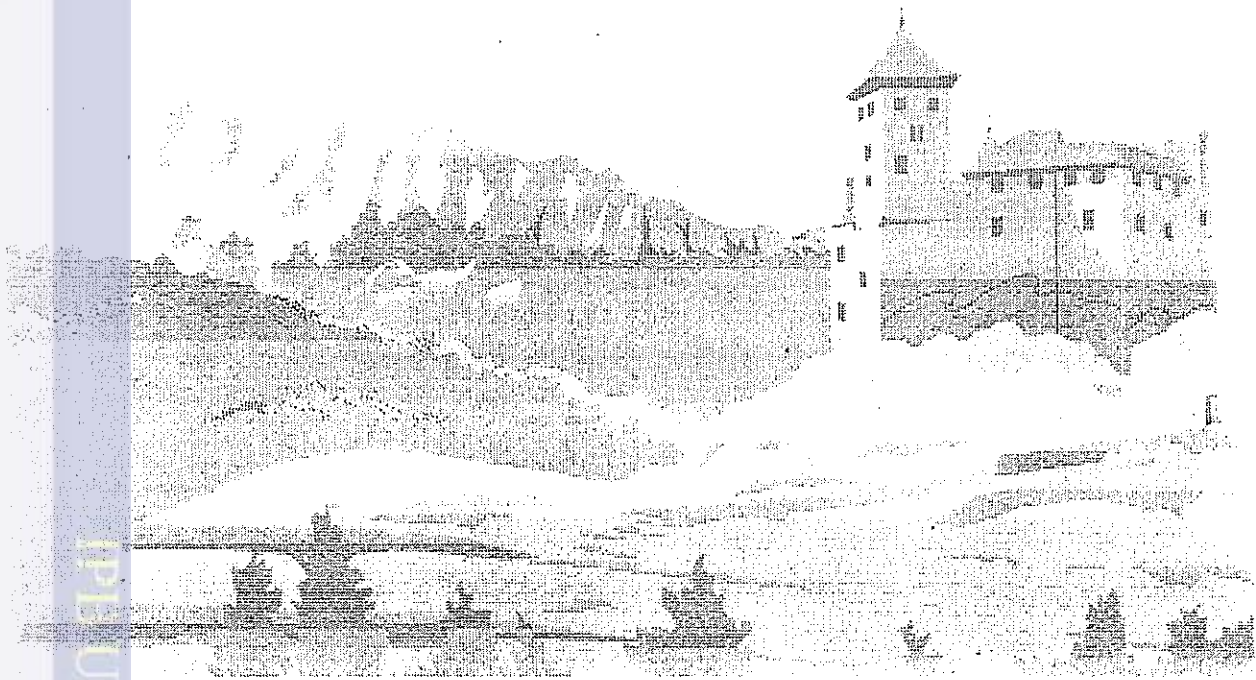


Saya ucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tuaku yang semasa hidupnya telah membimbing dengan penuh kasih sayang dan kesabaran,
2. Kakak-kakakku, seperti Ccu Neneng, A Iyus, Ccu Tuti, A Dadi, Ccu Ade, A Uga (alm.), A Edi dan calonnya (Mbak Hari), Mas Andi, Ccu Pupung, Ccu Ani dan A Rudi, yang selalu memberikan dukungan moral dan materil selama pendidikan dan penelitian,
3. Keponakan-keponakanku, seperti Dian Honoriska, Yustia Damayanti, Anondini Ganestia Febria, Esa Wibawa Kartadimaja, Piet Yogi Pratama, Muhammad Arief dan si kecil yang masih dalam kandungan, yang memberikan semangat dan arti tersendiri
4. Keluarga pamanku di Bandung
5. Rekan-rekan seperti Muhammad Taufiq, Suyono, Hafidin, Mudatsir, Nuzwardi dan Umbu, yang telah banyak membantu selama penelitian

Special thank's untuk "seseorang " yang telah memberikan semangat baru dan selalu sabar untuk menunggu dan mendengarkanku

Smoga karya kecil ini bermanfaat.....



