodegradasikan secara sempurna, misalnya senyawa-senyawa VOC yang mengandung klorin.
- ✓ Gas polutan dengan emisi senyawa kimia tinggi membutuhkan unit biofilter besar atau area terbuka untuk menginstalasi sistem biofiltrasi.
- ✓ Gas polutan dengan emisi yang sering berfluktuasi dapat menyebabkan kerusakan pada populasi mikroba biofilter dan kinerja keseluruhan.
- ✓ Adanya periode aklimasi pada populasi mikroba selama berminggu-minggu atau bahkan berbulan-bulan, terutama saat kontaminan adalah VOC.
- ✓ Kriteria desainnya masih dalam perkembangan dan *packing media*-nya masih harus diganti setelah beberapa waktu (Datta & Allen, 2005).
- ✓ Biofilter yang mengandung konsentrasi mikroorganisme dalam jumlah yang tinggi dapat melepaskan mikroorganisme tersebut ke atmosfer (Martens et.al., 2001)

2.1.2 Parameter yang Mempengaruhi Kinerja Biofiltrasi

Parameter-parameter, seperti medium filter, kandungan kelembaban, temperatur, kandungan oksigen, nutrisi, pH, *pressure drop*, kedalaman medium filter, serta mikrobiologi pada biofilter, merupakan parameter-parameter yang harus dijaga atau dikontrol agar didapatkan efisiensi reduksi yang optimum. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing parameter tersebut.

➤ **Medium Filter**

Dalam biofiltrasi, medium filter merupakan salah satu komponen terpenting yang harus dipertimbangkan dengan matang dalam pemilihannya. Sebagaimana yang diketahui bahwa reduksi yang terjadi di dalam kolom biofilter adalah akibat adanya aktifitas mikroorganisme pada medium filter. Dengan memilih medium filter yang tepat, maka aktifitas mikroorganisme dalam mereduksi kontaminan pun akan optimal. Hirai et al. (2005) mengatakan bahwa pemilihan medium filter sebagai tempat hidup mikroorganisme merupakan hal yang sangat penting untuk mendukung kehidupan mikroorganisme (Noviani, 2009). Shareefdeen dan Singh (2005) menyatakan medium filter yang umum digunakan untuk biofiltrasi antara lain kompos, *peat*, serbuk kayu, tanah, dll (Filayuri, 2009).

➤ **Kelembaban**

Van Lith et al. (1997) dalam jurnalnya menyatakan bahwa *moisture* atau kelembaban sangat penting untuk menjaga kelangsungan hidup mikroorganisme serta turut memberikan kontribusi pada kapasitas *buffer filter* (Noviani, 2009). Kelembaban yang tepat dapat membuat mikroorganisme yang hidup di medium filter hidup dan berkembang dengan baik, sehingga efisiensi reduksi polutan akan meningkat. Jika kelembaban di atas batas (tinggi), maka molekul-molekul air yang terkandung di dalam medium filter tersebut justru akan menghalangi laju polutan untuk masuk ke dalam pori medium untuk direduksi, menciptakan zona anaerobik, adanya tekanan balik akibat berkurangnya ruang kosong, serta *gas channeling* dalam medium filter. Sebaliknya, jika kelembaban di bawah batas (rendah) maka mikroorganisme yang bertugas untuk mereduksi polutan akan berkurang sehingga laju biodegradasi polutan pun akan menurun. Selain itu,

kurangnya kelembaban juga akan mengakibatkan medium filter menjadi kering dan menimbulkan celah sehingga dapat menimbulkan *channeling*. Kelembaban yang efektif pada biofiltrasi berkisar antara 50%-70% dengan suhu berkisar antara 15-35 °C (Janni dan Nicolai et al., 2000). Adapun kelembaban yang direkomendasikan oleh Van Lith et al. (1997) untuk media filter organik berkisar antara 40-60% (berdasarkan berat) (Noviani, 2009).

➤ **Temperatur**

Wani et al. (1997) menyatakan temperatur merupakan salah satu variabel penting dalam menentukan laju pertumbuhan mikrobial dan jenis spesies dalam komunitas mikrobial (Mei Linda, 2010). Terdapat beberapa jenis mikrobial yang mampu untuk hidup pada rentang temperatur mesofilik (20⁰C – 45⁰C), tetapi ada juga mikrobial yang justru mampu hidup pada temperatur termofilik (45⁰C – 75⁰C) bahkan pada temperatur minus (di bawah 0⁰C) seperti pada biofiltrasi gas-gas belerang dan *terpenes*.

Temperatur pada kolom biofilter dipengaruhi oleh dua faktor utama, yakni temperatur udara polutan yang masuk dan panas yang dihasilkan dari aktifitas mikroorganisme (Corsi & Seed, 1995). Berdasarkan McNevin & Barford (2000) didapatkan bahwa seiring meningkatnya temperatur, metabolisme dan laju pertumbuhan sel juga meningkat, akan tetapi kemampuan biosorpsi menurun (Filayuri, 2009). Oleh sebab itu, kedua faktor ini haruslah diperhitungkan terlebih dahulu sebelum biofiltrasi dilakukan agar didapatkan kinerja biofiltrasi yang optimum.

➤ **Kandungan Oksigen**

Oksigen merupakan suatu parameter operasi yang sangat penting bagi biofiltrasi karena kebanyakan mikroorganisme yang digunakan dalam biofiltrasi bersifat aerobik dan membutuhkan oksigen untuk metabolisme. Dharmvaram (1991) menyatakan bahwa bakteri heterotrofik aerobik yang ada dalam medium filter membutuhkan paling sedikit 5 - 15% oksigen pada aliran gas masukan untuk bertahan hidup (Filayuri, 2009). Namun, dikarenakan jumlah oksigen yang terkandung dalam aliran udara masukan cukup besar dan relatif sedikit pada

biofilm, parameter kandungan oksigen ini tidak menjadi permasalahan dalam upaya optimalisasi kinerja biofiltrasi.

➤ ***Pressure Drop***

Pressure drop pada biofiltrasi merupakan salah satu hal yang tidak diinginkan. Semakin tinggi *pressure drop* suatu sistem biofiltrasi, maka biodegradasi polutan yang terjadi pun akan semakin menurun. Hal ini disebabkan menurunnya jumlah ruang kosong pada medium filter akibat air atau kelembaban yang berlebih, maupun pemadatan (kompaksi) medium filter. Terdapat beberapa faktor yang menentukan kemudahan atau kemungkinan untuk terjadinya *pressure drop*. Faktor-faktor tersebut antara lain ialah jenis medium filter, kelembaban, dan laju alir udara.

Medium filter yang berasal dari tanah mempunyai *pressure drop* yang paling tinggi, kemudian menyusul kompos, *peat* dan serpihan/ kulit kayu. Semakin kecil partikel maka akan semakin besar kemungkinan untuk terjadinya *pressure drop*, terutama untuk partikel dengan ukuran kurang dari 1 mm.

➤ **pH**

Kisaran nilai pH untuk setiap medium filter tidaklah sama. Hal ini dikarenakan mikroorganisme yang hidup di dalam medium filter tersebut memiliki rentang pH yang berbeda untuk jenis medium filter yang berbeda. Oleh sebab itu, terkadang pH dapat menjadi sangat sensitif dalam mendukung aktifitas suatu mikroorganisme. Setelah mengalami biofiltrasi, medium filter biasanya mengalami penurunan pH (pengasaman). Biodegradasi oleh mikroorganisme yang umumnya menyebabkan kondisi asam tersebut, sehingga terkadang perlu ditambahkan terlebih dahulu larutan *buffer* pada saat memulai biofiltrasi dan mengganti medium filter tersebut jika larutan *buffer* habis.

➤ **Nutrisi**

Mikroba memerlukan makanan dengan nutrisi seimbang untuk dapat bertahan hidup dan berkembang biak. Kandungan nutrisi yang baik harus tersedia, agar diperoleh performa yang baik dari biofilter. Oleh karena itu, selain karbon

dan energi dari degradasi kontaminan, mikroba juga memerlukan nutrisi utama untuk memperpanjang hidup. Menurut Auria et al. (1996), karbon dan energi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dapat berasal dari gas kontaminan, sementara kontaminan lainnya seperti nitrogen, fosfor, mineral, dan *trace element* harus disediakan untuk mikroorganisme dalam biofilter agar didapatkan kinerja yang baik (Filayuri, 2009).

➤ **Kedalaman Medium Filter**

Kedalaman medium filter memiliki rentang antara 0,5 hingga 2,5 meter. Akan tetapi, kedalaman yang umum digunakan ialah sebesar 1 meter. Menurut Shareefdeen et al. (2005), pada kedalaman ini medium filter menyediakan waktu tinggal yang cukup pada saat meminimalkan kebutuhan luas area medium filter. Penggunaan kedalaman yang lebih tinggi untuk menghasilkan laju *loading* yang tinggi juga dapat digunakan. Pernyataan ini serupa dengan hasil penelitian Yang et al (2007) yang menyatakan bahwa posisi kolom yang semakin tinggi dapat menghasilkan performansi reduksi yang lebih baik. Namun, perlu diketahui pula dengan memperpanjang atau meninggikan kolom akan meningkatkan *headloss* pada sistem. Selain itu, peningkatan kedalaman medium filter juga berpotensi membuat medium filter pada bagian paling bawah menjadi padat (kompaksi). Hal ini dikarenakan dalam biofiltrasi terjadi absorpsi kelembaban dari gas keluaran, yang mana diketahui bahwa gas keluaran dari biofiltrasi biasanya bersifat *saturated* (Pagans, 2005). Akibat kompaksi pada bagian bawah kolom biofilter *pressure drop* yang timbul akan meningkat sehingga mengganggu efisiensi reduksi atau kinerja biofilter, sebagaimana yang disebutkan dalam penelitian Noviani (2009).

➤ **Mikrobiologi pada Biofilter**

Diperkirakan terdapat 1 milyar mikroorganisme yang merupakan populasi dari mikroba dalam biofilter pada setiap gram material organik (Bohn, 1992). Ottengraf (1987) menyatakan bahwa beberapa kelompok mikroorganisme yang diketahui tergolong mikroorganisme pereduksi polutan udara pada biofilter, termasuk bakteri, *actinomycetes* dan jamur (Filayuri, 2009). Umumnya kelompok

bakteri yang terkandung dalam kompos atau *peat* dalam mereduksi polutan adalah spesies dari genus *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Sphingomonas*, *Xanthomonas*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus*, *Xanthobacter*, *Clostridium* dan *Enterobacter* (Kennes & Veiga, 2001). Lesson dan Winter (1991) menyatakan mikroorganisme dapat hidup dalam waktu yang cukup lama jika biofilter tidak digunakan yaitu hingga 2 bulan, jika nutrisi yang cukup tersedia dari medium filter (Filayuri, 2009).

2.2 Pelet Kompos berbasis kotoran kambing

Pengomposan 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). Bahan organik yang dapat digunakan dalam kompos dapat berasal dari limbah/hasil pertanian dan non-pertanian (limbah kota dan limbah industri) (Kurnia et al., 2001). Limbah yang berasal dari hasil pertanian antara lain berupa sisa tanaman (jerami dan brangkasan), sisa hasil pertanian (sekam padi, kulit kacang tanah, ampas tebu, dan belotong), pupuk kandang (kotoran sapi, kerbau, ayam, itik, dan kuda), dan pupuk hijau. Sedangkan limbah kota atau sampah organik kota biasanya dikumpulkan dari pasar-pasar atau sampah rumah tangga dari daerah pemukiman serta taman-taman kota. Limbah industri yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan organik dalam kompos antara lain limbah industri pangan.

Pemilihan kompos berbasis kotoran kambing sebagai bahan organik pupuk sekaligus sebagai medium filter pada biofilter dikarenakan atas beberapa alasan berikut :

1. Memiliki kandungan nutrisi yang lebih banyak dibandingkan dengan kompos berbasis kotoran sapi (**Tabel 2.2**). Nutrisi yang cukup banyak ini akan membantu perkembangan mikroorganisme yang dibutuhkan untuk perkembangan tanaman (Arisha et al., 2003).

Tabel 2.2 Kandungan kompos berbasis kotoran kambing dan kompos berbasis kotoran sapi

Parameter	Kompos berbasis kotoran kambing (%berat kering)	Kompos berbasis kotoran sapi (%berat kering)	Metode
Karbon Organik (C)	30,17	15,39	SNI 02-2803-2000
Nitrogen (N)	1,73	1,19	957.02* 958.01*
Fosfor (P) dalam P₂O₅	2,57	1,7	965.09*
Kalium (K) dalam K₂O	1,56	0,59	973.57*
Sulfur (S)	0,34	0,18	Kurmies

Sumber: Noviani, 2009

2. Sebagai pupuk organik, kompos berbasis kotoran kambing memiliki kemampuan untuk memperbaiki sifat fisik (Arisha, 2003 ; Wiskandar, 2002 ; Scholes et al., 1994 ; Stevenson, 1982), kimia (Suntoro, 2001 ; Sufardi et al., 1999 ; Cahyani, 1996), dan biologis tanah (Tian G., 1997). Perbaikan media tempat tumbuh tanaman ini akan berdampak pada pertumbuhan yang optimum bagi tanaman.
3. Lingga (1991) menyatakan bahwa kompos kambing memiliki kandungan air yang cukup, yakni sebesar 60% (w/w). Sebagaimana yang kita ketahui, Van Lith et al. (1997) menyatakan bahwa kelembaban yang direkomendasikan untuk medium filter organik berkisar antara 40-60% (Noviani, 2009).

Meskipun begitu, kompos dalam bentuk curah memiliki beberapa kekurangan. Dari sisi fungsinya sebagai pupuk organik kekurangan-kekurangan kompos berbasis kotoran kambing dalam bentuk curah antara lain:

- ✓ Kompos berbasis kotoran kambing menjadi lebih cepat kering dan mudah tersapu oleh hembusan angin sehingga sulit untuk diaplikasikan (Suriadikarta dan Setyorini, 2005).

- ✓ Dapat menimbulkan debu (Masayuki Hara, 2001). Terutama untuk Indonesia yang memiliki intensitas sinar matahari yang sangat tinggi, sehingga mudah menyebabkan pupuk menjadi kering dan tersapu angin. Hal ini tentunya juga menjadikan penggunaan pupuk menjadi kurang ekonomis.
- ✓ Tidak efisien dalam pengangkutan dan penyimpanan karena memiliki volum yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan bentuk pelet (Masayuki Hara, 2001) atau pun bentuk granul.

Berdasarkan pemaparan di atas, salah satu solusi yang ditawarkan ialah dengan mengubah kompos dari berbentuk curah ke berbentuk pelet. Menurut Masayuki Hara (2001), kompos yang berbentuk pelet memiliki beberapa kelebihan yang mampu menutupi kekurangan dari kompos berbasis kotoran kambing yang berbentuk curah, yaitu:

- ✓ Efektif dalam model transportasi jarak jauh dan penyimpanan. Hal ini dikarenakan terjadinya pengurangan volum yang signifikan setelah proses *pelletizing*. Volum pelet berukuran 5 mm menjadi 50-80% dari volum awal.
- ✓ Dapat diaplikasikan di dekat pemukiman penduduk karena kompos berbentuk pelet tidak menghasilkan atau menimbulkan debu.
- ✓ Proses peluruhan kompos pelet lebih lama dibandingkan dengan kompos curah (*slow release*). Oleh karena itu, jika kompos yang digunakan belum matang maka efek terhadap tanaman akibat dari dekomposisi material organik yang mudah terdekomposisi akan terbatas. Proses peluruhan yang lebih lama (atau bertahap) ini juga mencegah overdosisnya tanaman terhadap pelepasan nutrisi yang mendadak (*fertilizer burn*).
- ✓ Kompos pelet mengalami peluruhan dan melepaskan nitrogen nitrat beberapa minggu setelah kompos curah. Hal ini membuat kondisi anaerobik dipertahankan dalam pelet sehingga nitrifikasi meningkat.

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa kompos berbasis kotoran kambing dalam bentuk pelet lebih cocok untuk diaplikasikan sebagai pupuk organik dibandingkan dengan bentuk curah.

2.3 Zat Perekat (*Binder*)

Perekat merupakan salah satu faktor terpenting dalam proses *pelletizing*. Fungsi dari perekat dalam *pelletizing* adalah untuk meningkatkan kekompakan bahan yang hendak dibuat pelet. Pemilihan dan penggunaan jumlah perekat dalam pembuatan pelet perlu diperhatikan. Jika terlalu sedikit digunakan, pelet yang dihasilkan tidak sempurna atau mudah pecah. Sebaliknya, jika terlalu banyak digunakan maka pori-pori bahan pelet akan tertutup. Berikut merupakan jenis-jenis bahan perekat yang umum digunakan:

- Perekat yang berupa gula dan polimer.
- Perekat yang berupa polimer alam: *starch* (amilum) dan *gum* (*acacia*, *tragacanth*, *gelatin*).
- Perekat yang berupa polimer sintetik: PVP, metilselulosa, etilselulosa, dan hidroksipropilselulosa.

Dari bahan-bahan di atas, amilum merupakan salah jenis perekat alami yang umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Amilum, $(C_6H_{10}O_5)_n$, merupakan cadangan makanan utama bagi tumbuhan dan dua per tiga bagian dari kalori karbohidrat yang dibutuhkan oleh kebanyakan manusia. Ketersediaannya yang banyak dipasaran (meliputi gandum, jagung, beras, kentang, dan lain-lainnya), kemudahan dalam penggunaannya, serta daya rekatnya yang telah terbukti (sebagai perekat pada pelet pakan ternak, amplop, perangko, dan lain sebagainya) membuat penggunaan amilum kian diminati. Akan tetapi, amilum juga memiliki kekurangan berupa sifat alir dan kompresibilitasnya yang kurang baik sehingga dibuat amilum pregelatinasi (Bolhuis dan Chouhan, 1996).

2.3.1 Amilum Pregelatinasi

Amilum pregelatinasi merupakan pati amilum yang dibuat menjadi pati pregelatinasi dengan cara memanaskan suspensi pati hingga suhu gelatinasi kemudian didinginkan. Pada umumnya amilum yang normal memiliki dua tipe polimer *D-glucoopyranose*, yakni amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer dari unit α -*D-glucoopyranosyl* yang sebagian besarnya terdiri atas rantai

lurus. Amilosa ini bersifat tidak larut dalam air dingin, mengembang pada suhu tinggi, dan kurang lekat. Adapun amilopektin merupakan polimer berantai cabang dari unit α -D-*glucopyranosyl*. Rasio dari amilosa-amilopektin inilah nantinya yang akan mempengaruhi sifat dari pati itu sendiri. **Tabel 2.3** merupakan kandungan amilosa dan amilopeptin pada beberapa sumber pati.

Tabel 2.3 Karakteristik beberapa pati

Jenis Pati	Bentuk Granula	Ukuran Granula (mikron)	Kandungan Amilosa/Amilopektin	Range Suhu Gelatinasi ($^{\circ}$ 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)

Granula amilum yang tidak rusak memiliki sifat yang sukar larut dalam air dingin, tetapi mampu menyerap air dengan sedikit pengembangan yang *reversible*. Sedangkan pada air panas, granula dapat mengembang secara *irreversible* sehingga membentuk gelatin. Hal ini disebabkan pada temperatur tertentu (temperatur gelatinasi), energi kinetik molekul lebih kuat dibandingkan ikatan hidrogen pada granul sehingga menyebabkan ruang dalam granul pecah dan mengembang (*Encyclopedia of Chemical Technology 4th Edition*, vol. 22). Granula pati yang mengembang tersebut cenderung saling berkaitan membentuk gel (Meyer, 1961). Rentang temperatur yang disajikan merupakan temperatur awal dimana granul-granul mulai mengembang hingga akhirnya 100% tergelatinasi.

2.4 Karakterisasi Pupuk Organik

Pada umumnya, karakterisasi suatu pupuk di Indonesia untuk digunakan sebagai nutrisi tambahan bagi tanah (penyubur) hanya terdiri atas kandungan nutrisi saja. Hal ini terlihat dari maraknya penempelan label kandungan nutrisi pada kemasan pupuk yang dijual di pasaran. Akan tetapi, hal ini kurang memadai karena konsumen perlu mengetahui kandungan logam pada pupuk tersebut dan apakah pupuk tersebut telah layak (matang) untuk digunakan. Oleh sebab itu karakterisasi yang dilakukan tidak hanya berupa karakterisasi kimia, tetapi juga karakterisasi fisik dan kematangan. Karakterisasi kematangan merupakan karakterisasi yang umum dilakukan oleh Negara-negara Barat selain karakterisasi kimia. Berikut merupakan beberapa pengujian pada masing-masing kelompok besar karakterisasi beserta dengan penjelasannya.