STUDI PENGARUH PENYIRAMAN AIR LIMBAH DAN SIKLUS PENGERINGAN-PELEMBABAN TERHADAP MINERALISASI BAHAN ORGANIK DAN MUTU KOMPOS DARI LUMPUR KOLAM PENANGANAN AIR LIMBAH

Oleh
AGUS PAMUNGKAS
F 27. 1447



1 9 9 5
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
B O G O R

Agus Pamungkas. F27. 1447. Studi pengaruh penyiraman air limbah dan siklus pengeringan-pelembaban terhadap mineralisasi bahan organik dan mutu kompos dari lumpur kolam penanganan air limbah. Di bawah bimbingan Dr. Ir. E. Gumbira Sa'id, MADev.

RINGKASAN

Akumulasi lumpur yang berlebihan pada dasar kolam penanganan air limbah dapat menurunkan kinerja stabilisasi air limbah. Metode pembuangan lumpur ke laut, pengurukan lahan atau pembakaran, yang biasa diterapkan untuk mengatasi eksek lumpur, berpotensi dalam menimbulkan masalah lingkungan maupun kesehatan masyarakat. Pengkomposan merupakan salah satu metode alternatif untuk mengatasi eksek lumpur tersebut, yang lebih ramah lingkungan dan berdaya guna. Untuk mengoptimalkan kegunaannya, mutu dari kompos lumpur harus diperhatikan dan dikendalikan dengan baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh penyiraman air limbah, pengeringan-pelembaban berkala setiap 5 hari dan gabungan dari kedua perlakuan tersebut terhadap mineralisasi bahan organik dan mutu kompos dari lumpur kolam penanganan air limbah. Hasil pengamatan diharapkan dapat dijadikan sebagai suatu metode praktis untuk meningkatkan mutu kompos. Lumpur yang digunakan dalam penelitian diambil dari dasar kolam stabilisasi air limbah PD. PAL JAYA, Jakarta dan bahan tambahan yang dicampurkan terdiri dari sampah, onggok dan kotoran sapi. Air limbah yang digunakan untuk perlakuan penyiraman adalah air limbah dari peternakan sapi.

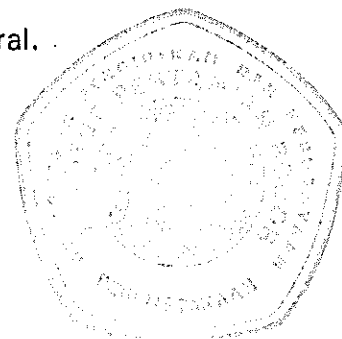
Setelah 14 hari inkubasi, dalam semua gundukan perlakuan, C-organik mengalami penurunan dan N-mineral mengalami peningkatan. Persentase penurunan C-organik dalam gundukan kontrol, siklus pengeringan-pelembaban,

Perubahan C-organik dan N-mineral tersebut menunjukkan suatu pola, yaitu jika C-organik menurun maka N-mineral meningkat dan sebaliknya, dan menyebabkan C/N berfluktuasi. Penyimpangan dari pola terjadi dalam gundukan kontrol, dimana setelah 40 hari inkubasi, peningkatan C-organik diikuti oleh peningkatan N-mineral.

Berdasarkan peningkatan N-mineral, perlakuan gabungan merupakan suatu metode alternatif yang dapat digunakan untuk meningkatkan kandungan nutrisi mineral dari kompos lumpur. Perlakuan gabungan tersebut mampu meningkatkan N-mineral sebesar 184 persen (dihitung terhadap N-mineral pada hari ke-0).