2.4.1 Karakterisasi Sifat Fisik

Karakterisasi sifat fisik dari suatu material merupakan sifat-sifat yang mewakili material yang tersebut. Untuk dapat memilih dan merancang suatu sistem yang tepat, serta menggunakan peralatan yang tepat baik untuk penyimpanan maupun sebagai kontrol maka butuh pemahaman sifat-sifat fisik dengan baik. Berikut merupakan penjelasan dari beberapa sifat fisik yang dinilai penting untuk diketahui.

➤ pH

pH merupakan nilai tingkat keasaman. Dalam dunia pupuk nilai pH memiliki peran yang sangat penting karena berkaitan langsung dengan keberlangsungan hidup atas tanaman. Semakin kecil nilai pH yang terukur maka semakin tidak bagus pupuk tersebut untuk digunakan sebagai penyubur tanaman. pH yang tinggi (kecil) akan mengakibatkan kerusakan tanaman dan tanah tempat pupuk tersebut digunakan, bahkan dapat menyebabkan tanaman tersebut mati. Akan tetapi, pH yang bernilai besar (basa) juga tidak baik bagi tanaman karena dapat menyebabkan terserapnya logam tertentu (misalnya logam kadmium) ke dalam tanaman. Penyerapan Cd akan tinggi pada pH rendah dan menurun pada pH tinggi (Charlena, 2004). Rentang pH yang diperbolehkan sebagai penyubur tanaman bermacam-macam, tergantung kebijakan negara masing-masing. Untuk

Indonesia hingga saat ini belum ada ketentuan resmi (SNI) dari pemerintah, tetapi berdasarkan hasil pembahasan para pakar lingkup Puslitbangtanak, Direktorat Pupuk dan Pestisida, IPB Jurusan Tanah, Depperindag, serta Asosiasi Pengusaha Pupuk dan Pengguna didapatkan bahwa pH yang diperbolehkan untuk pupuk padat berkisar antara 4 hingga 8.

➤ **Kandungan Air (*Water Content/ WC*)**

Kadar air untuk pelet adalah $\leq 14\%$. Hal ini disesuaikan dengan standarisasi pelet untuk pakan ternak. Kadar air yang berlebihan akan menyebabkan lamanya waktu penyimpanan menjadi lebih singkat dibandingkan dengan yang seharusnya dan ongkos pengirimannya pun menjadi lebih mahal karena berat yang bertambah akibat kandungan air yang meningkat. Selain itu, juga dapat menyebabkan rongga udara tempat fasa gas untuk bereaksi dengan biofilm menjadi berkurang sehingga efektifitasnya pun akan menurun. Namun, kadar air yang terlalu sedikit juga tidak baik karena dapat membunuh mikroorganisme yang terdapat di dalam pupuk. Sebagaimana yang dinyatakan oleh Van Lith et al. (1997) bahwa kelembaban sangat penting untuk menjaga kelangsungan hidup mikroorganisme serta turut memberikan kontribusi pada kapasitas *buffer filter*.

➤ **Kapasitas Retensi Kelembaban (*Moisture Retention Capacity/MRC*)**

Kapasitas retensi kelembaban merupakan kemampuan pupuk pelet untuk menyerap air kembali setelah dikeringkan (Gaudin, dkk.,2008). Pengukuran kapasitas retensi kelembaban menjadi penting untuk dilakukan mengingat Indonesia yang memiliki hujan yang cukup lebat dan sering, serta sistem pengairan lahan pertanian yang menggunakan sistem irigasi. Semakin besar nilai kapasitas retensi kelembaban yang dimiliki oleh suatu pupuk berbentuk pelet, maka semakin bagus pula ketahanan pelet tersebut.

➤ **Densitas**

Densitas digunakan untuk mengetahui kekompakan dan tekstur bahan. Bahan dengan tekstur yang kompak akan tahan terhadap proses penekanan

sehingga ikatan antara partikel penyusun pelet menjadi kuat dan ruang antara partikel penyusun pelet menjadi lebih rapat (tidak terisi rongga udara). Salah satu contoh dari pengaruh densitas adalah pembuatan pelet. McEllhiney (1994) menyatakan bahwa dua faktor yang mempengaruhi ketahanan serta sifat pelet yaitu karakteristik bahan dan ukuran partikel. Pernyataan ini juga diperkuat pendapat Balago et al. (1988) bahwa ukuran partikel yang kecil akan menyebabkan pelet semakin kuat.

➤ **Porositas**

Porositas adalah persentase total volum wadah yang ditempati oleh udara saat partikulat padatan ditempatkan pada sebuah wadah. Semakin besar nilai porositas dari suatu material, maka semakin poros atau mudah dilalui oleh gas material tersebut. Pembuatan pelet pada medium filter berupa kompos berbasis kotoran kambing dilakukan dengan tujuan agar porositas dari medium filter tidak berkurang secara signifikan selama biofiltrasi berlangsung. Dengan adanya ikatan yang kuat antar partikel kompos dengan bahan perekat, diharapkan geometri dari kompos berbasis kotoran kambing tersebut tidak berubah banyak sehingga efisiensi reduksi polutan dapat dipertahankan hingga akhir biofiltrasi. Berbeda dengan kompos berbasis kotoran kambing yang berbentuk ruah. Pada mulanya medium filter tersebut memang memiliki porositas yang tinggi, namun seiring dengan meningkatnya kelembaban dalam kolom biofilter akibat absorpsi gas polutan porositas pun akan berkurang.

➤ **Durabilitas**

Durabilitas merupakan jumlah pelet yang masih utuh setelah diaduk dengan mekanik. Definisi lain menjelaskan bahwa durabilitas pelet adalah ketahanan partikel pelet yang dirumuskan sehingga persentase dari banyaknya pelet utuh setelah melalui perlakuan fisik dalam alat uji durabilitas terhadap jumlah pelet semula sebelum dimasukkan ke dalam alat. Nilai durabilitas dari pelet sangat dipengaruhi oleh penggunaan bahan baku dan teknis operasional pelet *mill*. Penggunaan bahan baku yang dimaksud di atas ialah formulasi antara bahan yang akan dibuat pelet dengan perekat yang digunakan (pati tergelatinasi) dan

keseragaman ukurannya. Dengan teknis operasional pencetakan yang tepat, maka perpaduan tekanan steam dan pemanasan, serta pati yang tergelatinasi dengan baik akan menghasilkan pelet dengan durabilitas yang tinggi. Tabil dan Sokhansanj (1996), serta Adapa et al. (2003) menyatakan bahwa durabilitas dinilai tinggi saat hasil perhitungan menunjukkan nilai lebih dari 80%, medium saat antara 70-80%, dan rendah saat kurang dari 70% (Colley, Fasina, Bransby, & Lee, 2006).

2.4.2 Karakterisasi Sifat Kimia

Karakterisasi sifat kimia dari suatu pupuk organik terdiri atas identifikasi kandungan nutrisi dan logam yang terkandung di dalamnya. Baik identifikasi kandungan nutrisi maupun logam menjadi penting untuk dilakukan mengingat keduanya memiliki peluang terserap oleh akar tanaman yang nantinya akan dikonsumsi oleh manusia.

➤ **Kandungan Nutrisi**

Kandungan nutrisi dibutuhkan tanaman dalam menunjang kehidupannya. Menurut wikipedia (2010), kandungan nutrisi terbagi dalam 3 kelompok, yaitu *primary macronutrients* (nitrogen, fosfor, and kalium), *secondary micronutrients* (kalsium (Ca), sulfur (S), magnesium (Mg)), *macronutrient Silicon* (Si), dan *micronutrients or trace minerals*: boron (B), chlorine (Cl), manganese (Mn), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), molybdenum (Mo) selenium (Se), and sodium (Na). Nitrogen, fosfor, dan kalium menjadi kelompok nutrisi yang paling utama dalam pupuk karena fungsinya yang mendukung pertumbuhan tanaman. Kandungan nitrogen dalam pupuk akan mendukung pertumbuhan batang dan daun tanaman, sedangkan fosfor merupakan komponen vital yang dibutuhkan tumbuhan untuk perkecambahan, memiliki sistem perakaran yang kuat, resistensi terhadap penyakit, serta pembentukan buah dan bunga. Adapun kalium bermanfaat membantu tanaman untuk memproduksi amilum, karbohidrat, gula, dan protein. Selain itu, kalium juga memperkuat sistem pertahanan (*immune sistem*) tanaman, memperkuat batang, memproteksi dari udara dingin, cadangan air, dan pematangan buah. Meskipun *secondary micronutrients*, *macronutrient Silicon* (Si), dan *micronutrients or trace minerals* bukanlah komponen utama yang diperlukan oleh tanaman untuk dapat tumbuh, tetapi kandungan komponen dari

kedua kelompok tersebut pada pupuk turut mempengaruhi keasaman dari pupuk dan pada akhirnya akan mempengaruhi keasamaan tanah juga.

Selain komponen-komponen yang telah disebutkan di atas, terdapat komponen lain yang sangat penting, yaitu komponen karbon (C). Karbon memang bukanlah komponen utama dalam pertumbuhan, namun peran karbon sama pentingnya dengan komponen-komponen utama (nitrogen, fosfor, dan kalium). Hal ini disebabkan karbon (bersama-sama dengan nitrogen) merupakan komponen yang digunakan mikroorganisme untuk metabolisme. Mikroorganisme memerlukan sekitar 30 bagian karbon terhadap setiap bagian nitrogen untuk metabolisme, dimana sekitar 20 bagian dari karbon tersebut dioksidasi menjadi CO₂ (ATP) dan 10 bagian lagi digunakan untuk mensintesis protoplasma untuk berkembang biak (Noviani, 2009).

➤ **Kandungan Logam**

Menurut Arnold (1990), logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 g/cm³, antara lain Cd, Hg, Pb, Zn, dan Ni. Sumber-sumber dari logam berat tersebut antara lain berasal dari bahan agrokimia (pupuk dan pestisida), asap kendaraan bermotor, bahan bakar minyak, pupuk organik, buangan limbah rumah tangga, industri, dan pertambangan. Logam berat dalam tanah pada prinsipnya berada dalam bentuk bebas (mobil) maupun tidak bebas (immobil). Dalam keadaan bebas, logam berat dapat bersifat racun dan terserap oleh tanaman, sedangkan dalam bentuk tidak bebas dapat berikatan dengan hara, bahan organik, ataupun anorganik lainnya. Dengan kondisi tersebut, logam berat selain akan mempengaruhi ketersediaan hara tanaman juga dapat mengkontaminasi hasil tanaman. Jika logam berat memasuki lingkungan tanah, maka akan terjadi keseimbangan dalam tanah, kemudian akan terserap oleh tanaman melalui akar, dan selanjutnya akan terdistribusi kebagian tanaman lainnya. Menurut Subowo et al. (1999) adanya logam berat dalam tanah pertanian dapat menurunkan produktifitas pertanian dan kualitas hasil pertanian selain dapat membahayakan kesehatan manusia melalui konsumsi pangan yang dihasilkan dari tanah yang tercemar logam berat tersebut (Charlena, 2004). Moshman (1997) mengungkapkan bahwa akumulasi logam berat Pb pada tubuh manusia yang terus

menerus dapat mengakibatkan anemia, kemandulan, penyakit ginjal, kerusakan syaraf dan kematian (Charlena, 2004).

2.4.3 Karakterisasi Kematangan Pupuk

Kestabilan dan kematangan pupuk merupakan dua hal yang berbeda, tetapi saling terikat satu sama lainnya. Kestabilan dari suatu pupuk mencerminkan tahapan atau dekomposisi material organik, yang mana berhubungan dengan komponen organik yang belum terdekomposisi dan resultan aktifitas biologi pada material. Adapun kematangan dari pupuk merupakan tingkat penyelesaian dari proses pengomposan. Kompos yang belum matang cenderung memiliki temperatur tidak stabil. Hal ini dikarenakan masih berjalannya aktifitas mikroorganisme yang bersifat eksotermis dalam mendekomposisikan material organik pada kompos. Oleh sebab itu, untuk menentukan kematangan dari suatu kompos perlu dilakukan minimal dua pengujian dari kelompok yang berbeda (satu dari grup A dan satu dari grup B). Kelompok yang pertama (Grup A) merupakan kelompok (uji) yang mewakili pengujian kestabilan kompos, sedangkan kelompok ke dua (Grup B) merupakan kelompok yang mewakili kematangan kompos.

Tabel 2.4 Uji kematangan kompos berdasarkan CCQC

Grup A	Grup B
<i>CO₂ evolution</i>	Rasio Ammonium: Nitrat
<i>O₂ uptake</i>	Konsentrasi Amonia
<i>Dewar Self Heating</i>	VOA (<i>Volatile Organic Acids</i>)
	<i>Plant Test</i>

Sumber: CCQC (2001)

Pemilihan pengujian dari masing-masing grup didasarkan atas kebijakan negara masing-masing. Pengujian kematangan dari pupuk ini sendiri baru umum dilakukan oleh negara-negara barat semenjak tahun 2000an. Nilai yang ditetapkan pun berbeda untuk setiap negara. Sebagai contoh nilai pengujian *Dewar Self Heating* yang ditetapkan oleh CCQC (*California Compost Quality Council*) untuk kategori matang ialah kurang dari 20⁰C, tetapi CCME (*Canadian Council of*

Ministers of the Environment) menetapkan nilai kurang dari 8⁰C sebagai batas suatu kompos dinyatakan matang. Untuk Indonesia sendiri belum terdapat regulasi yang mencantumkan jenis pengujian yang digunakan maupun standar nilai yang ditetapkan.

2.4.4 Karakterisasi Mikroba

Karakteristik mikroba pada pupuk kompos dilakukan demi menjamin konsumen akan kebersihan dari produk pertanian yang dihasilkan. Hampir seluruh Negara di Eropa memasukkan pengujian mikroba ini sebagai salah satu standar kualitas kompos yang dihasilkan. *Escherichia coli*, *Fecal coliforms*, *Salmonella sp* merupakan mikroba-mikroba yang dianggap mewakili karakter kebersihan yang dimaksud. Jenis mikroba yang diuji ini pada umumnya sama untuk setiap Negara, hanya nilai batas nilai yang diperbolehkannya saja yang berbeda. Hongkong menetapkan bahwa jumlah *Salmonella sp* yang diijinkan $\leq 3\text{MPN}/4\text{g}$ dan *E. coli* $\leq 1000\text{MPN}/\text{g}$. Adapun Canada menetapkan dua standar, yang pertama untuk kompos kandang dan yang kedua untuk kompos dari sampah organik. Standar untuk kompos kandang adalah *Fecal coliforms* $< 1000\text{MPN}/\text{g}$ dan tidak terdapat *Salmonella sp* untuk $< 3\text{MPN}/4\text{g}$, sedangkan untuk standar kompos sampah organik ialah *Fecal coliforms* $< 1000\text{MPN}/\text{g}$ atau tidak terdapat *Salmonella sp* untuk $< 3\text{MPN}/4\text{g}$. Indonesia sendiri memiliki penetapan mengenai jenis mikroba yang hendak di uji (*Salmonella sp.* dan *E. coli*), tetapi tidak menetapkan nilai batasnya atau hanya sekedar dicantumkan saja (Suriadikarta & Setyorini, 2005).

2.5 State of The Art

Berbagai penelitian mengenai biofiltrasi dengan berbagai jenis dan macam bentuk medium filter telah dilakukan dengan berbagai macam kontaminan. Berikut merupakan penjelasan singkat mengenai penelitian-penelitian tersebut.

2.5.1 Biofiltrasi dengan Medium Filter Berupa Pelet

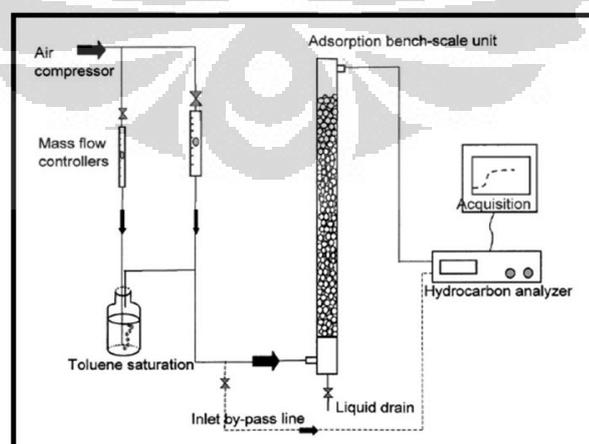
2.5.1.1 Biofiltrasi dengan Medium Filter Pelet Alami

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari diameter pelet yang digunakan dalam proses biofiltrasi dan dilakukan oleh Marie-Caroline

Delhomenie, Louise Bibeau, dan Michele Heitz (2002). Adapun medium filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelet kompos dan 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 $2\text{--}3\text{ g of NI}^{-1}$. Tujuan kedua dari penelitian ini adalah untuk mengetahui adsorpsi isoterm pada toluena dengan menggunakan filter bed yang basah. Penelitian ini menggunakan persamaan Langmuir. Konsentrasi toluena masukan adalah antara $0\text{--}3,2\text{ g m}^{-3}$.

Pengaruh diameter pelet yang digunakan dalam proses biofiltrasi merupakan faktor penting yang akan menentukan kemampuan degradasi dari sistem biofilter. Jika diameter pelet yang digunakan terlalu kecil, maka luas permukaannya sangat besar, akan tetapi akan menciptakan beberapa resistansi terhadap aliran gas. Jika diameter pelet terlalu besar, maka akan menurunkan kemampuan degradasi mikroba. Ukuran partikel yang digunakan merupakan faktor yang lebih penting daripada aliran gas yang digunakan dalam proses biofiltrasi (Aduand Otten, 1996). Diameter pelet yang kecil dapat meminimalkan *pressure drop* yang terjadi dalam kolom filter (Eitner dan Genthke, 1987 ; Leson dan Winer, 1991).

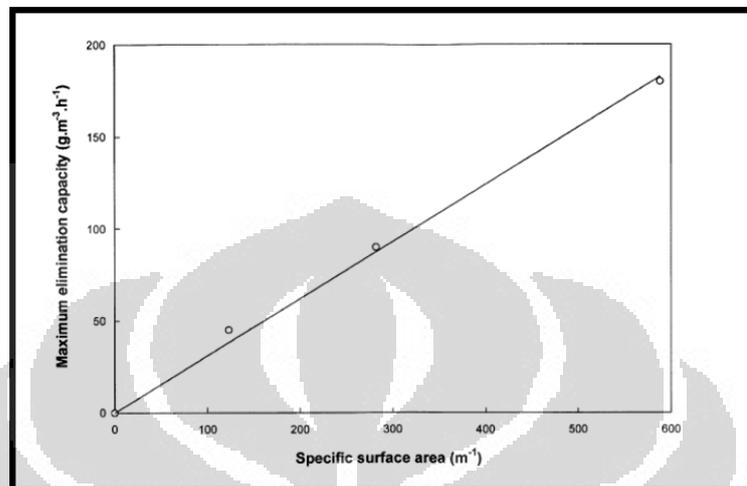
Medium filter yang digunakan berupa kompos dengan adanya bahan perekat, dengan rasio kompos (90% v/v) dan bahan perekat (10% v/v). Performansi biofilter yang terbaik dapat dilihat dari nilai EC (*Elimination Capacity*) dan PCO_2 (*Production CO}_2*). **Gambar 2.4** merupakan rancangan sistem biofilter yang digunakan dalam penelitian ini.



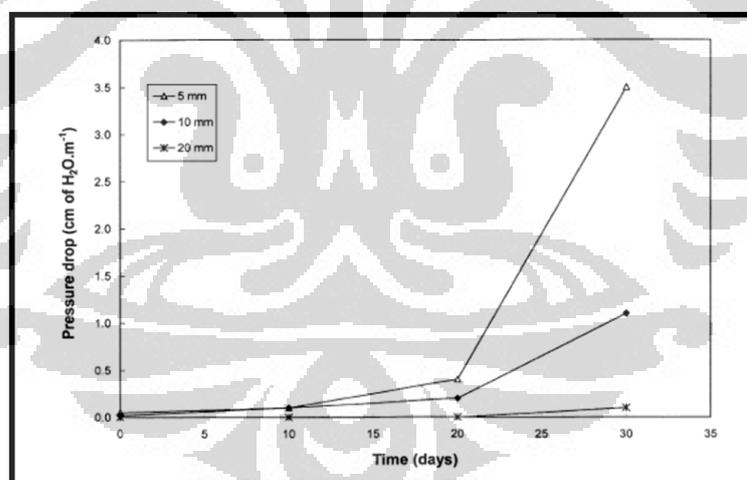
Gambar 2.4 Skema sistem biofilter yang digunakan dalam penelitian Delhomenie, Bibeau, dan Heitz (2002)

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Performansi meningkat seiring dengan penurunan diameter partikel pelet yang digunakan. Hasil ini dapat dilihat pada **Gambar 2.5** berikut ini.



Gambar 2.5 Pengaruh luas permukaan spesifik terhadap EC
(Marie-Caroline Delhomenie, Louise Bibeau, dan Michele Heitz, 2002)



Gambar 2.6 Pengaruh diameter partikel pelet terhadap *pressure drop*
(Marie-Caroline Delhomenie, Louise Bibeau, dan Michele Heitz, 2002)

Berdasarkan gambar di atas, dengan diameter pelet yang kecil dapat meningkatkan luas permukaan area spesifik, akan tetapi dapat meningkatkan *pressure drop*. Dalam hal ini, yang ditinjau lebih dahulu adalah luas permukaan spesifik karena dapat berpengaruh terhadap kemampuan degradasi mikroba

terhadap kontaminan. Dari **Gambar 2.6**, dapat dilihat bahwa 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 2.5 Hasil penelitian Delhomenie, Bibeau, dan Heitz (2002)

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

2.5.1.2 Biofiltrasi dengan Medium Filter Pelet Sintetik

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bakteri nitrifikasi yang terimobilisasi pada suatu matriks polimerik oleh Kim et.al (2007). Kim et.al (2007) menggunakan biomedial yang dienkapsulasi dengan sodium alginat dan polivinil alkohol (PVA) membentuk PVA *cryogels* (kubus) yang memiliki konsentrasi 825 mg l⁻¹. Gel kubus ini dimasukkan ke dalam *pall rings* dan diaktivasi dengan mengalirkan air distilasi sebelum diisi dalam biofilter. **Gambar 2.7** menunjukkan wujud *pall rings* yang digunakan oleh Kim et al. (2007).



Gambar 2.7 *Pall Rings* komersial (kiri) dan biofilter dengan isian *Pall Rings* yang mengandung sel terimobilisasi (kanan)

Percobaan dilakukan selama 84 hari dengan menggunakan konsentrasi NH_3 bervariasi dari 10 sampai 150 ppm. Laju alir diset sehingga *empty bed residence time* (EBRT) memiliki nilai 85, 64, 51 dan 32 s. Nutrisi secara periodik diberikan dengan menyemprotkannya dari atas biofilter pada laju 500 ml selama 1 menit setiap interval 30 menit. Daur ulang nutrisi dilakukan dan setelah 48 jam diganti dengan nutrisi baru.

Adapun hasil dari penelitian ini ialah:

- ✓ Sel terimobilisasi tidak menunjukkan periode aklimasi dan memiliki efisiensi penghilangan amonia tinggi pada awal percobaan kontinyu.
- ✓ Efisiensi penghilangan mendekati 100% ketika *loading* masukan amonia 4,5 g m^{-3} jam⁻¹. Di atas nilai tersebut *biofilm* akan terjenuhkan oleh amonia dan di bawah nilai tersebut, batasan dalam difusi akan membatasi penghilangan amonia (Ottengraf, 1986).
- ✓ Kapasitas eliminasi maksimum yaitu 5,5 g m^{-3} h⁻¹ pada laju beban masukan 7,5 g m^{-3} jam⁻¹. Penurunan tekanan antara 0,2 dan 1,6 cm H_2O m⁻¹ pada beban masukan antara 0,05 dan 7,5 g NH_3 m^{-3} jam⁻¹.
- ✓ Saat diberikan efek fluktuasi *loading* masukan dengan memvariasikan konsentrasi antara 0,05 dan 6 g NH_3 m^{-3} jam⁻¹, biofilter ini hanya membutuhkan waktu 4-8 jam untuk kembali menjadi stabil.

2.5.2 Biofiltrasi dengan Medium Filtrasi yang Menggunakan Zat Perekat

Penelitian lain dilakukan dengan medium filter sintetik (Z.M. Shareefdeen, 2009). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan suatu sistem biofilter baru dalam mereduksi H_2S di udara. Medium filter dimodifikasi sehingga mengandung *hydrophilic nucleus*, *hydrophobic coatings*, zat perekat, *metallic powder*, *micro-organisms*, serta penambahan nutrisi dan asam. *Hydrophilic nucleus* yang digunakan berupa partikel-partikel agregat, *hydrophobic coatings* yang digunakan yaitu karbon aktif yang mengandung zat perekat (semen). Zat perekat di sini berfungsi sebagai perekat antara nukleus dan *coating*. *Coating* sendiri juga mengandung serbuk besi metalik. Asam yang digunakan yaitu H_3PO_4 untuk meningkatkan porositas dan berfungsi sebagai zat buffer.

Penelitian ini menggunakan sistem biofilter skala pilot dan gas H₂S disuplai dengan flow meter Teflon™ (Cole Parmer, IL) yang dialirkan menuju inlet kolom biofilter. Pengukuran konsentrasi dilakukan dengan ODALOG (Detection Instruments Co., AZ), pengukuran laju alir dengan menggunakan flow meter tipe RMC-121, ITM Instruments, ON, Canada. Kandungan kelembapan dari medium filter akan dikontrol dengan menggunakan proses humidifikasi dan pengairan di bagian permukaan. Hasil penelitian yang diperoleh:

- Mampu mereduksi H₂S sebesar 50 ppm dalam 20 s dengan EBRT dengan kondisi yang *steady*.
- Efisiensi reduksi H₂S mencapai (> 99%) dalam 20 s dengan EBRT.
- Sistem biofilter ini dibandingkan dengan sistem yang telah dipatenkan di Eropa (European Patent No. 0497214 B1) yang membutuhkan waktu 30 s untuk kondisi yang sama (50ppm).
- Laju reaksi degradasi H₂S adalah mengikuti laju reaksi orde 0.

Sistem ini telah dipatenkan dan banyak digunakan dalam usaha penghilangan H₂S di udara.

2.5.3 Biofiltrasi terhadap NO_x

Sebuah penelitian dilakukan untuk mereduksi kontaminan NO dari udara (Yang et al., 2007). Medium filter yang dipergunakan di sini adalah kompos dengan campuran serbuk kayu *Cyatheaceae* sebagai *bulking agents*. Penambahan *bulking agent* adalah untuk meningkatkan ruang kosong, mengurangi kepadatan, dan meningkatkan ventilasi di dalam sistem. Di dalam penelitiannya Beliau meninjau pengaruh konsentrasi NO dan O₂, ketinggian kolom, laju alir, dan sumber karbon eksternal terhadap efisiensi reduksi NO. Selain bulking agents, ditambahkan pula nutrisi ke dalam biofilter sebagai sumber karbon (glukosa), nutrisi inorganik, dan kelembapan. Laju alir yang digunakan adalah 30 L/jam, konsentrasi NO inlet 200 ppm, kandungan oksigen 6%, dan penambahan glukosa 1 g/hari. Adapun hasil yang diperoleh :

- Mengamati pengaruh dari konsentrasi O₂ pada reduksi gas NO. Hasilnya didapatkan bahwa efisiensi reduksi NO terbaik dihasilkan pada keadaan anaerob, dimana efisiensinya dapat mencapai 99%.

- Jumlah mikroorganisme yang bertambah besar setelah enam hari waktu operasi. Menggunakan NO sebagai akseptor elektron untuk meningkatkan metabolisme.
- Semakin panjang kolom biofilter yang digunakan, maka daya reduksi NO akan semakin meningkat karena waktu kontak yang lebih lama.
- Reduksi gas NO berbanding terbalik dengan konsentrasi NO dalam gas masuk. Semakin banyak NO akan meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme pada kondisi nutrisi yang sesuai.
- Penambahan glukosa ke dalam medium filter tidak memberikan efek yang signifikan terhadap daya reduksi NO. Hal ini disebabkan sedikitnya glukosa yang ditambahkan sehingga materi-materi organik dalam medium filter sulit untuk mengalami degradasi dibandingkan dengan glukosa. Penambahan glukosa ke dalam biofilter dapat meningkatkan efisiensi reduksi NO untuk kedua kondisi baik aerobik maupun anaerobik.

2.5.3.1 Biofiltrasi terhadap N₂O

Penelitian mengenai biofiltrasi di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia ini dimulai oleh Utami dkk pada tahun 2009. Medium filter yang digunakan ialah pupuk kandang dan serpihan kayu. Hasil dari penelitian ini antara lain adalah kedalaman medium filter yang menghasilkan efisiensi reduksi tertinggi (67,86%) adalah 50 cm (kedalaman yang paling tinggi), laju alir gas N₂O yang menghasilkan efisiensi reduksi tertinggi (70,22%) adalah 200 cc/menit, efisiensi reduksi yang dihasilkan setelah penambahan nutrisi pada ketinggian medium filter 50 cm dan laju alir 200cc/menit adalah sebesar 91,49%, sedangkan efisiensi reduksi tanpa penambahan nutrisi 70,217%.

Penelitian ini kemudian dilanjutkan kembali oleh Utami dkk pada tahun yang sama dengan medium filter berupa kompos berbasis kotoran kambing dengan sekam beras dan *cocopeat* sebagai *bulking agent*-nya. Hasil dari penelitian ini antara lain adalah laju alir gas N₂O yang menghasilkan efisiensi reduksi tertinggi (56,7%) adalah pada laju alir gas N₂O yang terkecil = 72 cc/menit, kandungan air optimum untuk menghasilkan efisiensi reduksi yang optimum (70,13%) adalah sebesar 60% (w/w) kompos, nutrisi sintetik dapat meningkatkan

efisiensi reduksi N_2O 2,2% lebih tinggi daripada nutrisi alami, efisiensi reduksi sebesar 75,9% dapat dicapai dengan ketinggian medium filter 50 cm, laju alir N_2O 72 cc/menit, dan penambahan nutrisi sintetik serta *Nitrobacter, sp* pada kompos.

Filayuri (2009) di lain pihak menguji pengaruh kedalaman medium filter dan kandungan air pada medium filter biofilter selama 9 jam. Medium filter yang digunakan merupakan kotoran sapi dengan *cocopeat* dan sekam beras sebagai *bulking agent*-nya. Hasil penelitian Filayuri menyatakan efisiensi reduksi N_2O optimal didapatkan pada ketinggian 50 cm dan kandungan air 50% berat kompos dengan efisiensi reduksi sebesar 61,35% dan 61%.

Peneliti lain, Noviani (2009), melakukan biofiltrasi selama 9 jam dengan medium filter berbasis kotoran sapi dengan *cocopeat* dan sekam beras sebagai *bulking agent*-nya. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah efisiensi reduksi N_2O terbaik didapatkan pada laju alir 88 cc/menit dengan kedalaman medium filter 50 cm yaitu sebesar 61,35% dan kapasitas eliminasi yang diperoleh sebesar 14078 g/m^3h . Berdasarkan metode-metode uji yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa kompos berbasis kotoran kambing merupakan medium filter yang lebih baik dalam dalam mereduksi gas N_2O dibandingkan dengan kompos berbasis kotoran sapi.

Pada tahun 2010 terdapat dua peneliti yang melakukan biofiltrasi dengan gas yang sama, yaitu Mei Linda dan Irwan. Mei Linda melakukan biofiltrasi pada laju alir konstan 88 cc/menit selama 12 jam dengan medium filter berupa kompos berbasis kotoran kambing. Efisiensi reduksi N_2O dicapai sebesar 78,63% oleh kompos dengan kedalaman 100 cm, dan 100% dengan sifat fisis paling stabil untuk kompos yang diinkubasikan selama 131 jam. Adapun Irwan melakukan biofiltrasi dengan gas dan durasi yang sama dengan yang dilakukan Mei Linda, namun berbeda pada bentuk fisik medium filter yang digunakan. Pada penelitian Irwan, dilakukan variasi ukuran pelet dan penambahan nutrisi. Hasil penelitian ini ialah ukuran pelet yang terbaik sebesar 5 x 5 cm (RE 62,25%) dan penambahan nutrisi sebesar 40%.

Pada tahun 2011, Yusmalia melakukan penelitian dengan medium filter berupa pelet kompos berbasis kotoran kambing selama 12 jam dengan laju alir gas N_2O 88 cc/menit. Yusmalia melakukan variasi bahan perekat seperti tepung sagu,

tepung beras, dan tepung terigu, kemudian dibandingkan juga terhadap pelet kompos berbasis kotoran kambing Irwan yang menggunakan tepung tapioka sebagai bahan perekatnya. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa efisiensi reduksi terbaik diperoleh oleh pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan bahan perekat tepung beras komposisi 15:85 (82,53%), namun jika ditelaah secara keseluruhan maka didapatkan bahan perekat terbaik ialah tepung sagu dengan komposisi 10:90.

2.5.4 Karakterisasi Media Filter

Penelitian ini dilakukan oleh ilmuwan Prancis yang bernama Francois Gaudin, Yves Andres, dan Pierre Le Cloirec. Tujuan dari penelitian yang mereka lakukan ialah untuk menemukan formulasi *packing material* yang tepat sebagai pendukung proses biofiltrasi, yang mana menyediakan penguraian nutrisi yang dibutuhkan biomassa sebagai tambahan pada fasa gas yang masuk. Proses ini tidak menggunakan fasa gas berupa polutan, tetapi hanya udara.

Penelitian ini terbagi atas 2 tahap. Pada tahap pertama 2 jenis material, yaitu Am (*di-ammonium phosphate*) and UP (*urea phosphate*), dengan formulasi nutrisi yang berbeda diformulasikan dan dihasilkan dengan ekstruksi menggunakan kalsium karbonat. Kedua jenis material ini (UP dan Am), serta perekat organik (*organic binder*) mengandung etilen dan vinyl asetat sebagai kandungan utamanya. Selanjutnya, keduanya dikarakterisasikan berdasarkan kapasitas kohesi di dalam air, *bulk density*, *porosity*, *moisture retention capacity*, penguraian nutrisi, and pH. Adapun pada tahapan ke dua, dilakukan pengujian konsumsi oksigen agar diketahui kapasitas material tersebut untuk menumbuhkan populasi mikroorganisme. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan konsumsi oksigen dengan menggunakan kayu cemara atau pozolan sebagai biofilter *packing material* organik dan inorganik. Akhirnya performansi dari *packing material* yang baru diformulasikan tersebut dibandingkan dengan material organik dan inorganik, pada skala laboratorium, untuk biofiltrasi dengan menggunakan udara yang terpolusi H₂S atau NH₃ untuk 93 d dan 48 d. Berikut merupakan tabel yang berisikan *packing material* yang diformulasikan beserta karakteristik fisiknya.

Tabel 2.6 Formulasi *packing material* dan karakteristik fisiknya

Name	Composition	C/N/P molar ratio	Binder mass (%)	Bulk density (g cm ⁻³)	Apparent density (g cm ³)	Median pore diameter (nm)	Water retention capacity (%)	Water cohesion capacity
Am	(NH ₄) ₂ HPO ₄ CaCO ₃	100/10/5	0	0.88	1.68	309	64	<24 h
Am 1	(NH ₄) ₂ HPO ₄ CaCO ₃	100/10/5	1	0.86	1.71	324	68	<24 h
Am 5	(NH ₄) ₂ HPO ₄ CaCO ₃	100/10/5	5	0.87	2.14	388	69	>6 months
Am 10	(NH ₄) ₂ HPO ₄ CaCO ₃	100/10/5	10	0.90	1.75	351	65	>6 months
UP 10	CH ₄ N ₂ O, H ₃ PO ₄ CaCO ₃	100/10/5	10	1.15	2.25	495	67	<24 h
UP 15	CH ₄ N ₂ O, H ₃ PO ₄ CaCO ₃	100/10/5	15	1.00	2.20	446	59	<2 weak
UP 20	CH ₄ N ₂ O, H ₃ PO ₄ CaCO ₃	100/10/5	20	0.92	1.91	517	47	>6 months
UPt 20	CH ₄ N ₂ O, H ₃ PO ₄ CaCO ₃ Phosphate buffer	100/10/5	20	0.94	1.89	499	48	>6 months
Peat	Wu et al. (1999)	-	-	0.72	-	-	64	-
Cristobalite	Hirai et al. (2001)	-	-	0.91	-	-	35	-
Porous ceramics	Hirai et al. (2001)	-	-	0.47	-	-	62	-

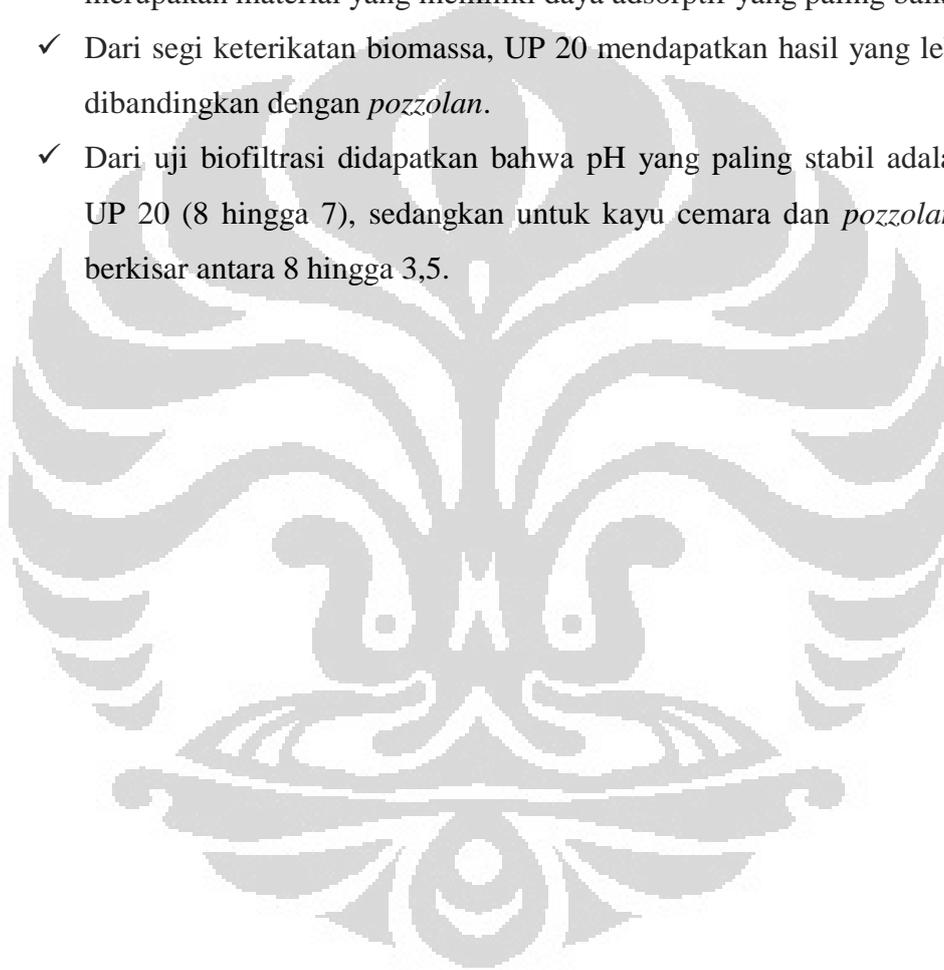
Sumber: Francois Gaudin, Yves Andres, dan Pierre Le Cloirec, 2008

Adapun hasil penelitian yang didapatkan adalah:

- ✓ nilai *moisture retention capacity*-nya yang didapat berkisar antara 47% hingga 69% (sebanding dengan nilai untuk kompos/ peat dan keramik berpori).
- ✓ material jenis Am memiliki *bulk density* yang lebih rendah dibandingkan UP, tetapi *moisture retention capacity*-nya lebih tinggi. Semakin besar kandungan perekat yang digunakan maka didapatkan *bulk density* yang semakin meningkat pula nilainya dan nilai *moisture retention capacity*-nya semakin mengecil.
- ✓ Untuk kedua jenis material (Am dan UP), didapatkan bahwa kapasitas kohesi meningkat secara signifikan seiring dengan meningkatnya proporsi perekat yang digunakan.
- ✓ Untuk porositas, kedua jenis material tidak memberikan hasil yang signifikan (309 to 351 nm untuk Am dan 446 to 517 nm untuk UP). Akan tetapi, karena nilai-nilai tersebut kurang dari panjang sel mikroorganisme maka keterikatan biomassa hanya dapat sampai permukaan granul saja.
- ✓ Untuk karbonat kedua material larut pada set 1 (0.3%), kemudian konstan setelah 24 jam (*the minimum dissolution level*). Adapun kalsium menunjukkan profil kinetik yang sama dan laju penguraian yang relatif konstan pada 4 percobaan (yaitu sekitar 0.25%). Sebaliknya, kelarutan sejumlah fosfor yang ditemukan pada set 2, 3, dan 4 memiliki nilai

terendah diantara ketiganya, yakni dengan nilai rata-rata minimum penguraian kurang dari 0.01%.