Kompos lumpur merupakan pupuk organik yang kaya akan kalium dan memiliki nisbah C/N relatif kecil, yaitu sebesar 4-7. Kandungan kaliumnya adalah sebesar 2-5 persen (w/w, basis kering) dan lebih besar daripada standar mutu kompos. Sedangkan, N-dan P-mineral serta KTK memiliki nilai yang relatif lebih kecil daripada standar, yaitu masing-masing, sebesar 0.1-0.4 persen (w/w, basis kering), 0.2-0.6 persen (w/w, basis kering) dan 19-22 meq/100 g (basis kering).

Jika dibandingkan terhadap kontrol, semua perlakuan mampu meningkatkan kandungan N- dan P-mineral, tetapi tidak dapat meningkatkan nilai KTK. Peningkatan N- dan P-mineral dalam kompos tersebut adalah 19 dan 73 persen untuk perlakuan siklus pengeringan-pelembaban, 26 dan 73 persen untuk perlakuan penyiraman air limbah, 131 dan 113 persen untuk perlakuan gabungan (dihitung terhadap N-mineral dalam kontrol). Perlakuan pengeringan-pelembaban dan penyiraman air limbah mampu meningkatkan ketersediaan K-mineral, yaitu sebesar 6 persen (dihitung terhadap K-mineral dalam kontrol); sedangkan perlakuan gabungan tidak dapat meningkatkan ketersediaan K-mineral.



**STUDI PENGARUH
PENYIRAMAN AIR LIMBAH DAN SIKLUS PENDINGINAN-PELEMBABAN
TERHADAP MINERALISASI BAHAN ORGANIK DAN MUTU KOMPOS
DARI LUMPUR KOLAM PENANGANAN AIR LIMBAH**

Oleh
AGUS PAMUNGKAS
F 27.1447

SKRIPSI
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian,
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

1995
**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

STUDI PENGARUH PENYIRAMAN AIR LIMBAH DAN SIKLUS PENGERINGAN-PELEMBABAN TERHADAP MINERALISASI BAHAN ORGANIK DAN MUTU KOMPOS DARI LUMPUR KOLAM PENANGANAN AIR LIMBAH

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
Pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

Oleh

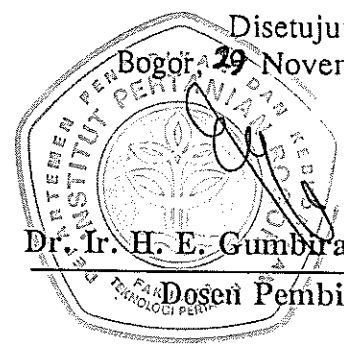
AGUS PAMUNGKAS

F 27.1447

Dilahirkan pada tanggal 21 April 1971
di Majalengka, Jawa Barat

Tanggal lulus : 16 September 1995

Disetujui,
Bogor, 29 November 1995



Dr. Ir. H. E. Gumbira Sa'id, M.A.Dev.
Dosen Pembimbing

7. Para petugas dari Unit Kebersihan Pasar Ramayana, Bogor, atas segala bantuannya selama penyiapan bahan-bahan untuk penelitian.

Sebagai sebuah karya cipta manusia yang tidak sesempurna karya ciptanya, penulis sadari bahwa skripsi ini tidak sempurna. Oleh karena itu, penulis membuka lebar setiap saran demi perbaikan tulisan selanjutnya.

Bogor, Agustus 1995

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal.
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN PENELITIAN	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. LUMPUR PENANGANAN AIR LIMBAH	4
1. Komponen-Komponen Lumpur	5
2. Karakteristik Lumpur	10
B. PRINSIP PROSES PENGKOMPOSAN	11
1. Mineralisasi-Amobilisasi Karbon	14
2. Mineralisasi-Amobilisasi Nitrogen	14
3. Faktor yang Mempengaruhi Mineralisasi- Amobilisasi	17
a. Mutu Bahan/Substrat	17
b. Faktor Lingkungan	18
c. Nutrien dan Garam Mineral	19
d. Logam Berat	20
C. PENGKOMPOSAN LUMPUR	20
D. KARAKTERISTIK DAN MUTU KOMPOS	22

Hal. 60 dari 60 halaman. Untuk lebih jelasnya, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.
 a. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.
 b. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.
 c. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.
 d. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.

DAFTAR TABEL

		Hal.
Tabel 1.	Berat jenis dan kuantitas lumpur yang dihasilkan dari berbagai operasi dan proses penanganan air limbah	5
Tabel 2.	Data tipikal dari komposisi kimia dan sifat-sifat dari lumpur	
Tabel 3.	Perbandingan kandungan nutrisi dari pupuk komersil dan lumpur	7
Tabel 4.	Kandungan logam-logam berat dalam lumpur	8
Tabel 5.	Patogen yang dikandung oleh air limbah dan lumpur	9
Tabel 6.	Syarat mutu kompos	24
Tabel 7.	Metode estimasi tingkat kematangan kompos	26
Tabel 8.	Karakteristik lumpur dari kolam penanganan air limbah	35
Tabel 9.	Karakteristik sampah, onggok dan kotoran ternak	36
Tabel 10.	Kandungan nutrisi mineral dalam air limbah ternak	36
Tabel 11.	Hasil pengamatan suhu dan uji kematangan difenilamin	38
Tabel 12.	Kandungan C-organik (C), dan N-mineral (N) dan C/N dalam gundukan pengkomposan selama 40 hari (nilai rata-rata dari dua kali percobaan)	41
Tabel 13.	Tingkat perubahan C-organik dalam gundukan untuk tiap perlakuan setelah 14 hari inkubasi (dihitung terhadap C-organik pada hari ke-0)	44
Tabel 14.	Tingkat perubahan C-organik dalam gundukan untuk tiap perlakuan setelah 24 hari inkubasi (dihitung terhadap C-organik pada hari ke-14)	44

Tabel 15.	Tingkat perubahan C-organik dalam gundukan untuk tiap perlakuan setelah 40 hari inkubasi (dihitung terhadap C-organik pada hari ke-24)	45
Tabel 16.	Tingkat perubahan N-mineral dalam gundukan untuk tiap perlakuan setelah 14 hari inkubasi (dihitung terhadap N-mineral pada hari ke-0)	50
Tabel 17.	Tingkat perubahan N-mineral dalam gundukan untuk tiap perlakuan setelah 24 hari inkubasi (dihitung terhadap N-mineral pada hari ke-14)	52
Tabel 18.	Tingkat perubahan N-mineral dalam gundukan untuk tiap perlakuan setelah 40 hari inkubasi (dihitung terhadap C-organik pada hari ke-24)	52
Tabel 19.	Tingkat perubahan C-organik dan N-mineral serta C/N	56
Tabel 20.	Karakteristik mutu kompos (pupuk organik) yang dihasilkan dari proses pengkomposan lumpur yang diberi perlakuan berbeda-beda	58

Halaman ini merupakan bagian dari dokumen yang diterbitkan oleh IPB University dan merupakan sumber informasi yang akurat dan terpercaya. Untuk lebih jelasnya, silakan kunjungi website IPB University di www.ipb.ac.id.
 IPB University
 Institut Pertanian Bogor

DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 1. Nilai kepentingan relatif dari karakteristik lumpur terhadap metode alternatif penanganannya	10
Gambar 2. Reaksi-reaksi biokimiawi utama dalam biokonversi bahan organik pada saat pengkomposan	13
Gambar 3. Perubahan bersih jumlah N-anorganik dalam mineralisasi nitrogen	19
Gambar 4. Pola perubahan suhu rata-rata dalam gundukan pengkomposan selama 40 hari pengamatan	39
Gambar 5. Perubahan C-organik dalam gundukan pengkomposan yang diinkubasi selama 40 hari (a) kontrol, (b) siklus pengeringan-pelembaban, (c) penyiraman air limbah, (d) gabungan	43
Gambar 6. Persentase penurunan C-organik dalam gundukan TC, T1, T2 dan T3 setelah 40 hari inkubasi jika dihitung terhadap kandungan C-organik awal	49
Gambar 7. Perubahan N-mineral dalam gundukan pengkomposan yang diinkubasi selama 40 hari (a) kontrol, (b) siklus pengeringan-pelembaban, (c) penyiraman air limbah, (d) gabungan	51
Gambar 8. Persentase peningkatan N-mineral dalam TC, T1, T2 dan T3 jika dihitung terhadap kandungan N-mineral awal	55
Gambar 9. Perubahan nisbah C/N dalam gundukan pengkomposan selama 40 hari inkubasi : (a) kontrol, (b) siklus pengeringan-pelembaban, (c) penyiraman air limbah, (d) gabungan	57