- ✓ Untuk pengujian aktifitas mikroorganismenya, kombinasi UP 20/kayu cemara merupakan yang terbaik memberikan hasil pada larutan *saccharose* dan kayu cemara memberikan aktifitas mikroorganismenya yang paling baik untuk larutan amonia 100mg/l.
- ✓ Adapun dari penghilangan sulfur dengan cara adsorpsi, kayu cemara merupakan material yang memiliki daya adsorptif yang paling baik.
- ✓ Dari segi keterikatan biomassa, UP 20 mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan *pozzolan*.
- ✓ Dari uji biofiltrasi didapatkan bahwa pH yang paling stabil adalah milik UP 20 (8 hingga 7), sedangkan untuk kayu cemara dan *pozzolan*/UP 20 berkisar antara 8 hingga 3,5.



**E
m
i
s**

↑

N₂O			Utami dkk.,2009 (Pupuk kandang); Utami dkk.,2009 (Kompos berbasis kotoran kambing); Cynthia,2010 (Kompos berbasis kotoran sapi)	Penelitian ini,2010 (Karakterisasi pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi sebagai pupuk organik)
NO			Yang et al.,2007	
Amonia	Jung Hoon Kim, Eldon R. Rene, dan Hung Suck Park,2007			
VOCs (toluena, etil asetat, isoprop anol)		Marie-Caroline Delhomenie, Louise Bibeau, dan Michele Heitz, 2002 (adanya tambahan zat perekat)		
H₂S				Z.M. Shareefdeen,2009 (dengan adanya zat perekat)
Isopentana	Zhao Wang dan Rakesh Govind,1998 (Celite pellet)		Zhao Wang dan Rakesh Govind,1998	
	Pelet Sintetik	Pelet Alami	Kompos	Sintetik

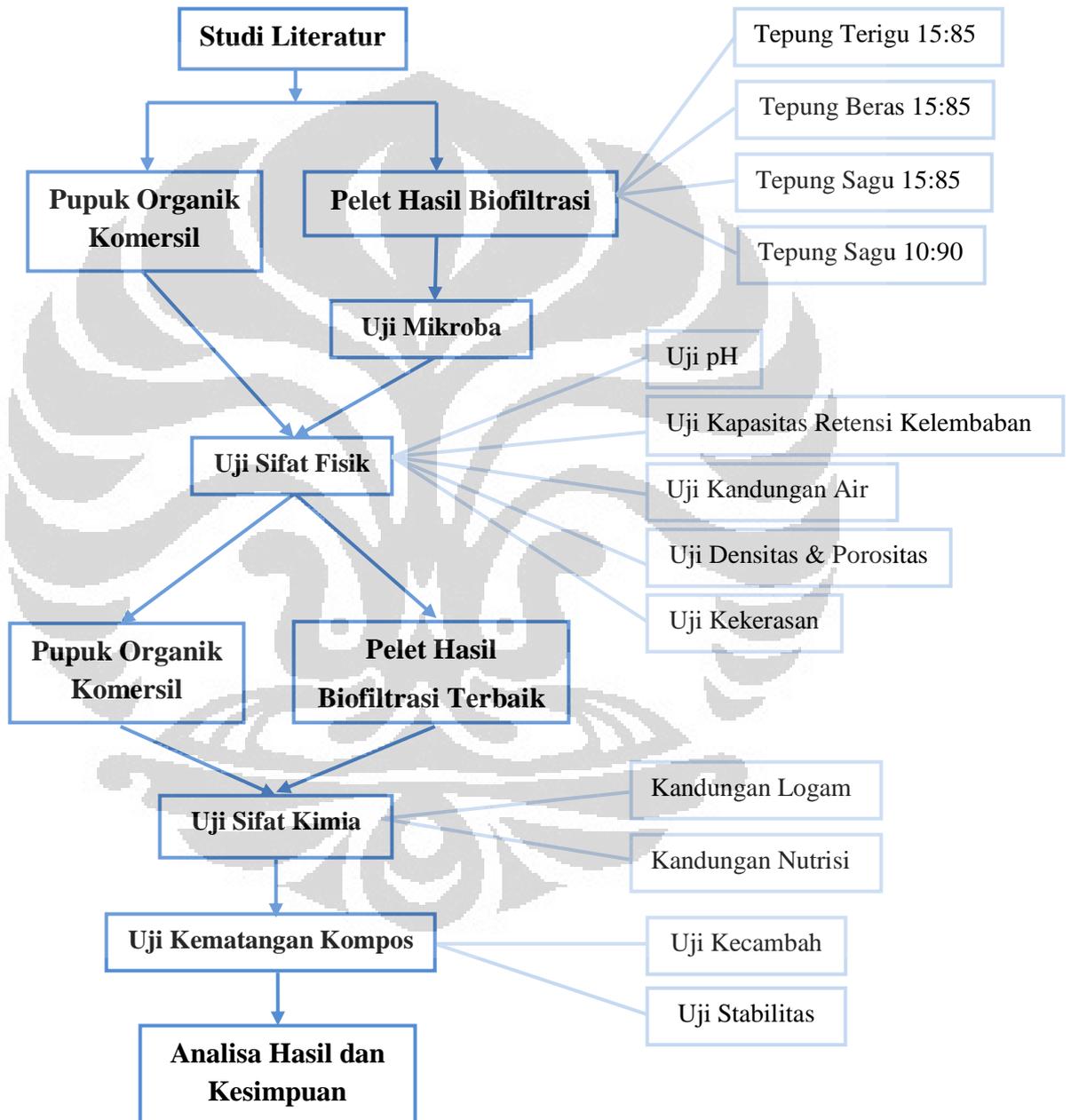
→ Medium Filter

Gambar 2. 8 Mapping State of The Art Biofilter terhadap Emisi

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur berupa studi jurnal-jurnal penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini dan artikel-artikel ilmiah yang berhubungan. Jurnal-jurnal yang dicari merupakan jurnal-jurnal skala nasional maupun internasional. Setelah jurnal-jurnal terkumpul, maka langkah selanjutnya ialah tahap eksperimen. Secara garis besar, tahapan eksperimen dari penelitian ini terdiri atas karakterisasi mikroba, sifat fisik, kimia, dan kematangan pupuk.

Sampel yang diuji dalam penelitian ini sebanyak lima sampel. Satu sampel adalah pupuk yang umum digunakan oleh masyarakat (merk Super Tani) untuk digunakan sebagai pembanding kualitas dan empat sampel diantaranya merupakan sampel kompos berbasis kotoran kambing berbentuk pelet yang sebelumnya telah mengalami proses biofiltrasi. Biofiltrasi dilakukan oleh peneliti sebelumnya, Yusmalia (2011), di Laboratorium Bioproses Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia (DTK UI) selama 12 jam penuh dengan menggunakan gas N_2O . Keempat sampel pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi tersebut merupakan variasi zat perekat yang digunakan. Variasi zat perekat tersebut antara lain zat perekat berupa tepung sagu, tepung terigu, dan tepung beras dengan komposisi zat perekat-air 15:85 dan tepung sagu dengan komposisi 10:90. Tepung sagu dengan komposisi 10:90 merupakan variasi tambahan karena berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan, tepung sagu dinilai memberikan hasil yang terbaik diantara perekat-perekat yang digunakan. Oleh sebab itu, sampel pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi yang diuji dalam penelitian ini meliputi pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan perekat tepung terigu (15:85), tepung beras (15:85), dan tepung sagu (15:85 & 10:90).

Pengujian yang pertama kali dilakukan pada penelitian ini adalah uji mikroba. Pengujian mikroba dilakukan terhadap pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan tujuan untuk mengetahui mikroorganisme atau bakteri yang mendegradasikan polutan N_2O selama biofiltrasi berlangsung. Setelah pengujian mikroba, penelitian ini dilanjutkan dengan menguji karakteristik pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi. Karakterisasi yang dilakukan meliputi karakterisasi-karakterisasi pelet kompos

berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi tersebut untuk diaplikasikan sebagai pupuk organik.

Karakterisasi yang pertama kali dilakukan ialah uji sifat fisik dari pelet-pelet yang dihasilkan. Uji fisik ini meliputi uji pH, uji kandungan air, uji kapasitas retensi kelembaban, uji densitas, uji porositas, dan uji durabilitas. Pengujian pH dilakukan dengan menggunakan pH meter dan kertas indikator pH. Pengujian kandungan air dan kapasitas retensi kelembaban dilakukan dengan metode gravimetrik. Pemanasan dilakukan pada suhu 60°C - 70°C selama 1 jam sekali, kemudian ditimbang dan dilakukan pemanasan kembali hingga berat pelet yang dipanaskan tidak berubah. Pada pengujian kapasitas retensi kelembaban, sebelum dilakukan pemanasan dengan oven pelet yang diuji terlebih dahulu direndam dalam aquades selama 1 jam. Perhitungan densitas dilakukan dengan cara membagi massa pupuk yang dimampatkan dengan volum yang telah diketahui, sedangkan perhitungan porositas dilakukan dengan membagi sejumlah pupuk yang memenuhi wadah (volum tertentu) dengan densitas yang telah dihitung sebelumnya. Adapun pengujian durabilitas dilakukan dengan mesin durabilitas selama 10 menit.

Setelah didapatkan pelet hasil biofiltrasi yang terbaik dari pengujian sifat fisik, tahapan selanjutnya ialah menguji sifat kimia. Pengujian sifat kimia ini meliputi uji kandungan nutrisi (C, S, N, P, dan K) dan kandungan logam (Pb, Hg, As, dan Cd). Pelet terbaik dari hasil karakterisasi sebelumnya (karakterisasi sifat fisik) dikirimkan ke Laboratorium Sucofindo bersama dengan pupuk yang beredar di pasaran (pupuk komersil) untuk diuji.

Setelah melakukan karakterisasi sifat fisik dan kimia pupuk, tahapan selanjutnya ialah menguji kematangan dari pupuk tersebut. Pengujian kematangan kompos yang dilakukan terdiri atas dua cara, yaitu dengan uji kecambah dan uji stabilitas. Pada uji kecambah sampel diletakkan pada cawa petri yang sebelumnya telah diletakkan kapas dan kertas saring, serta diteteskan ekstrak pupuk sebanyak 5 ml pada awalnya. Benih yang digunakan dalam uji kecambah ini ialah benih tomat. Setiap harinya akan dihitung jumlah biji yang berhasil berkecambah dari pupuk organik yang digunakan dan pada hari ke empat akan dihitung total keseluruhan benih yang berhasil berkecambah. Untuk pengujian kematangan

dengan uji stabilitas, pupuk yang akan diuji diletakan di dalam wadah tertutup selama 10 hari untuk dilakukan pengukuran suhu setiap harinya.

Tahapan akhir dari penelitian ini adalah menganalisa hasil karakterisasi pupuk yang didapatkan dan membuat kesimpulan atas hasil yang diperoleh. Dari hasil karakterisasi yang dilakukan akan diketahui bagaimana kualitas pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terhadap pupuk yang terdapat di pasaran, sehingga dapat diketahui potensi dari pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi tersebut untuk dijadikan pupuk organik.

3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini cukup sederhana. Berikut merupakan daftar peralatan dan bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

3.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- ✓ Pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi selama 12 jam dengan zat perekat berupa tepung terigu komposisi 15:85
- ✓ Pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi selama 12 jam dengan zat perekat berupa tepung beras komposisi 15:85
- ✓ Pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi selama 12 jam dengan zat perekat berupa tepung sagu komposisi 15:85
- ✓ Pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi selama 12 jam dengan zat perekat berupa tepung sagu komposisi 10:90
- ✓ Pupuk komersil (Media Siap Tanam) merk Super Tani, terdiri dari campuran sekam bakar, *cocopeat*, akar pakis, dan kotoran kambing.
- ✓ Benih tomat merk Benih Citra Asia
- ✓ Air aquades, sebagai pelarut kompos pada uji pH, sebagai cairan pengisi pada uji *moisture retention capacity*, serta sebagai larutan pengekstrak kompos dan sebagai medium kontrol pada uji kecambah.

3.2.2 Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 3. 1 Daftar peralatan yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat	Fungsi
1.	pH meter	Alat untuk mengukur pH kompos
2.	pH indikator	Alat untuk mengukur pH kompos
3.	Cawan keramik	Wadah untuk memanaskan kompos di dalam oven
4.	Oven	Alat untuk menguapkan air pada kompos (untuk uji kandungan air)
5.	Batang pengaduk	Alat pengaduk larutan kompos + air pada uji pH
6.	Sendok	Alat untuk mengambil sejumlah kompos dan sebagai penekan pada uji densitas
7.	Timbangan	Alat untuk menimbang baik bahan maupun peralatan yang digunakan
8.	<i>Beaker Glass</i>	Tempat melarutkan pupuk untuk pengujian pH dan sebagai wadah pengukuran densitas dan porositas
9.	Gelas Ukur	Tempat untuk mengukur sejumlah cairan tertentu
10.	Desikator	Tempat untuk mengeringkan sekaligus mendinginkan cawan keramik saat dilakukan uji kandungan air dan kapasitas retensi kelembaban
11.	Cawan Petri	Wadah untuk perkecambahan
12.	Kertas saring	Wadah pupuk saat uji kecambah dan penyaring saat uji MRC
13.	Termometer	Sebagai alat untuk mengukur perubahan suhu pada uji stabilitas
14.	Kapas	Menjaga agar tanah ataupun pupuk organik tetap dalam keadaan lembab
15.	Mesin durabilitas	Alat uji kekerasan
16.	Plastik bening	Tempat menyimpan pelet hasil biofiltrasi
17.	<i>Shaker</i>	Alat pengaduk untuk mengekstrak kompos
18.	<i>Centrifuge</i>	Alat untuk memisahkan ekstrak kompos dengan ampas kompos
19.	Pipet tetes	Alat untuk mengambil sejumlah ekstrak kompos
20.	Ayakan no. mesh 8	Alat untuk memisahkan pelet yang masih utuh dari yang sudah hancur
21.	Mortar	Alat untuk menghaluskan pupuk

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi atas tiga kelompok besar, yakni prosedur penelitian untuk pengujian sifat fisik, pengujian kematangan kompos, dan pengujian sifat kimia. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai ketiganya.

3.3.1 Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik dari pupuk, baik pupuk pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi maupun pupuk merk Super Tani, diwakili oleh enam macam pengujian. Keenam pengujian ini meliputi uji pH, uji kandungan air, uji kapasitas retensi kelembaban, uji densitas, uji porositas, serta uji durabilitas. Berikut merupakan prosedur dari keenam pengujian sifat fisik tersebut.

3.3.1.1 Uji pH

Uji pH dilakukan untuk seluruh jenis pupuk yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian dilakukan melalui dua cara, yaitu dengan menggunakan pH-meter dan dengan menggunakan kertas indikator pH. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian pH pupuk yang digunakan:

1. Menyiapkan dan menimbang pupuk yang akan diukur pH-nya masing-masing sebanyak 5 gram.
2. Menyiapkan *aquadest* sebanyak 50 mL.
3. Mencampurkan pupuk dengan *aquadest* yang telah disiapkan sebelumnya dan mengaduknya hingga bercampur secara merata dengan menggunakan batang pengaduk.
4. Kertas indikator pH:
 - a. Mencilupkan kertas indikator pH ke dalam campuran kompos dan *aquades*.
 - b. Membandingkan warna yang terbentuk hasil pencelupan dengan tabel warna yang tersedia pada kotak penyimpanan kertas indikator pH.
 - c. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap pupuk uji.
5. pH-meter:
 - a. Membersihkan tutup pH-meter dengan air *aquades*.
 - b. Membasuh sensor pH-meter dengan air keran hingga bersih.

- c. Mengisi tutup pH-meter sebanyak ± 20 ml.
- d. Memasangkan penutup pH-meter pada tempatnya dan menunggu perubahan pH yang terjadi hingga tidak berubah lagi.
- e. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap pupuk uji.

Sebelum menggunakan pH-meter, terlebih dahulu dilakukan pengaktifan sensor dan kalibrasi pH. Berikut merupakan prosedur dan diagram alir untuk mengaktifkan sensor pada pH-meter.

1. Membersihkan tutup pH-meter dengan menggunakan air aquades
2. Membersihkan sensor pH-meter dengan menggunakan air keran
3. Menuangkan air aquades sebanyak ± 20 ml ke dalam tutup pH-meter
4. Memasangkan tutup pH-meter tersebut, hingga sensor terendam, pada tempatnya selama 1 jam.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk kalibrasi pH-meter tersebut adalah sebagai berikut.

1. Membersihkan tutup pH-meter dengan menggunakan air aquades
2. Membersihkan sensor pH-meter dengan menggunakan air keran
3. Menyiapkan larutan buffer pH 7
4. Menyalakan tombol power pada pH-meter
5. Menuangkan ± 20 ml larutan buffer pH 7 ke dalam tutup pH meter
6. Memasangkan tutup pada tempatnya
7. Menekan tombol CAL untuk kalibrasi
8. Menunggu hingga pH mendekati 7
9. Menekan tombol $\frac{HOL}{ENT}$ untuk memasukkan data kalibrasi pH 7
10. Melakukan hal yang serupa untuk larutan buffer yang lain.

3.3.1.2 Uji Kandungan Air (*Water Content*)

Pengujian kandungan air dilakukan untuk setiap pupuk yang digunakan dalam penelitian. Adapun langkah-langkah yang dilakukan ialah sebagai berikut.

1. Menyiapkan cawan keramik kosong dan mengeringkan cawan keramik tersebut menggunakan oven selama 1 jam pada suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$.
2. Mengeluarkan cawan keramik dari dalam oven dan mendinginkannya dengan desikator selama ± 5 menit, kemudian menimbang cawan keramik yang telah dingin.
3. Menimbang 5 g kompos yang akan diuji dengan neraca digital.
4. Memasukan cawan keramik berisi pupuk yang akan diuji kandungan airnya ke dalam oven selama 1 jam pada suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$.
5. Mengeluarkan cawan keramik berisi kompos tersebut dan memasukannya ke dalam desikator selama ± 5 menit, kemudian menimbang.
6. Mengulangi langkah 4 dan 5 hingga tidak terjadi perubahan berat pupuk secara signifikan.
7. Menghitung kandungan air (*water content*) pupuk melalui persamaan berikut:

$$WC = \frac{m_{\text{pupuk awal}} - m_{\text{pupuk akhir}}}{m_{\text{pupuk awal}}} \times 100\% \quad (3.1)$$

3.3.1.3 Uji Kapasitas Retensi Kelembaban (*Moisture Retention Capacity*)

Pengujian *moisture retention capacity* atau MRC ini dilakukan untuk setiap pupuk yang digunakan dalam penelitian ini. Adapun pengujian MRC ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menyiapkan pupuk yang akan diuji sebanyak 5 gram.
2. Menyiapkan wadah perendaman.
3. Merendam pupuk yang sudah dipersiapkan di dalam wadah dengan air aquades selama 1 jam.
4. Mengeluarkan cawan keramik dari dalam oven, mendinginkannya dalam desikator ± 5 menit, kemudian menimbang dengan timbangan digital.
5. Menyaring rendaman pupuk dengan kertas saring.
6. Meletakkan pupuk yang telah disaring pada cawan keramik yang telah ditimbang, kemudian menimbang kembali.