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal.
Lampiran 1. Metode Analisis Kimia	65
Lampiran 2. Bangunan dan rak/ <i>tray</i> pengering lumpur	76
Lampiran 3. Bioreaktor pengkomposan untuk pengamatan tingkat mineralisasi dan <i>windrows</i> untuk pengamatan suhu	78
Lampiran 4. Penurunan dan penggunaan persamaan neraca massa untuk menentukan proporsi campuran	81
Lampiran 5. Tahap penelitian, waktu pengeringan pelembaban dan penyiraman air limbah, dan data hasil penelitian	83

Galeri karya milik IPB University

Hal. Karya Jurnalistik, Unsur yang
 1. Obyek yang ditulis sebagai objek berita yang harus terdapat secara akurat dan objektif sumber :
 a. terdapat hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, persidangan sipil, persidangan kriminal atau tujuan sosial lainnya
 b. terdapat tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Tidak mengutamakan dan memperbanyak dengan cara apapun biaya tulis dan dalam rangka apapun tanpa izin IPB University

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Selama penanganan air limbah dalam kolam stabilisasi air limbah, lumpur akan dihasilkan sebagai suatu produk sampingan, yang mengendap dan terakumulasi pada dasar kolam. Akumulasi lumpur yang berlebihan dapat menurunkan atau mengurangi volume efektif dari kolam, sehingga operasi-operasi dan proses-proses stabilisasi air limbah yang diterapkan atau terjadi dalam kolam tersebut menjadi terganggu. Hal ini akan menurunkan kinerja proses penanganan air limbah dalam kolam. Untuk mengatasi masalah ek-ses lumpur pada dasar kolam tersebut, langkah pertama yang dapat dilaku-kan adalah melakukan pengerukan lumpur.

Metode-metode penanganan lumpur yang sering diterapkan sebagai langkah selanjutnya adalah pembuangan lumpur tersebut ke laut (*ocean dis-posal*), pengurukan lahan (*landfilling*) dan pembakaran (*incineration*) (EPA, 1984). Tchobanoglous dan Burton (1991) menambahkan bahwa penerap-an metode-metode tersebut memiliki beberapa kendala yang berkaitan dengan biaya yang relatif tinggi dan potensi bahaya pencemaran lingkungan dan kesehatan masyarakat. Hal ini karena :

1. Lumpur mengandung zat-zat nutrisi, yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber makanan bagi mikroorganisme-mikroorganisme patogen.
2. Lumpur mengandung bahan-bahan organik, yang akan mengalami de-komposisi dan menimbulkan masalah bau dan dampak negatif lainnya.
3. Lumpur dapat mengandung beberapa senyawa organik beracun dan



logam-logam berat yang berpotensi dalam menimbulkan masalah pencemaran lingkungan dan kesehatan masyarakat.

4. Lahan yang dapat digunakan sebagai tempat (*site*) pembuangan semakin sulit dan biaya bahan bakar untuk metode pembakaran semakin tinggi.

Oleh karena itu, metode-metode alternatif untuk penanganan lumpur, yang lebih berdaya guna dan tidak terlalu beresiko terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat, perlu dikaji dengan baik. Menurut EPA(1984), metode-metode alternatif yang dapat diterapkan dan perlu dikaji tersebut adalah pemanfaatan lumpur sebagai pupuk organik melalui pengkomposan, ATAD (*Auto-Thermophilic Aerated Digestion*) dan lain-lain.