7. Memanaskan cawan keramik berisi pupuk basah tersebut dengan oven selama 1 jam pada suhu 70°C .
8. Mengeluarkan cawan keramik berisi pupuk tersebut dan mendinginkannya dengan desikator selama ± 5 menit, kemudian menimbangnya.
9. Melakukan langkah 7 dan 8 selama beberapa kali hingga tidak terjadi perubahan berat pupuk secara signifikan.
10. Menghitung MRC (*Moisture Retention Capacity*) dari pupuk tersebut dilakukan dengan persamaan:

$$MRC = \frac{m_{\text{kompos basah}} - m_{\text{kompos kering}}}{m_{\text{kompos kering}}} \times 100\% \quad (3.2)$$

3.3.1.4 Uji Densitas

Uji densitas dilakukan untuk seluruh pupuk yang digunakan dalam penelitian ini. Adapun langkah-langkah dari pengujian densitas yang dilakukan ialah:

1. Menyiapkan dan menimbang *beaker glass*.
2. Memasukan pupuk yang akan digunakan dalam penelitian ke dalam *beaker glass* tersebut dengan cara memadatkan pupuk hingga mencapai ketinggian tertentu.
3. Menimbang massa pupuk di dalam *beaker glass* tersebut dengan cara mengurangi massa *beaker glass*+pupuk dengan massa *beaker glass* saat kosong.
4. Menghitung densitas kompos dengan rumus berikut

$$\rho \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}} \right) = \frac{m_{\text{pupuk}}}{V_{\text{pupuk}}} \quad (3.3)$$

3.3.1.5 Uji Porositas

Porositas yang dihitung merupakan porositas dari setiap pupuk yang digunakan dalam penelitian ini. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujian porositas:

1. Menimbang wadah yang akan digunakan.

2. Memasukkan sejumlah pupuk ke dalam wadah yang telah diketahui volumenya.
3. Menimbang wadah yang telah berisi pupuk yang akan diuji porositasnya.
4. Menghitung volum pupuk tersebut dengan rumus:

$$V_{\text{kompos}} = \frac{m_{\text{pupuk}}}{\rho} \quad (3.4)$$

5. Menghitung volum kolom biofilter kosong sesuai dengan volum yang digunakan.
6. Menghitung porositas dengan cara rumus berikut

$$\phi = \frac{V_{\text{pupuk}}}{V_{\text{kolom biofilter}}} \quad (3.5)$$

3.3.1.6 Uji Durabilitas

Durabilitas merupakan salah satu pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui kualitas fisik pelet. Pengujian durabilitas dalam penelitian ini dilakukan terhadap pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam uji durabilitas adalah:

1. Menyiapkan sejumlah pelet kompos berbasis kotoran kambing (± 500 gram)
2. Menyaring pelet kompos berbasis kotoran kambing tersebut dengan ayakan no. mesh 8 (diameter lubang: 2,360 mm)
3. Menimbang pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil ayakan
4. Memasukan pelet kompos berbasis kotoran kambing yang ditimbang ke dalam mesin uji durabilitas
5. Menyalakan mesin selama 10 menit
6. Mengayak pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil uji durabilitas dengan ayakan no. mesh 8
7. Menimbang pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil ayakan
8. Menghitung durabilitas pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan persamaan:

$$\% \text{ durabilitas} = \frac{\text{berat pelet sesudah uji}}{\text{berat pelet setelah uji}} \times 100\% \quad (3.6)$$

3.3.2 Pengujian Kematangan Kompos

Kematangan kompos secara umum dapat diwakili oleh kestabilan suhu dan kemampuan kompos tersebut sebagai media penumbuh. Oleh karenanya, uji stabilitas dan uji perkecambahan dipilih untuk menguji kematangan dari kompos yang diteliti. Berikut merupakan langkah-langkah dari setiap pengujian yang dilakukan.

3.3.2.1 Uji Stabilitas

Kestabilan suhu merupakan salah satu faktor yang dapat dilihat sebagai indikator kematangan kompos, meskipun keduanya (kestabilan dan kematangan) merupakan sifat atau karakter yang berbeda. Uji stabilitas dilakukan untuk pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terbaik menurut karakterisasi fisiknya, serta untuk kompos komersil. Berikut adalah langkah-langkah dari uji stabilitas yang dilakukan:

1. Menyiapkan pupuk yang akan diuji sebanyak 500 gram
2. Menyimpan pupuk yang akan diuji dalam sebuah wadah tertutup
3. Mengukur perubahan temperatur pupuk selama 10 hari setiap harinya dengan termometer.

3.3.2.2 Uji Kecambah

Uji perkecambahan adalah salah satu pengujian kematangan kompos dengan melihat perkembangan perkecambahan. Benih tanaman yang digunakan dalam pengujian ini adalah benih tanaman tomat. Hal ini dikarenakan tomat merupakan salah satu tanaman yang memiliki sensitifitas terhadap kematangan kompos. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam menguji perkecambahan benih tomat.

1. Mensterilisasi cawan petri yang akan digunakan (percobaan dilakukan *triplicate*)
2. Mengekstraksi pupuk yang diuji
3. Meletakkan kapas pada dasar cawan petri
4. Meletakkan kertas saring di atas kapas

5. Memasukan 20 benih tomat pada setiap cawan petri
6. Membasahi benih dan kertas saring dengan ekstrak pupuk sebanyak 5 ml dan menjaganya agar tetap dalam keadaan lembab setiap harinya
7. Menyimpan cawan petri yang berisi benih dalam kondisi gelap selama 5 hingga 6 hari
8. Mencatat perkembangan benih yang berkecambah setiap harinya
9. Menghitung indeks perkecambahan dengan rumus:

$$\text{Perkecambahan (\%)} = \frac{\Sigma \text{benih yang berkecambah pada pupuk}}{\Sigma \text{benih yang berkecambah pada air}} \times 100\% \quad (3.7)$$

Dalam mensterilisasikan cawan petri, langkah-langkah yang dilakukan antara lain adalah:

1. Mencuci bersih cawan petri yang akan digunakan.
2. Membungkus cawan petri yang telah bersih dan kering dengan kertas koran.
3. Memanaskan cawan petri yang terbungkus koran tersebut dalam oven selama 2 jam pada suhu 175⁰C.
4. Menyimpan cawan petri yang telah disterilisasikan dalam *transfer box*.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan ekstrak pupuk ialah:

1. Menimbang sejumlah pupuk
2. Menghaluskan pupuk yang akan digunakan menggunakan mortar
3. Menyiapkan campuran air-pupuk dengan perbandingan 1:10
4. Mengocok campuran-air tersebut dengan *shaker* selama 1 jam
5. Memisahkan ekstrak pupuk dan ampas pupuk dengan sentrifugasi selama 15 menit pada 3000 rpm

3.3.3 Pengujian Sifat Kimia

Sifat kimia pada kompos identik dengan kadar kandungan nutrisi serta kandungan logamnya. Kompos yang memiliki kandungan nutrisi yang baik akan menyebabkan tanaman dapat tumbuh dengan subur. Adapun kompos yang tidak tercemar logam atau pun mengandung kadar logam dalam batas yang

diperbolehkan akan menyehatkan bagi manusia yang mengkonsumsi tanaman tersebut. Berikut merupakan penjelasan dari prosedur untuk mendapatkan data-data tersebut.

3.3.3.1 Kandungan Nutrisi dan Logam

Pengujian kandungan nutrisi dan bakteri dilakukan setelah didapatkan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terbaik melalui pengujian sifat-sifat fisiknya. Bersama dengan pupuk komersil, pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terbaik tersebut dikirimkan ke Laboratorium Sucofindo di Cibitung. Parameter-parameter kandungan nutrisi yang akan diukur antara lain komposisi nitrogen (N), karbon (C) organik, sulfur (S), fosfor (P), dan kalium dalam bentuk K_2O . Adapun kandungan logam yang hendak diuji ialah kandungan logam kadmium (Cd), merkuri (Hg), arsenik (As), dan kadar logam timbal (Pb).

3.3.4 Pengujian Mikroba

Pengujian mikroba pada pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dilakukan guna mengetahui mikroorganisme yang mereduksi polutan N_2O yang digunakan pada biofiltrasi. Seperti halnya dengan pengujian kandungan nutrisi dan logam, pengujian ini juga dilakukan oleh pihak ketiga, yakni Laboratorium Mikrobiologi Lippi, Cibinong.

3.4 Teknik Pengumpulan dan Analisa Data

Data-data yang didapatkan dalam penelitian ini merupakan data-data yang diambil baik dari hasil penelitian maupun data-data dari hasil uji laboratorium. Data-data tersebut adalah:

- ✓ pH pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dan pupuk merk Super Tani.
- ✓ Persentase kandungan air pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi, serta kandungan air pada pupuk merk Super Tani.
- ✓ Persentase kapasitas retensi kelembaban pada pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dan pupuk merk Super Tani.

- ✓ Densitas, porositas, dan persentase durabilitas pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dan pupuk merk Super Tani.
- ✓ Suhu pupuk pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi, serta suhu pupuk merk Super Tani.
- ✓ Persentase indeks perkecambahan benih pada pupuk pelet kompos berbasis kotoran kambing dan pupuk merk Super Tani.
- ✓ Kandungan logam (As, Hg, Cd, dan Pb) pada pupuk merk Super Tani dan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi.
- ✓ Komposisi dari nutrien yang terkandung dalam pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi (C, N, S, P, dan K), serta nutrien yang terkandung dalam pupuk merk Super Tani.
- ✓ Mikroorganisme yang terkandung di dalam pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi

Data-data berupa pH, persentase kandungan air, persentase kapasitas retensi kelembaban, densitas, porositas, dan persentase durabilitas merupakan data-data yang mewakili karakteristik fisik dari pupuk yang diuji. Dengan membandingkan data-data tersebut didapatkan pupuk pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan perekat terbaik untuk digunakan sebagai pupuk organik. Setelah didapatkan pelet terbaik, selanjutnya akan dilakukan karakterisasi sifat kimia dan kematangan dari pupuk (pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terbaik dan pupuk komersil). Dengan membandingkan sifat kimia dan kematangan dari pupuk uji akan diketahui kualitas pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi terhadap pupuk merk Super Tani, yang merupakan pupuk yang umum terdapat di pasaran, untuk digunakan sebagai pupuk organik. Hasil dari penelitian ini akan memberikan peluang pemanfaatan atas satu-satunya produk samping proses biofiltrasi, yang awalnya ditangani dengan membuangnya pada tempat pembuangan, menjadi termanfaatkan sebagai pupuk organik yang teruji aman untuk digunakan sebagai media penumbuh.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini pembahasan dan analisa hasil penelitian akan dilakukan mulai dari karakterisasi mikroba, disusul dengan karakterisasi sifat-sifat fisik pupuk, karakterisasi sifat kimia, dan karakterisasi kematangan pupuk. Masing-masing dari karakterisasi tersebut akan berisi uraian dari setiap pengujian yang dilakukan, kecuali untuk karakterisasi mikroba. Karakterisasi mikroba merupakan pengidentifikasian mikroba yang terdapat di dalam pupuk pelet hasil biofiltrasi. Berikut merupakan penjelasan dari setiap karakterisasi yang dilakukan.

4.1 Karakterisasi Mikroba

Kenyataan bahwa kompos dapat digunakan medium filter pada biofilter telah diketahui sejak lama (Govind, 2010). Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan oleh Laboratorium Mikrobiologi Lippi, Cibinong, diketahui bahwa mikroorganisme yang terdapat pada pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi adalah bakteri *Bacillus cereus* dengan dominansi 98%. Pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi ini merupakan medium filter yang digunakan pada penelitian sebelumnya (Yusmalia, 2011) untuk biofiltrasi gas N₂O selama 12 jam di Laboratorium Bioproses Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia (DTK UI). Kemampuan *B. cereus* untuk mendegradasikan kontaminan berupa N₂O menjadi N₂ (pendenitrifikasi) telah dibuktikan oleh Verbaendert et al. (2011) melalui *Acetylene Inhibition Method* (AIM) dengan peralatan analisis berupa *Gas Chromatography* (GC). Selain itu, pada penelitian Josia (2005) yang dilakukan juga di Laboratorium Bioproses DTK UI dinyatakan terjadi peningkatan luas area udara pada pembacaan GC (waktu retensi 0,3-0,4 menit) dan pengurangan luas area gas N₂O (waktu retensi 0,7-0,8 menit) sebagai akibat terkonversinya gas N₂O menjadi N₂ dan O₂ yang merupakan komponen gas penyusun udara. Bakteri ini banyak terdapat di tanah dan udara (Todar 2011), serta perut hewan ruminansia yang sehat karena bertindak sebagai *probiotic feed additive* (Wikipedia, 2011). Bakteri ini juga mampu hidup dalam kondisi pH antara 2 hingga 11 (Todar, 2011) dan temperatur *psychrotrophic* hingga

thermophilic (terkadang mencapai 65⁰C, tetapi lebih menyukai suhu 37⁰C) (Wijnands, 2005).

Bacillus cereus merupakan bakteri gram positif yang termasuk ke dalam *Family: Bacillaceae, Orde: Bacillales, Class: Bacilli, Phylum: Firmicutes*, dan *Kingdom: Bacteria* (Todar, 2011). Spora dari spesies *Bacillus* memiliki struktur “seperti kaki” (*appendages-like*) (Abram, 1966; Hachisuka dan Kuno, 1976; Hodgkiss, 1971; Labbé, 2005) yang mungkin bertanggung jawab atas pembentukan biofilm (Andersson et al., 1995; Wijman et al., 2007). Berdasarkan penelitian Ankolekar dan Labbé (2010) pada sejumlah sampel makanan, diketahui bahwa karakteristik fisik *B. cereus*, seperti adanya *exosporium*, *low ζ potential*, *hydrophobicity* yang cukup tinggi, dan terdapatnya struktur “seperti kaki” (*appendages-like*) memberikan kontribusi terhadap pembentukan lapisan biofilm pada bidang kontak.

4.2 Karakterisasi Sifat Fisik

Karakterisasi sifat fisik dari pupuk yang diuji terdiri atas enam macam pengujian, yakni pengujian pH, kandungan air, kapasitas retensi kelembaban, densitas, porositas, dan durabilitas. Pemilihan pengujian karakterisasi sifat fisik ini didasarkan atas dua pertimbangan, yaitu pentingnya sifat tersebut sebagai pupuk organik dan perwakilan atas kekuatan fisik dari bentuk pelet yang digunakan.

4.2.1 pH

Pengukuran pH dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan kertas pH indikator dan dengan pH-meter. Kedua cara ini dilakukan demi mendapatkan keakuratan yang lebih dalam pengukurannya. Berikut merupakan tabel yang berisikan hasil pengukuran pH yang dilakukan.

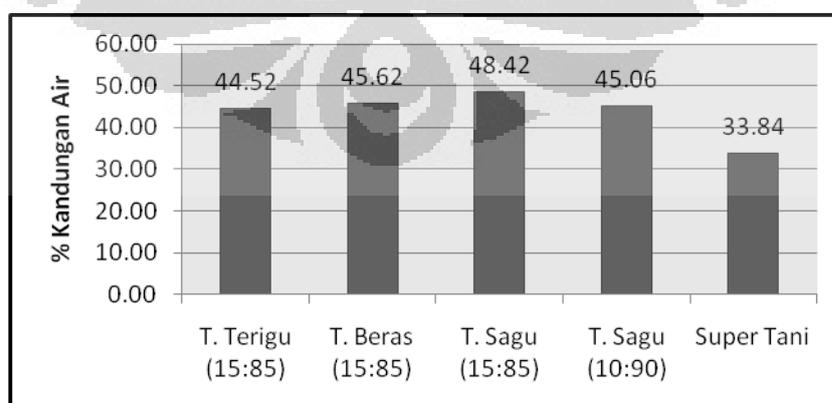
Tabel 4.1 Hasil pengujian pH pada setiap sampel

Jenis Perekat	Kertas Indikator		pH-meter	
Super Tani	7	7	7,4	7,4
Tepung Terigu 15:85	7	7	7,43	7,44
Tepung Beras 15:85	7	7	7,44	7,42
Tepung Sagu 15:85	7	7	7,38	7,39
Tepung Sagu 10:90	7	7	7,37	7,38

Berdasarkan **Tabel 4.1** di atas dapat dilihat bahwa nilai pH pada setiap pupuk yang diuji memiliki nilai yang hampir sama, yaitu $\pm 7,4$. Rentang pH ini tergolong dalam rentang pH yang disarankan oleh para pakar lingkup Puslitbangtanak, Direktorat Pupuk dan Pestisida, IPB Jurusan Tanah, Depperindag, serta Asosiasi Pengusaha Pupuk dan Pengguna, yaitu berkisar antara 4 hingga 8 untuk pupuk padat.

4.2.2 Kandungan air

Kandungan air pada pupuk sangat penting dalam menjaga keberlangsungan hidup mikroorganisme yang terdapat di dalamnya. Sebagaimana yang dinyatakan oleh Van Lith et al. (1997), *moisture* sangat penting untuk menjaga kelangsungan hidup mikroorganisme serta turut memberikan kontribusi pada kapasitas *buffer filter* (Noviani, 2009).

**Gambar 4. 1** Kandungan air rata-rata pada setiap pupuk uji

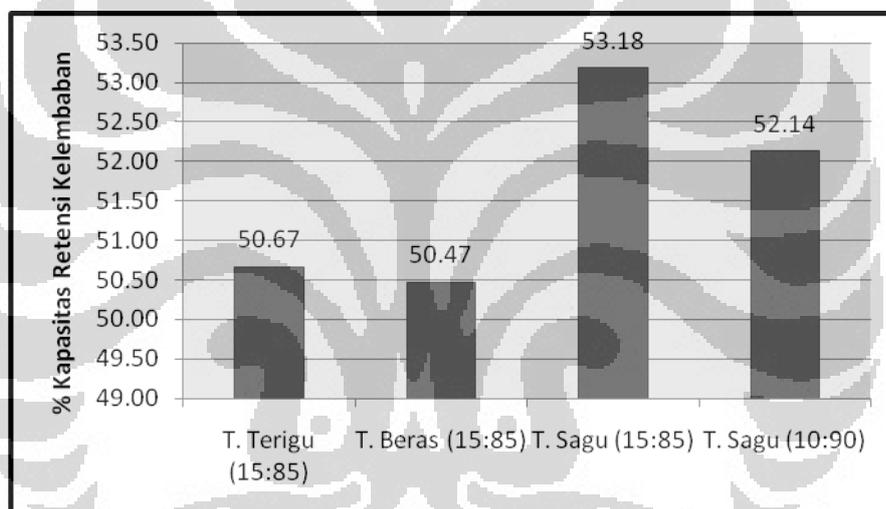
Gambar 4.1 menunjukkan bahwa kandungan air tertinggi diperoleh pada pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan zat perekat berupa tepung sagu dan perbandingan perekat-air 15:85. Kemudian disusul oleh tepung beras (15:85), tepung sagu (10:90), tepung terigu (15:85), dan pupuk dengan merk Super Tani. Ketiga pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi yang diuji tidak menunjukkan perbedaan kandungan air yang signifikan diantara ketiganya, meskipun jenis pati yang digunakan berbeda. Hal ini dikarenakan pati yang digunakan sudah dibuat menjadi gelatin terlebih dahulu. Berbeda dengan hasil yang ditunjukkan oleh pupuk merk Super Tani yang memiliki kandungan air yang cenderung sedikit jika dibandingkan dengan ketiga pelet kompos berbasis kotoran kambing (33,84%). Adanya perbedaan ini disebabkan perlakuan yang telah diberikan kepada pupuk tersebut. Pelet kompos berbasis kotoran kambing yang diuji merupakan pelet kompos berbasis kotoran kambing yang sebelumnya digunakan dalam biofiltrasi. Diketahui dari penelitian Noviani (2009) terjadi peningkatan kandungan air yang disebabkan terjadinya absorpsi *moisture* dari gas keluaran selama biofiltrasi berlangsung. Adapun pada pupuk merk Super Tani, sebelumnya tidak dilakukan biofiltrasi sehingga kandungan air yang terukur merupakan kandungan air setelah proses pengomposan.

Kadar air yang disarankan oleh para pakar lingkup Puslitbangtanak, Direktorat Pupuk dan Pestisida, IPB Jurusan Tanah, Depperindag, serta Asosiasi Pengusaha Pupuk dan Pengguna ialah 4-12% untuk pupuk berbentuk padat dan 13-20% untuk pupuk berbentuk curah. Meskipun kelima pupuk yang diuji di atas tidak ada yang memenuhi persyaratan ini, hal ini tidak menjadikan kualitas pupuk tersebut menjadi kurang bagus. Penetapan kadar air $\leq 12\%$ lebih dikarenakan demi mempertahankan kekuatan bentuk pelet agar tidak mudah patah ataupun rusak selama pengangkutan. Yang penting kadar air yang terkandung tidak melebihi 60% dan kurang dari 40%. Jika pupuk mengandung kadar air lebih dari 60%, maka kemungkinan untuk terjadinya peluruhan nutrisi pupuk. Sedangkan kadar air yang kurang dari 40% akan mengganggu aktifitas mikroorganisme yang hidup di pupuk. Berdasarkan rentang data kadar air tersebut (40-60%), maka dapat disimpulkan bahwa pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi

memiliki kandungan air yang lebih baik dibandingkan dengan pupuk merk Super Tani.

4.2.3 Kapasitas Retensi Kelembaban (*Moisture Retention Capacity*)

Kapasitas retensi kelembaban merupakan kemampuan pupuk pelet untuk menyerap air kembali setelah dikeringkan (Gaudin, dkk.,2008). Pengujian MRC ini menjadi penting untuk dilakukan mengingat Indonesia merupakan Negara yang hanya memiliki dua musim, musim kemarau dan penghujan. Oleh karenanya, pupuk pelet yang dihasilkan hendaknya dapat bertahan lama dengan kondisi yang seperti ini.



Gambar 4.2 Kapasitas retensi kelembaban rata-rata pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi gas N_2O selama 12 jam

Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian kapasitas retensi dari ketiga jenis pelet kompos berbasis kotoran kambing yang diuji dengan perekat yang berbeda. Pengujian terbatas hanya pada pupuk berbentuk pelet karena memang pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan pelet tersebut terhadap kondisi air yang menggenang atau dalam keadaan terendam, sehingga pengujian hanya dilakukan terhadap pupuk yang memiliki bentuk fisik berupa pelet atau pun granul. Hasil menunjukkan bahwa pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan zat perekat berupa tepung sagu menempati urutan pertama (52,14% dan 53,18%), disusul tepung terigu (50,67%), dan tepung beras (50,47%). Angka 53,18% pada

pupuk pelet dengan zat perekat tepung sagu (15:85) berarti pupuk pelet tersebut dapat menyerap air hingga batas maksimal 53,18%. Kemampuan pelet sagu yang mampu menyerap lebih banyak air diduga karena kandungan amilosanya yang lebih tinggi daripada kedua jenis perekat lainnya (lihat **Tabel 2.3** pada Bab 2 bagian Amilum Pregelatinasi), yaitu sekitar 27% dengan tepung terigu dan beras masing-masing mengandung amilosa 17%. Pati dengan kadar amilosa yang tinggi akan bersifat kering, kurang lekat, dan cenderung meresap air lebih banyak (higroskopis) (Yusmalia, 2011). Meskipun begitu, keempat nilai kapasitas retensi kelembaban yang didapatkan tergolong memuaskan. Sebagaimana yang dinyatakan oleh Williams dan Miller (1992), nilai kapasitas retensi kelembaban umumnya berkisar antara 20% hingga 60% (Gaudin, Andres, & Cloirec, 2008).

Tabel 4. 2 Nilai Kapasitas Retensi Kelembaban Gaudin, Andres, & Cloirec (2008)

Nama	Kapasitas Retensi Kelembaban (%)
Am	64
Am 1	68
Am 5	69
Am 10	65
UP 10	67
UP 15	59
UP 20	47

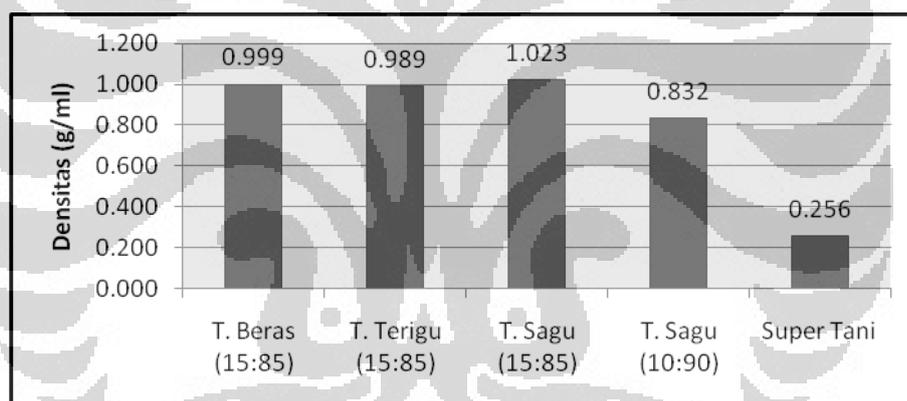
Sumber: Gaudin, Andres, & Cloirec (2008)

Berdasarkan hasil penelitian Gaudin, Andres, dan Cloirec (2008), nilai kapasitas retensi kelembaban yang didapatkan (**Tabel 4.2**) memiliki kecenderungan untuk mengecil seiring pertambahan kandungan perekat yang digunakan. Perbedaan kecenderungan yang dihasilkan antara penelitian Gaudin, Andres, dan Cloirec (2008) ini dengan penelitian ini mungkin disebabkan oleh perbedaan karakteristik dari perekat yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan perekat berupa tepung sagu yang merupakan polimer alam dan memiliki karakteristik higroskopis. Sedangkan dalam penelitian Gaudin, Andres, dan Cloirec (2008) perekat yang digunakan adalah tepung putih yang umum

digunakan pada bangunan industri dan dominan terdiri atas etilen dan etil asetat, yang mana memiliki karakteristik cenderung mengeras dan tidak higroskopis. Dengan perbedaan sifat mendasar diantara kedua perekat inilah yang menyebabkan perbedaan kemampuan perekat dalam menyerap air.

4.2.4 Densitas

Densitas digunakan untuk mengetahui kekompakan dan tekstur bahan. Bahan dengan tekstur yang kompak akan tahan terhadap proses penekanan sehingga ikatan antara partikel penyusun pelet menjadi kuat dan ruang antara partikel penyusun pelet menjadi lebih rapat (tidak terisi rongga udara). Hasil dari perhitungan densitas pupuk yang dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 4.3** berikut.



Gambar 4.3 Densitas rata-rata setiap pupuk uji

Nilai densitas pada ketiga jenis zat perekat yang berbeda, tetapi dengan kandungan perekat yang sama, memiliki nilai densitas yang dapat dikatakan sama. Nilai yang sedikit berbeda terlihat pada pupuk pelet tepung sagu dengan kandungan perekat 10:90. Hal ini dikarenakan kandungan perekatnya yang tidak sebanyak dengan ketiga pelet lainnya sehingga kekompakan yang dihasilkan pun tidak sama. Hal yang serupa juga dihasilkan pada penelitian Gaudin, Andres, & Cloirec (2008), dimana sampel dengan kandungan perekat yang lebih banyak memiliki nilai densitas yang lebih besar. Oleh sebab itu dalam penelitiannya, Gaudin, Andres, dan Cloirec (2008) menyatakan bahwa semakin besar kandungan

perekat yang digunakan maka *bulk density* yang didapatkan semakin meningkat pula nilainya (**Tabel 4.3**).

Tabel 4.3 Densitas hasil penelitian Gaudin dkk (2008)

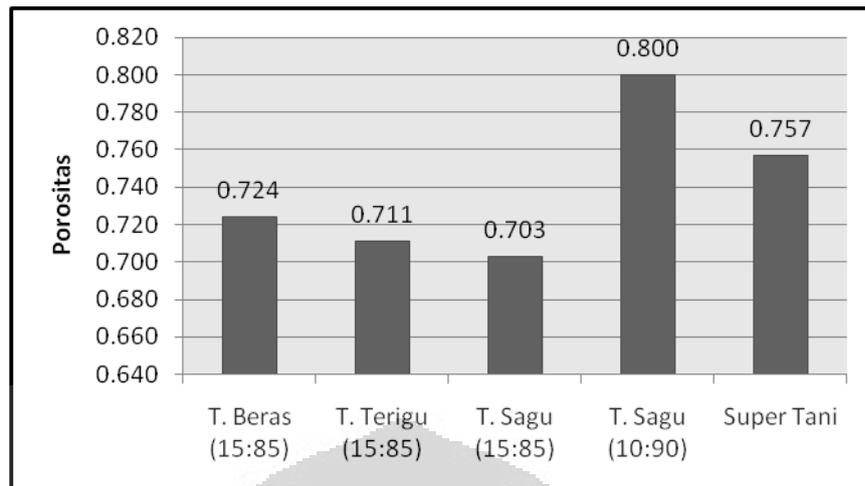
Nama	Densitas
Am	0,88
Am 1	0,86
Am 5	0,87
Am 10	0,9
UP 10	1,15
UP 15	1,00
UP 20	0,92

Sumber: Gaudin dkk (2008)

Selain itu, besarnya densitas juga dipengaruhi oleh besarnya kandungan air pada pelet. Semakin banyak air yang terkandung, maka densitas yang dihasilkan juga akan semakin besar. Penyebabnya ialah tertutupnya pori udara oleh air tersebut sehingga material akan semakin padat. Terbukti dari kecilnya nilai densitas pupuk merk Super Tani yang juga memiliki kandungan air yang sedikit.

4.2.5 Porositas

Porositas adalah rasio ruang kosong dengan total volum yang ditempati oleh material. Semakin besar nilai porositas dari suatu material, maka semakin poros atau mudah dilalui oleh gas material tersebut. Nilai maksimum porositas suatu material adalah 1. Namun, pada kenyataannya tidak ada material organik yang memiliki porositas sama dengan 1. Umumnya nilai porositas berada antara 0,5 hingga 0,9 (Devinny et al., 1999).



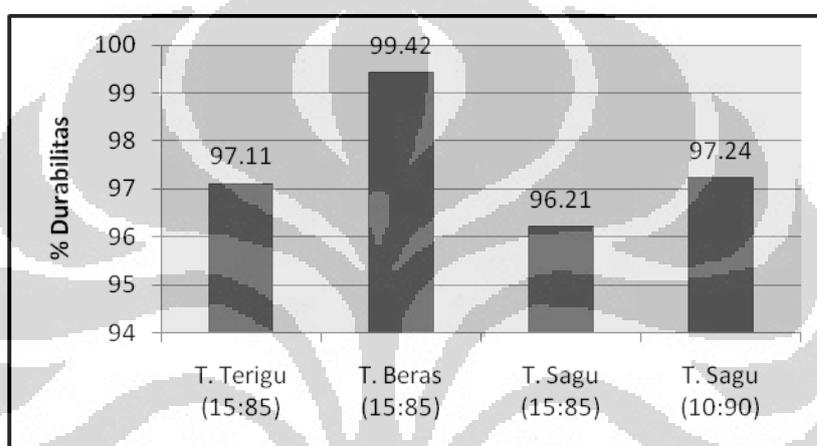
Gambar 4.4 Porositas pada Setiap Pupuk Uji

Gambar 4.4 adalah gambaran dari hasil pengujian porositas yang dilakukan. Pupuk dengan porositas tertinggi ialah pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan zat perekat tepung sagu perbandingan 10:90. Kemudian, pupuk merk Super Tani, pelet dengan perekat berupa tepung beras, terigu, dan yang terakhir adalah tepung sagu dengan perbandingan 15:85. Hal ini mungkin disebabkan oleh dua hal, yaitu kadar perekat yang digunakan dan kandungan air. Pada pelet dengan zat perekat berupa tepung sagu, kandungan air pada komposisi perekat 15:85 lebih tinggi dibandingkan dengan 10:90 (48,42%:45,06%). Dengan lebih tingginya kandungan air pada pelet dengan tepung sagu 15:85, maka itu artinya lebih sedikitnya rongga udara yang tersisa. Selain itu, pelet dengan tepung sagu 15:85 juga memiliki komposisi perekat yang lebih besar dibandingkan dengan pelet dengan tepung sagu 10:90. Komposisi perekat yang lebih besar menyebabkan rongga udara yang terbentuk menjadi lebih sempit akibat jumlah perekat yang lebih banyak. Peristiwa yang sama terjadi pada pelet dengan tepung beras dan terigu yang memiliki kandungan air yang hampir sama dengan pelet dengan tepung sagu 10:90, namun berbeda komposisi perekatnya.

4.2.6 Durabilitas

Durabilitas merupakan jumlah pelet yang masih utuh setelah diaduk dengan mekanik. Pelet dengan jumlah tertentu dimasukkan ke dalam alat pemutar selama 10 menit. Pelet yang telah teraduk selama kurang lebih 10 menit tersebut

kemudian disaring dan ditimbang kembali untuk diketahui banyaknya pelet yang masih bertahan setelah pengadukan. Seperti kapasitas retensi kelembaban, durabilitas merupakan salah satu ukuran yang mewakili karakteristik fisik pelet. Oleh karenanya, pengujian durabilitas ini hanya dilakukan untuk pupuk yang berbentuk pelet. Tabil dan Sokhansanj (1996), serta Adapa et al. (2003) menyatakan bahwa durabilitas dinilai tinggi saat hasil perhitungan menunjukkan nilai lebih dari 80%, medium saat antara 70-80%, dan rendah saat kurang dari 70% (Colley, Fasina, Bransby, & Lee, 2006).



Gambar 4.5 Durabilitas Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Hasil Biofiltrasi Selama 12 jam

Durabilitas tertinggi dicapai oleh pelet dengan zat perekat tepung beras, kemudian tepung terigu, dan yang terakhir ialah tepung sagu (lihat **Gambar 4.5**). Penyebab dari tingginya durabilitas tepung beras dapat disebabkan oleh kecilnya ukuran granula yang dimiliki oleh pati beras dibandingkan dengan zat perekat lainnya (lihat **Tabel 2.3**). Semakin kecil granulanya, maka akan semakin rapat ikatan antar granul sehingga semakin susah untuk dihancurkan. Hal ini juga berdampak pada meningkatnya densitas dari material tersebut.

Pelet dengan zat perekat tepung sagu (10:90) memiliki durabilitas yang lebih bagus dibandingkan dengan pelet dengan zat perekat tepung sagu (15:85) dikarenakan kandungan airnya yang tidak sebesar kandungan air pada pelet dengan zat perekat tepung sagu (15:85). Pelet dengan zat perekat tepung sagu 10:90 memiliki kandungan air sekitar 45,06%, sedangkan pelet dengan zat perekat tepung sagu 15:85 memiliki kandungan air sekitar 48,42%. Terlalu banyaknya air

akan mengganggu ikatan partikulat sehingga menghasilkan sistem dua fasa, partikel dan air, tanpa adanya gaya kapilari yang mempertahankan bentuk pelet (Colley, Fasina, Bransby, & Lee, 2006), sehingga menyebabkan pelet menjadi mudah patah atau hancur. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Colley, Fasina Bransby, dan Lee pada tahun 2006. Penelitian Colley, Fasina Bransby, dan Lee (2006) menyatakan bahwa durabilitas maksimum dicapai pada kandungan air 8,62% dan penurunan terjadi seiring dengan peningkatan kandungan air (hingga 78,44%). Perbedaan nilai kandungan air maksimum yang menjadi penyebab kehancuran pelet disebabkan oleh bahan yang digunakan untuk pemeletan. Pada Colley, Fasina Bransby, dan Lee (2006), bahan yang digunakan untuk pemeletan adalah rumput (*switchgrass*) yang mana merupakan bahan kurang lekat. Selain itu, pada proses pembuatan pelet yang dilakukan oleh Colley, Fasina Bransby, dan Lee (2006) tidak dilakukan penambahan bahan perekat (melainkan digunakan *steam*) sehingga durabilitas yang didapat cenderung lebih rendah dibandingkan dengan pelet yang menggunakan bahan perekat.

Secara pengamatan fisik, pelet dengan zat perekat tepung sagu 10:90 lebih bagus dibandingkan dengan pelet dengan zat perekat tepung beras. Setelah pemutaran di dalam mesin, pelet dengan zat perekat tepung beras tampak banyak yang terbagi dua. Akan tetapi, karena diameter penyaring yang digunakan lebih kecil dibandingkan ukuran pelet dengan zat perekat tepung beras yang telah terbagi dua maka pelet tersebut secara perhitungan tetap dianggap utuh. Berbeda dengan pelet dengan zat perekat tepung sagu 10:90 yang terlihat dominan utuh.

4.3 Karakterisasi Sifat Kimia

Karakterisasi sifat kimia dari suatu pupuk organik terdiri atas identifikasi kandungan nutrisi dan logam yang terkandung di dalamnya. Baik identifikasi kandungan nutrisi maupun logam menjadi penting untuk dilakukan mengingat keduanya memiliki peluang terserap oleh akar tanaman yang nantinya akan dikonsumsi oleh manusia.

Pada karakterisasi ini sampel yang digunakan hanya ada dua, yakni pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan perekat berupa tepung sagu 10:90 (merupakan karakteristik fisik terbaik) dan pupuk Super Tani. Pelet

kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan perekat berupa tepung sagu 10:90 dipilih sebagai pupuk organik dengan karakteristik fisik terbaik karena memiliki kelebihan pada hasil pengujian kapasitas retensi kelembaban, porositas, dan durabilitas diantara pelet-pelet kompos berbasis kotoran kambing lainnya.

4.3.1 Kandungan Nutrisi

Pengujian kandungan nutrisi dilakukan oleh Laboratorium Sucofindo, Cibitung. Berikut merupakan hasil pengujian nutrisi oleh Laboratorium Sucofindo, Cibitung.

Tabel 4.4 Perbandingan kandungan nutrisi antara pupuk merk super tani dan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi selama 12 jam dengan bahan perekat T. sagu (10:90)

Parameter	Unit	Super Tani	T. Sagu (10:90)	Ambang Batas
Nitrogen	%	0,13	0,11	-
Karbon Organik	%	24,70	14,17	≥ 12
Fosfor	%	0,08	0,44	< 5
Sulfur	%	0,08	0,19	-
Kalium	%	0,49	0,57	< 5

Sumber: Laboratorium Sucofindo, 2011

Berdasarkan **Tabel 4.4** terlihat bahwa kandungan nutrisi pada pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan zat perekat tepung sagu cenderung lebih besar dibandingkan dengan kandungan nutrisi pada pupuk Super Tani. Meskipun begitu, komposisi jumlah dari komponen-komponen yang terkandung di pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan zat perekat tepung sagu jauh berkurang dari komposisi awalnya. **Tabel 2.2** (Bab 2, sub bab 2.2) menunjukkan bahwa komposisi awal dari nutrisi kompos berbasis kotoran kambing yang berbentuk curah sangat tinggi, yaitu 30,17% untuk karbon organik, 1,73% untuk nitrogen, 2,57% fosfor, 1,56% kalium, dan 0,34% sulfur. Rendahnya kandungan kandungan nitrogen dan karbon pada pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan zat perekat tepung sagu ini diduga karena sebelumnya telah digunakan untuk aktifitas mikroorganisme pada biofiltrasi. Mikroorganisme memerlukan sekitar 30 bagian karbon terhadap setiap bagian nitrogen untuk metabolisme, dimana sekitar 20

bagian dari karbon tersebut dioksidasi menjadi CO₂ (ATP) dan 10 bagian lagi digunakan untuk mensintesis protoplasma untuk berkembang biak (Mei Linda, 2010). Meskipun begitu, kandungan karbon organik pada pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan zat perekat tepung sagu ini masih memenuhi kriteria dari ambang batas yang ditetapkan oleh syarat teknis hasil pembahasan para pakar lingkup Puslitbangtanak, Direktorat Pupuk dan Pestisida, IPB Jurusan Tanah, Depperindag, serta Asosiasi Pengusaha Pupuk dan Pengguna sehingga masih layak untuk digunakan sebagai penyubur tanaman (≥ 12).

Berbeda dengan kandungan nitrogen dan karbon yang rendah, kandungan fosfor, kalium, dan sulfur pada pelet kompos berbasis kotoran kambing ini justru lebih tinggi dibandingkan dengan yang dimiliki oleh pupuk Super Tani. Tingginya kandungan ketiga nutrisi ini (P, K, dan S), selain karena kompos berbasis kotoran kambing memang memiliki kandungan nutrisi yang sudah tinggi, dapat disebabkan oleh dua hal berikut. Penyebab pertama ialah perlakuan yang diberikan pada pelet kompos berbasis kotoran kambing tersebut sebelum biofiltrasi. Sehari sebelum proses biofiltrasi dimulai, pelet kompos berbasis kotoran kambing yang digunakan sebagai medium filter ini terlebih dahulu diberikan larutan nutrisi sintetik dan *trace element*. Komposisi nutrisi yang diberikan terdiri dari K₂HPO₄, KH₂PO₄, NH₄Cl, MgSO₄·7H₂O, CH₃COONa. Sedangkan larutan *trace element* terdiri dari EDTA, ZnSO₄·7H₂O, CaCl₂·2H₂O, MnCl₂·4H₂O, FeSO₄·7H₂O, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·2H₂O, CuSO₄·5H₂O, CoCl₂·H₂O. Senyawa-senyawa tersebut merupakan senyawa yang telah digunakan sebelumnya untuk menumbuhkan bakteri nitrifikasi aerobik (Yang, et.al.,2007). Komposisi nutrisi dan *trace element* yang ditambahkan mengandung unsur-unsur N, S, P, Ca, K, Na, Mg, Fe, Co, dan Zn. Penambahan larutan nutrisi ini dilakukan untuk memperpanjang masa hidup mikroba. Selain karbon dan energi dari degradasi kontaminan, mikroba juga memerlukan nutrisi utama untuk memperpanjang hidup (Datta & Allen, 2005).

Penyebab yang kedua ialah pembentukan kompos berbasis kotoran kambing menjadi pelet. Berdasarkan **Tabel 4.5** di bawah, terlihat bahwa tepung sagu yang digunakan sebagai bahan perekat pada pelet kompos berbasis kotoran kambing tersebut mengandung unsur C, N, dan P. Oleh sebab itu, pembentukan

kompos berbasis kotoran kambing menjadi pupuk pelet merupakan hal positif yang dilakukan. Dengan pembentukan kompos berbasis kotoran kambing menjadi pelet, pupuk akan mendapatkan tambahan nutrisi yang cukup banyak secara alami.

Tabel 4.5 Komposisi tepung sagu per 100 g

Komposisi Tepung Sagu	
Komponen	Tepung Sagu
Kalori (kal)	353
Protein (g)	0,7
Lemak (g)	0,2
Karbohidrat (g)	84,7
Kalsium (mg)	11
Fosfor (mg)	13
Zat Besi (mg)	1,5
Air (g)	14

Sumber: Direktorat Gizi, Depkes RI (1981)

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat disimpulkan komposisi kandungan nutrisi pada pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan perekat sagu 10:90 sedikit lebih baik dibandingkan dengan komposisi kandungan nutrisi pada pupuk merk Super Tani.

4.3.2 Kandungan Logam

Logam yang terkandung dalam pupuk dapat terserap ke dalam akar tanaman pada kondisi-kondisi tertentu. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui kandungan logam berat apa saja yang terdapat di dalam pupuk yang hendak digunakan. **Tabel 4.6** berikut merupakan hasil identifikasi kandungan beberapa logam berat oleh Laboratorium Sucofindo, Cibitung.

Tabel 4.6 Perbandingan Kandungan Nutrisi antara Pupuk Merk Super Tani dan Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Hasil Biofiltrasi Selama 12 jam dengan Bahan Perekat T. Sagu (10:90)

Parameter	Unit	Super Tani	T. Sagu (10:90)	Ambang Batas
Logam Cd	ppm	0,21	< 0,04	≤ 10
Logam Pb	ppm	< 0,1	11	≤ 50
Logam As	ppm	0,31	0,56	≤ 10
Logam Hg	ppm	< 0,001	0,01	≤ 1

Sumber: Laboratorium Sucofindo, 2011

Berdasarkan hasil identifikasi kandungan logam-logam berat di atas, didapatkan bahwa seluruh kandungan logam yang dicantumkan pada **Tabel 4.6** berada jauh di bawah batas maksimum kandungan yang disarankan oleh syarat teknis hasil pembahasan para pakar lingkup Puslitbangtanak, Direktorat Pupuk dan Pestisida, IPB Jurusan Tanah, Depperindag, serta Asosiasi Pengusaha Pupuk dan Pengguna (**Lampiran 8**). Adanya perbedaan kandungan logam antara pupuk merk Super Tani dengan pupuk pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan zat perekat tepung sagu ialah pencemaran logam-logam tersebut pada lingkungan tempat sumber pupuk tersebut berada. Lingkungan tempat sumber pupuk yang tercemar akan menyebabkan tingginya kandungan logam yang terdapat pada pupuk tersebut.

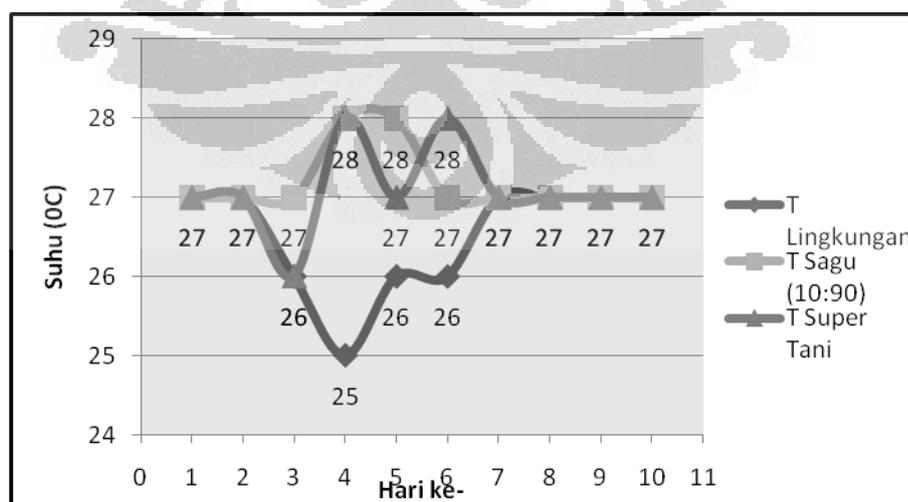
Dua dari empat jenis logam yang identifikasi di atas patut diwaspadai dalam penggunaannya terhadap tanaman. Kedua logam yang dimaksudkan di sini ialah logam Cd (*cadmium*) dan Hg (merkuri). Kedua jenis logam ini ditemukan mampu diserap oleh jenis tanaman tertentu dalam jumlah yang cukup banyak. Tanaman yang diketahui dapat menyerap Cd adalah tembakau, jamur, bayam, dan tanaman berdaun lainnya (Woodbury, 1993). Adapun tanaman yang diketahui dapat menyerap merkuri ialah beberapa jenis jamur (Woodbury, 1993). Timbal merupakan salah satu logam yang juga mengancam kehidupan manusia. Akan tetapi, jumlah logam ini sangat kecil di tanah dan penambahan kompos dapat mengikat Pb agar tidak terserap oleh tanaman (Woodbury, 1993). Untuk As (*arsenic*) sendiri belum diketahui tanaman yang mampu menyerapnya.

4.4 Karakterisasi Kematangan Pupuk

Menurut Iannotti et al. (1994), salah satu faktor penting yang mempengaruhi kesuksesan penggunaan kompos untuk tujuan pertanian ialah kestabilan atau kematangan kompos. Aplikasi dari kompos yang tidak stabil atau tidak matang, berdasarkan Brodie et al. (1994), He et al. (1995), serta Keeling et al. (1994) dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman yang lambat dan merusak hasil pertanian dengan mengambil oksigen atau menyebabkan *phytotoxicity* pada tanaman akibat biodegradasi material organik yang tidak sempurna (Wu, Ma, & Martinez, 2000).

4.4.1 Kestabilan Pupuk

Kestabilan dari suatu pupuk mencerminkan tahapan atau dekomposisi material organik, yang mana berhubungan dengan komponen organik yang belum terdekomposisi dan resultan aktifitas biologi pada material. Kestabilan kompos dapat diekspresikan sebagai fungsi dari aktifitas mikrobiologi; hal ini dapat ditentukan dengan O_2 uptake rate, laju produksi CO_2 , atau dengan panas yang dilepaskan sebagai hasil dari aktifitas mikrobial (Iannotti et al., 1993). Dalam penelitian ini, pengujian kestabilan suhu yang dilakukan adalah yang ketiga, yaitu pengukuran panas yang dihasilkan pupuk sebagai akibat aktifitas mikrobial. Pengukuran dilakukan selama 10 hari penuh dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.6** berikut ini.



Gambar 4.6 Hasil pencatatan temperatur pupuk uji selama 10 hari berturut-turut

Hasil dari pencatatan temperatur pupuk selama kurang lebih 10 hari menunjukkan bahwa pupuk yang diuji termasuk ke dalam kategori matang menurut CCQC (*California Compost Quality Council*) dan CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*). CCQC (2001) menetapkan batas matang pupuk ialah terjadinya kenaikan temperatur kurang dari 20⁰C, sedangkan CCME (2005) menetapkan nilai kurang dari 8⁰C. Berdasarkan **Gambar 4.6** diketahui bahwa perbedaan temperatur antara temperatur lingkungan dan kompos terjadi pada hari ke tiga hingga hari ke enam. Pada pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan perekat tepung sagu 10:90, perbedaan temperatur terbesar terjadi pada hari ke empat ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) dengan temperatur lingkungan sebesar 25⁰C. Hal yang sama juga terjadi pada pupuk merk Super Tani. Penyebab dari perbedaan temperatur yang tidak biasa ini mungkin disebabkan oleh rendahnya temperatur lingkungan yang terukur saat itu. Pada hari tersebut, kondisi cuaca memang tidak cerah dan diselingi hujan rintik-rintik. Kondisi inilah yang membuat temperatur lingkungan menjadi lebih dingin dari biasanya. Walaupun terdapat perbedaan suhu antara pupuk dan lingkungan, tetapi perbedaan suhu kedua pupuk tersebut masih berada dalam rentang untuk kategori pupuk yang matang sehingga penggunaan kedua pupuk tersebut untuk tanaman tergolong aman.

4.4.2 Perkecambahan

Kematangan dari pupuk merupakan tingkat penyelesaian dari proses pengomposan. Iannotti et al. (1993) menyatakan umumnya kematangan kompos dikaitkan dengan tingkat dekomposisi substansi organik *phytotoxic* yang dihasilkan selama pengomposan; hal ini dapat diketahui melalui pengujian pada tanaman atau kecambah (Wu, Ma, & Martinez, 2000). Bentuk pengujian kematangan kompos yang dilakukan pada penelitian ini ialah berupa pengujian perkecambahan pada skala laboratorium. Pengujian perkecambahan ini dilakukan pada medium kapas dan kertas saring dengan cairan yang berbeda. Pada medium pertama diberikan cairan ekstrak pupuk pelet kompos berbasis kotoran kambing dengan tepung sagu (10:90), medium ke dua diberikan cairan ekstrak pupuk Super Tani, dan medium ke tiga diberikan aquades. Perkecambahan dengan aquades

merupakan kontrol terhadap perkecambahan pada kedua medium lainnya. Hasil dari masing-masing perkecambahan pada medium yang menggunakan ekstrak pupuk akan dibagi dengan perkecambahan pada medium dengan aquades untuk mendapatkan persentase perkecambahan. Biji yang digunakan untuk perkecambahan ialah biji tomat. Tomat dipilih karena sifatnya sensitif terhadap faktor-faktor kematangan, tidak sensitif terhadap garam, dan responsif terhadap jumlah nitrogen dan kalium yang terlarut (Evanylo, 2010).

Tabel 4.7 Persentase Relatif Perkecambahan Pelet Kompos Berbasis Kotoran Kambing Hasil Biofiltrasi Selama 12 jam dan Pupuk Merk Super Tani

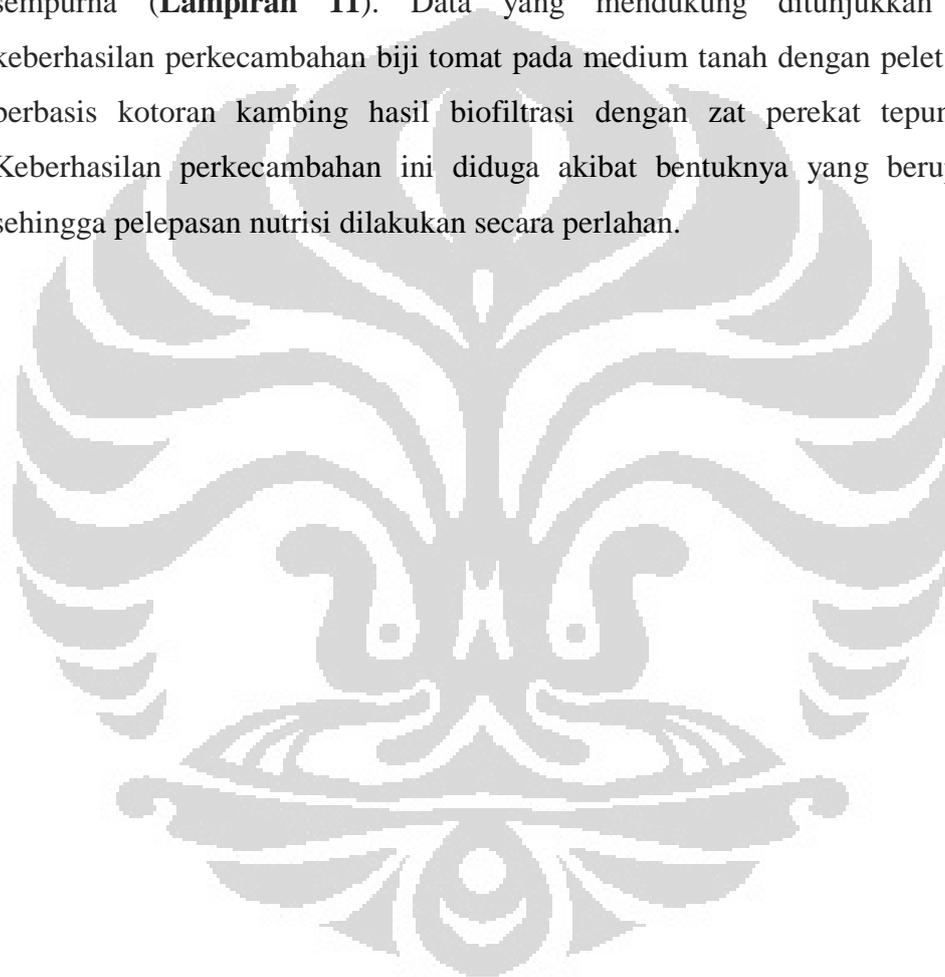
Parameter	T. Sagu (10:90)			Pupuk Merk Super Tani		
% Relatif Perkecambahan	18,7	33,3	63,6	100	166,7	145,4

Berdasarkan **Tabel 4.7** diketahui bahwa rata-rata persentase perkecambahan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat tepung sagu (38,53%) lebih rendah dari persentase pupuk merk Super Tani (137,37%). Secara teoritis, persentase perkecambahan maksimal hanya 100%, namun pada pengujian ini persentase yang dihasilkan untuk pupuk merk Super Tani > 100%. Hal ini dikarenakan, aquades yang merupakan medium kontrol dalam pengujian ini menghasilkan perkecambahan yang lebih sedikit dibandingkan dengan perkecambahan pada pupuk merk Super Tani. Adapun penyebab dari kecilnya persentase diduga akibat terlalu kentalnya cairan ekstrak kompos yang digunakan.



Gambar 4.7 (a) Ekstrak Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Hasil Biofiltrasi Sagu 10:90; (b) Ekstrak Pupuk merk Super Tani

Dengan metode pengekstrakan yang sama, kekentalan cairan ekstrak yang dihasilkan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat tepung sagu 10:90 (**Gambar 4.7a**) berbeda dengan cairan ekstrak pupuk merk Super Tani (**Gambar 4.7b**). Secara tekstur cairan ekstrak milik pupuk merk Super Tani lebih encer, hampir serupa dengan tekstur aquades. Tekstur yang lebih kental ini mungkin disebabkan terlalu banyaknya nutrisi yang terekstrak sehingga ketika disiramkan ke biji perkecambahan cenderung tidak berjalan dengan sempurna (**Lampiran 11**). Data yang mendukung ditunjukkan dengan keberhasilan perkecambahan biji tomat pada medium tanah dengan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat tepung sagu. Keberhasilan perkecambahan ini diduga akibat bentuknya yang berupa pelet sehingga pelepasan nutrisi dilakukan secara perlahan.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan penjelasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat berupa tepung sagu (10:90) merupakan pelet dengan karakteristik fisik terbaik berdasarkan hasil pengujian berupa pH, kandungan air, kapasitas retensi kelembaban, densitas, porositas, dan durabilitas.
2. Kandungan logam pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat berupa tepung sagu (10:90) dan pupuk Super Tani masih berada jauh di bawah ambang batas yang disarankan oleh para pakar lingkup Puslitbangtanak, Direktorat Pupuk dan Pestisida, IPB Jurusan Tanah, Depperindag, serta Asosiasi Pengusaha Pupuk dan Pengguna (T. sagu 10:90 → Cd: < 0,04 ppm, Pb: 11 ppm, As: 0,56 ppm, & Hg: 0,01 ppm; Super Tani → Cd: 0,21 ppm, Pb: < 0,1 ppm, As: 0,31 ppm, & Hg: 0,001 ppm; Ambang batas → Cd: ≤ 10 ppm, Pb: ≤ 50 ppm, As: ≤ 50 ppm, & Hg: ≤ 1 ppm),
3. Kandungan nutrisi pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat berupa tepung sagu (10:90) secara umum sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Super Tani (T. sagu 10:90 → C: 14,7%, N: 0,11%, S: 0,19%, P: 0,44%, & K: 0,57%; Super Tani → C: 24,7%, N: 0,13%, S: 0,08%, P: 0,08%, & K: 0,49%).
4. Berdasarkan hasil pengujian kestabilan, pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat berupa tepung sagu (10:90) dan merk Super Tani tergolong ke dalam pupuk matang karena memiliki beda suhu (ΔT) < 20⁰C (standar CCQC) atau < 8⁰C (standar CCME) dengan suhu lingkungan.
5. Hasil uji laboratorium perkecambahan pada merk Super Tani tiga kali lebih bagus dibandingkan perkecambahan pelet kompos berbasis kotoran

kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat berupa tepung sagu (10:90) disebabkan terlalu kentalnya ekstrak pupuk pelet yang diperoleh.

6. Secara keseluruhan pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat berupa tepung sagu (10:90) memiliki kualitas sebagai pupuk organik yang lebih baik dibandingkan dengan merk Super Tani, terutama dilihat dari kelebihanannya yang sangat menonjol dalam sifat fisik dibandingkan dengan merk Super Tani.

5.2 Saran

Dari hasil yang didapat pada penelitian ini dan uraian pada bab sebelumnya terdapat dua saran yang diberikan, yakni saran mengenai pengurangan kandungan logam pada pupuk dan penggunaan pupuk pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat berupa tepung sagu (10:90) pada tanaman.

- Kandungan logam yang tinggi dapat disebabkan berbagai faktor. Salah satunya ialah tercemarnya lingkungan tempat makanan kambing berasal, yang kotorannya kemudian digunakan sebagai bahan pembuatan pelet kompos berbasis kotoran kambing ini. Oleh sebab itu, demi mendapatkan pupuk yang terbaik perlu dilakukan pengawasan mulai dari sumber makanan si ternak hingga proses akhir pengomposannya.
- Uji perkecambahan pada skala laboratorium melibatkan ekstraksi pupuk yang diuji. Dari tekstur cairan hasil ekstraksi yang didapatkan terasa bahwa cairan ekstraksi pelet kompos berbasis kotoran kambing hasil biofiltrasi dengan zat perekat berupa tepung sagu (10:90) lebih kental dibandingkan dengan cairan ekstraksi pupuk merk Super Tani. Oleh karenanya dalam penelitian yang akan datang hendaknya ekstraksi yang dilakukan bukanlah 1:10 (1 gram pupuk: 10 ml aquades), namun lebih daripada itu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ankolekar, C., & Labbe, R. G. (2010). Physical characteristics of spores of food-associated isolates of the *Bacillus cereus* group. *Applied and Environmental Microbiology*, 76 (3), 982-984.
- Arisha, H. M. E., Gad, A. A., & Younes, S. E. (2003). Response of some pepper cultivar to organic and mineral nitrogen fertilizer under sandy soil conditions. *Zagazig J. Agric. Res.*, 30, 1875-99.
- Bai, Z., Zhu, T., Dong, Y., Wang, Z., & Zhu, T. (2006). Emission of ammonia from indoor concrete wall and assesment of human exposure. *Environ. Int.* 32, 303-311.
- Bohn, H. L. (1992). Considering biofiltration for decontaminating gases. *Chem Eng Prog*, 88, 34-40.
- Bueno, P., Tapias, R., Lopez, F., & Diaz, M. J. (2007). Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. *Bioresource Technology*, 99, 5069-5077.
- Cahrlena. (2004). *Pencemaran logam berat timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada sayur-sayuran*. Institut Pertanian Bogor, Program Pascasarjana/S3.
- California Compost Quality Council. (2001). *Compost maturity index*. Nevada City, CA 95959.
- Canadian Council of Ministers of The Environment. (2005). *Guidelines for compost quality*. ISBN 1-896997-60-0.
- Colley, Z., Fasina, O. O., Bransby, D., & Lee, Y. Y. (2006). Moisture effect on the physical characteristics of switchgrass pellets. 49 (6), 1845-1851.
- Corsi, R. L. & Seed, L. (1995). Biofiltration of BTEX: media, substrate, and loading effects. *Environ Prog*, 14, 151-158.
- Datta, I., & Allen, Dr. Grant. (2005). *Biotechnology for odor and air pollution control*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Delhomenie, M. C., Bibeau, L., & Heitz, M. (2002). a study of the impact of particle size and adsorption phenomena in a compost-based biological filter. *Chemical Engineering Science*, 57, 4999-5010.

- Devinny, J. S., Deshusses, M., & Webster, T. S. (1999). Biofiltration for air pollution control. 299.
- Filayuri, S. (2009). *Evaluasi kinerja medium berbasis kotoran sapi sebagai filter pada biofiltrasi dinitrogen monoksida*. Laporan Skripsi, Universitas Indonesia, Teknik Kimia, Depok.
- Gaudin, F., Andres, Y., & Cloirec, P. L. (2008). Packing material formulation for odorous emission biofiltration. *Chemosphere*, 70, 958-966.
- Gaur, A. R. (1983). Manual of rural composting. FAO, USA.
- Govind, R. (1999). *Biofiltration: an innovative technology for the future*. University of Cincinnati, Chemical Engineering, Cincinnati.
- Govind, R., & Wang, Z. (1998). *Effect of support media on iso-pentane biofiltration* (Paper submitted to Environmental Progress).
- Guest, I., & Varma, D. (1992). Teratogenic and macromolecular synthesis inhibitory effects of triethylamine on mouse embryos in culture. *J. Toxicol. Environ. Health* 36, 27-41.
- Hara, Masayuki. (2001). Fertilizer pellets made from composted livestock manure. Japan.
- Hongkong Organic Resource Centre. (2005). *Compost and sil conditioner quality standards*. Hong Kong Baptist University, Kowloon Tong.
- Iannotti, D. A., Pang, T., Toth, B. L., Elwell, D. L., Keener, H. M., & Hoitink, H. A. J. (1994). Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. *J. Environ. Qual.*, 23, 1177-1183.
- Kennes, C., & Veiga, M. C. (2001). Conventional biofilter. *In: Kennes, C., Veiga, M. C. (Eds). Bioreactor for waste gas treatment*. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands, 47-98
- Kim, K. Y., Kim, H. W., Han, S. K., Hwang, E. J., Lee, C. Y., & Shin, H. S. (2007). Effect of granular porous media on the composting of swine manure. *Waste Management*, 28, 2336-2343.
- Kirk-Othmer. (1997). STARCH. *In Encyclopedia of chemical technology* (4 ed., Vol. 22). United State of America: John Wiley & Sons, Inc.

- Kurnia, U. dkk. (2001). *Perkembangan dan penggunaan pupuk organik di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Pupuk dan Pestisida, Direktorat Jendral Bina Sarana Pertanian.
- Linda, M. (2010). *Pengaruh waktu kedalaman dan waktu inkubasi medium kompos berbasis kotoran kambing dalam biofiltrasi gas N₂O*. Laporan Skripsi, Universitas Indonesia, Teknik Kimia, Depok.
- Nagda, G. K., Diwan, A. M., & Ghole, V. S. (2006). seed germination bioassays to asses toxicity of molasses fermentation based bulk drug industry effluent. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 5 (6), 1598-1603.
- Nicolai, R. E. & Janni, K. A. (2000). *Designing biofilters for livestock facilities*. In: *Livestock and Poultry Odor Workshop 2*. Departemen of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Minnesota, St. Paul, MN, USA.
- Noviani, C. (2009). *Reduksi gas dinitrogen monoksida melalui biofiltrasi dengan menggunakan material kompos termodifikasi*. Laporan Skripsi, Universitas Indonesia, Teknik Kimia, Depok.
- Shareefdeen, Z. M. (2009). Development of a biofilter media for removal of hydrogen sulphide. *Global Nest*, 11 (2), 218-222.
- Simanjuntak, J. (2008). *Reduksi gas dinitrogen monoksida dengan menggunakan pupuk kompos sebagai medium filter*. Laporan Skripsi, Universitas Indonesia, Teknik Kimia, Depok.
- Suriadikarta, D. A., & Setyorini, D. (2005). Baku mutu pupuk organik. In D. A. Suriadikarta, & D. Setyorini.
- Todar, K. (2011). *Todar's online textbook of bacteriology*. Retrieved Mei 30, 2011, from www.textbookofbacteriology.net.
- Torkian, A., Shirazi, H. Keshavarzi, & Azimi A. (2005). Effects of operational conditions on the performance of triethylamine biofiltration. *Iranian J. Env. Health Science Engineering*, 22 (2), 31-40.
- Utami dkk. (2009). *Pengaruh parameter operasi dalam proses biofiltrasi N₂O dengan medium filter berbasis kompos*. Makalah dipresentasikan pada Proceeding Seminar Tjipto Utomo 2009, Kampus ITENAS Bandung.

- Utami dkk. (2009). *Biosorption study for the removal of nitrous oxide gas using compost biofilter*. Makalah dipresentasikan pada International Symposium On Environmental Science and Technology, Shanghai.
- Valzano, D. F., Jackson, D. M., & Campbell, A. (2001). *Greenhouse emissions from composting facilities*. University of New South Wales. Sydney: Recycled Organic Units.
- Wijnands, L. M., Dufrenne, J. B., & van Leusden, L. M. (2005). *Bacillus cereus: characteristics, behaviour in the gastro-intestinal tract, and interaction with Caco-2 cells*. RIVM Report 250912003.
- Woodbury, P. B. (1993). *Potential effects of heavy metals in municipal solid waste composts on plants and the environment*. Boyce Thompson Institute. New York: Cornell Waste Management Institute.
- Wu, L., Ma, L. Q., & Martinez, G. A. (2000). Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolid compost. *Journal of Environmental Quality*, 29 (2), 424-429.
- Pagans, La., Estel, Font, X., & S'anchez, A. (2005). Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases. *Chem Eng Journal*, 113, 105-110.
- Sinaga, Yusmalia Rachma. (2011). *Pengaruh zat pengikat pada pelet kompos sebagai medium biofilter dalam proses reduksi gas dinitrogen monoksida*. Laporan Skripsi, Universitas Indonesia, Teknik Kimia, Depok.
- Stevenson, F. T. (1982). *Humus chemistry*. John Wiley and Sons, Newyork.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil pengujian kandungan air

Perhitungan air yang terkandung di dalam pelet kompos berbasis kotoran kambing dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$WC = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{m_{awal}} \times 100\%$$

a. Zat Perekat Berupa Tepung Terigu

Berat Pelet Awal (gram)	Berat Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Selama Pengeringan (gram)					Berat Pelet Akhir (gram)	% WC
	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam		
5,03	4,52	4,13	3,76	3,22	2,8	2,8	44,33
5,06	4,52	4,12	3,75	3,23	2,81	2,81	44,47
5,07	4,5	4,07	3,72	3,2	2,8	2,8	44,77

b. Zat Perekat Berupa Tepung Beras

Berat Pelet (gram)	Berat Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Selama Pengeringan (gram)					Berat Pelet Akhir (gram)	% WC
	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam		
5,03	4,51	3,7	3,12	2,84	2,73	2,73	45,73
5,06	4,57	3,65	3,12	2,89	2,77	2,77	45,26
4,25	3,82	3,07	2,53	2,35	2,3	2,3	45,88

(Lanjutan)

c. Zat Perekat Berupa Tepung Sagu

Berat Pelet (gram)	Berat Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Selama Pengeringan (gram)					Berat Pelet Akhir (gram)	% WC
	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam		
5,07	4,61	4,18	3,8	3,17	2,66	2,66	47,53
5,07	4,5	3,87	3,55	3,05	2,66	2,66	47,53
5,00	4,28	3,85	3,46	2,91	2,49	2,49	50,2

d. Zat Perekat Berupa Tepung Sagu (10:90)

Berat Pelet (gram)	Berat Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Selama Pengeringan (gram)					Berat Pelet Akhir (gram)	% WC
	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam		
5,02	4,5	3,59	3,08	2,78	2,73	2,73	45,62
5,06	4,63	3,84	3,35	2,97	2,81	2,81	44,47
5,1	4,57	3,67	3,14	2,84	2,8	2,8	45,1

e. Pupuk Komersil

Berat Pupuk (gram)	Berat Pupuk Komersil Selama Pengeringan					Berat Pupuk Komersil Akhir (gram)	% WC
	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam		
5,02	3,93	3,52	3,314	3,31	3,306	3,306	34,14
5,02	4,06	3,65	3,34	3,32	3,31	3,31	34,06
5,01	4,16	3,71	3,37	3,36	3,34	3,34	33,33

Lampiran 2. Data hasil pengujian kapasitas kelembaban (*moisture retention capacity*)

a. Zat Perekat Berupa Tepung Terigu

Berat Pelet Awal (gram)	Berat Pelet Basah (gram)	AW		Berat Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Selama Pengeringan (gram)				Berat Pelet Kering (gram)	% MRC
		(gram)	(%)	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam		
5,05	5,26	0,21	3,99	3,29	2,75	2,71	-	2,71	48,48
5,05	5,55	0,5	9,01	3,54	2,8	2,74	-	2,74	50,63
5,03	5,71	0,68	11,91	3,67	2,77	2,69	-	2,69	52,89

b. Zat Perekat Berupa Tepung Beras

Berat Pelet Awal (gram)	Berat Pelet Basah (gram)	AW		Berat Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Selama Pengeringan (gram)				Berat Pelet Kering (gram)	% MRC
		(gram)	(%)	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam		
5,00	5,27	0,27	5,12	3,44	2,72	2,71	-	2,71	48,58
5,04	5,29	0,25	4,73	3,38	2,65	2,6	-	2,6	50,85
5,06	5,29	0,23	4,35	3,4	2,63	2,54	-	2,54	51,99

(Lanjutan)

c. Zat Perekat Berupa Tepung Sagu

Berat Pelet Awal (gram)	Berat Pelet Basah (gram)	AW		Berat Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Selama Pengeringan (gram)				Berat Pelet Kering (gram)	% MRC
		(gram)	(%)	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam		
5,07	5,66	0,59	10,42	4,05	3,04	2,61	2,58	2,58	54,42
5,05	5,29	0,24	4,54	3,61	2,74	2,53	-	2,53	52,17
5,08	5,4	0,32	5,93	3,73	2,84	2,56	2,54	2,54	52,96

d. Zat Perekat Berupa Tepung Sagu (10:90)

Berat Pelet Awal (gram)	Berat Pelet Basah (gram)	AW		Berat Pelet Kompos berbasis kotoran kambing Selama Pengeringan (gram)				Berat Pelet Kering (gram)	% MRC
		(gram)	(%)	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam		
5,13	5,39	0,26	4,82	3,89	3,02	2,66	2,64	2,64	51,02
5,11	5,87	0,76	12,95	4,35	3,38	2,75	2,69	2,69	54,17
5,09	5,33	0,24	4,5	3,84	3	2,64	2,6	2,6	51,22

Lampiran 3. Data hasil pengujian porositas

No.	Pupuk	Massa Kompos (gram)	Densitas Kompos (g/ml)	Volum Kompos (ml)	Volum <i>Beaker Glass</i> (ml)	Porositas Kompos
1.	Tepung Beras 15:85	57,88	0,999	57,94	80	0,724
2.	Tepung Terigu 15:85	57,86	0,9895	56,87	80	0,711
3.	Tepung Sagu 15:85	57,5	1,023	56,21	80	0,703
4.	Tepung Sagu 10:90	83,21	0,832	100	125	0,8
5.	Komersil	20,06	0,265	75,7	100	0,757

Lampiran 4. Data hasil pengujian densitas

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan densitas:

1. Menghitung massa kompos

$$\text{massa kompos} = (\text{massa beaker glass} + \text{kompos}) - (\text{massa beaker glass})$$

2. Menghitung densitas kompos dengan formula

$$\rho = \frac{m_{\text{kompos}}}{V_{\text{kompos}}}$$

No.	Pupuk	Volum Kompos (ml)	Massa Kompos (gram)	Densitas Kompos (g/ml)
1.	Tepung Beras 15:85	80	79,91	0,999
2.	Tepung Terigu 15:85	80	79,16	0,9895
3.	Tepung Sagu 15:85	80	81,81	1,023
4.	Tepung Sagu 10:90	100	83,21	0,832
5.	Komersil	100	25,65	0,256

Lampiran 5. Data Hasil Pengujian Durabilitas

Ketahanan partikel pelet yang dirumuskan sehingga persentase dari banyaknya pelet utuh setelah melalui perlakuan fisik dalam alat uji durabilitas terhadap jumlah pelet semula sebelum dimasukkan kedalam alat. Oleh sebab itu, formulasi yang digunakan untuk mewakili ketahanan suatu pelet adalah:

$$\% \text{ durabilitas} = \frac{\text{berat pelet sesudah uji}}{\text{berat pelet sebelum uji}} \times 100\%$$

Zat Perekat	Massa Sebelum Uji (gram)	Massa Sesudah Uji (gram)	% durabilitas
T. Terigu 15:85	452,5	439,4	97,11
T. Beras 15:85	449,8	447,2	99,42
T. Sagu 15:85	425,4	409,3	96,21
T. Sagu 10:90	500,6	486,8	97,24

Lampiran 6. Data Hasil Pengujian Kecambah

Perkecambahan merupakan salah satu indikator apakah suatu pupuk aman untuk digunakan. Pengujian ini menjadi penting terutama jika pupuk yang digunakan tersebut akan digunakan pada tanaman yang dikonsumsi oleh manusia. Nilai perkecambahan akan diwakili dengan persentase kecambah seperti yang ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$\text{Perkecambahan (\%)} = \frac{\Sigma \text{benih yang berkecambah pada pupuk}}{\Sigma \text{benih yang berkecambah pada air}} \times 100\%$$

Parameter	Media Kontrol (Aquades)			Pelet Hasil Biofiltrasi dengan Zat Perekat berupa T. Sagu (10:90)			Pupuk Merk Super Tani		
	Jumlah Biji Berkecambah	16	12	11	3	4	7	16	20
Jumlah Biji Tidak Berkecambah	4	8	9	17	16	13	4	0	4
% Perkecambahan	-	-	-	18,7	33,3	63,6	100	166,7	145,4

Compost and Soil Conditioner Quality Standards

Compost Maturity		Products must pass one of the tests from Group A AND one of the tests from Group B		
		Group A 1. Ammonia conc. ≤ 700 mg/kg dw 2. Ammonia: nitrate ratio ≤ 3 3. Volatile organic acids conc. ≤ 500 ppm dw		Group B 1. Carbon to nitrogen ratio ≤ 25 2. Oxygen demand ≤ 0.4 g O ₂ /kg TS/hr 3. Carbon dioxide evolution ≤ 2 g C/kg VS/day
Compost Quality	Foreign Matter	Stones larger than 5mm $\leq 5\%$ dw Man-made Foreign Matters include glass, plastic and metal larger than 2mm $\leq 0.5\%$ dw		
	Heavy Metal	Unit : mg/kg dw		
		<u>Organic Farming</u>	<u>General Agricultural Use</u>	<u>Non-Agricultural Use</u>
		Arsenic ≤ 10	Arsenic ≤ 13	Arsenic ≤ 41
		Cadmium ≤ 1	Cadmium ≤ 3	Cadmium ≤ 39
		Chromium ≤ 100	Chromium ≤ 210	Chromium ≤ 1200
Copper ≤ 300		Copper ≤ 700	Copper ≤ 1500	
Mercury ≤ 1		Mercury ≤ 1	Mercury ≤ 17	
Nickel ≤ 50		Nickel ≤ 62	Nickel ≤ 420	
Physicochemical Properties	pH 5.5 – 8.5			
	Organic matter $> 20\%$ dw			
	Moisture 25 – 35%			
	Pathogen			
Seed Germination Index	<i>Salmonella sp.</i> ≤ 3 MPN/4g			
	<i>E. Coli</i> ≤ 1000 MPN/g			
Nutrient content	Dilution : solid to water ratio of 1:5 (wet weight) Seed Germination Index $\geq 80\%$			
	Total N + Total P + Total K $\geq 4\%$ dw			

Lampiran 7. Contoh standar kualitas kompos di Hong Kong

Sumber: Hong Kong Resource Centre (2005)

No.	Parameter	Kandungan	
		Padat	Cair
1.	C-organik (%)	≥ 12	≥ 4,5
2.	C/N rasio	10 – 25	-
3.	Bahan ikutan (%) (krikil, beling, dan plastik)	≤ 2	-
4.	Kadar air (%):		
	-Granula	4 – 12	-
	-Curah	13 – 20	-
5.	Kadar logam berat		
	As (ppm)	≤ 10	≤ 10
	Hg (ppm)	≤ 1	≤ 1
	Pb (ppm)	≤ 50	≤ 50
	Cd (ppm)	≤ 10	≤ 10
6.	pH	4 - 8	4 - 8
7.	Kadar total		
	- P ₂ O ₅ (%)	< 5	< 5
	-K ₂ O (%)	< 5	< 5
8.	Mikroba patogen (<i>E.coli</i> , <i>Salmonella</i>)	Dicantumkan	Dicantumkan
9.	Kadar unsur mikro (%)		
	Zn, Cu, Mn,	Maks 0,500	Maks 0.2500
	Co,	Maks 0,002	Maks 0,0005
	B	Maks 0,250	Maks 0.1250
	Mo	Maks 0.001	Maks 0,0010
	Fe	Maks 0,400	Maks 0,0400

* C-organik 7–12% dimasukkan sebagai pembenah tanah

Sumber: Suriadikarta dan Setyorini (2005)

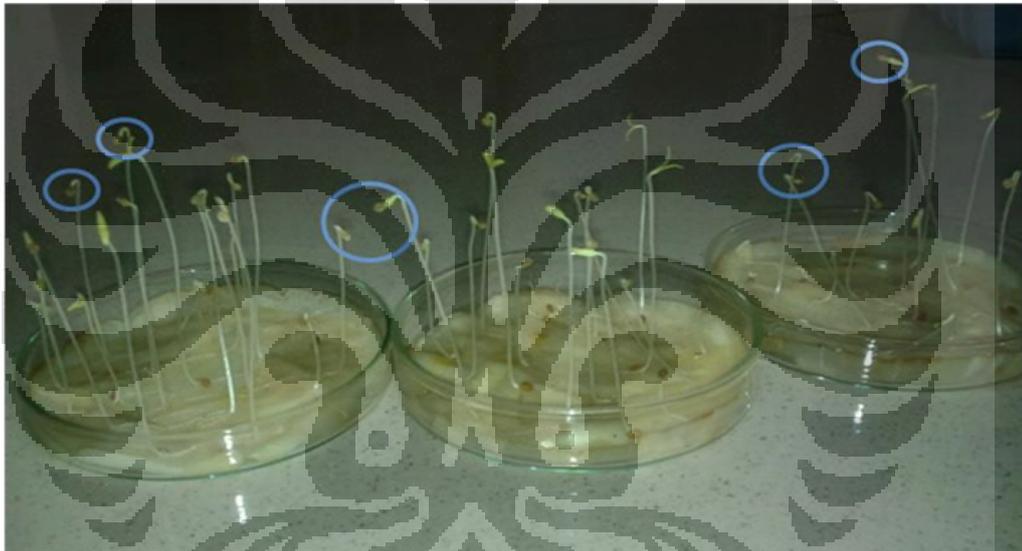
Lampiran 8. Standar hasil musyawarah oleh para pakar lingkup Puslitbangtanak, Direktorat Pupuk dan Pestisida, IPB Jurusan Tanah, Depperindag, serta Asosiasi Pengusaha Pupuk dan Pengguna



Lampiran 9. Mesin pneumatik untuk uji durabilitas



Lampiran 10. Timbangan dan ayakan no. 8 dan 16 untuk uji durabilitas



Lampiran 11. Contoh perkecambahan tidak sempurna T. sagu 10:90