Pemanfaatan lumpur air limbah sebagai pupuk organik melalui proses pengkomposan merupakan salah satu metode yang telah banyak digunakan untuk mengatasi masalah eksese lumpur pada suatu instalasi penanganan air limbah. Menurut EPA (1984), karena lumpur mengandung zat-zat nutrisi yang bermanfaat bagi tumbuhan dan media pelembab (*conditioning agent*) bagi tanah, hampir 40 persen dari total lumpur yang dihasilkan di Amerika Serikat dimanfaatkan sebagai pupuk organik dan media pelembab bagi tanah. Pengkomposan mampu meningkatkan kandungan zat nutrisi tumbuhan dari lumpur sehingga aplikasinya dapat lebih optimal, dan relatif lebih aman terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Hal ini karena :

1. Bahan-bahan organik yang terdapat dalam lumpur didegradasi secara aerobik menjadi mineral-mineral yang bermanfaat bagi tumbuhan (mineralisasi), seperti ion NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} dan lain-lain.

2. Suhu dalam gundukan (*pile*) lumpur yang dikomposkan akan meningkat dan mampu untuk membunuh mikroorganisme-mikroorganisme patogen.

B. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari dan mengkaji pengaruh penyiraman air limbah, siklus pengeringan-pelembaban (*drying-wetting*) dan pengaruh gabungan kedua perlakuan tersebut terhadap mineralisasi bahan organik dalam gundukan pengkomposan dan mutu kompos dari lumpur kolam stabilisasi air limbah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. LUMPUR PENANGANAN AIR LIMBAH

Lumpur penanganan air limbah (*wastewater sludge*) merupakan suatu produk sampingan yang dihasilkan selama proses penanganan air limbah (EPA,1989c). Lumpur tersebut berbentuk cairan semi padat dengan kandungan air sebesar 93-99 persen dan padatan sebesar 0.3-1 persen (EPA,1984; Tchobanoglous dan Burton, 1991).

Menurut EPA (1984), berdasarkan tahap sedimentasi padatan pada saat penanganan air limbah, lumpur dibagi menjadi tiga tipe, yaitu **lumpur primer**, **lumpur sekunder** dan **lumpur tersier**. Lumpur primer dihasilkan dari proses sedimentasi padatan yang dapat mengendap dengan cepat, pada tahap primer. Lumpur primer mengandung padatan sebesar 3-7 persen dan kandungan airnya dapat diturunkan secara mudah dengan metode pengentalan (*thickening*) atau penurunan air (*dewatering*).

Lumpur sekunder dihasilkan melalui proses penanganan biologik sekunder, yaitu lumpur aktif dan filter tetes. Jika dibandingkan lumpur primer, lumpur sekunder mengandung padatan lebih rendah dan kandungan airnya lebih sukar diturunkan. Sedangkan lumpur tersier dihasilkan pada tahap sedimentasi tersier melalui proses penanganan yang lebih maju, seperti presipitasi kimia dan filtrasi. Karakteristik lumpur tersier tergantung kepada tipe proses dari penanganan air limbah yang menghasilkannya. Penambahan polimer organik dan kapur selama penanganan air limbah akan memudahkan proses penurunan air dari lumpur tersier, sebaliknya, penambahan garam alumunium dan besi akan mempersulit proses tersebut. Penurunan air akan menghasilkan lumpur tersier lembab dengan kapasitas ikat air tinggi.

Kuantitas lumpur yang dihasilkan oleh instalasi penangananan air limbah dipengaruhi oleh karakteristik air limbah yang ditangani, tipe proses penangananan air limbah dan tipe proses penangananan lumpur (EPA, 1984). Kuantitas dan berat jenis lumpur yang dihasilkan oleh beberapa operasi dan proses penangananan air limbah disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Berat jenis dan kuantitas lumpur yang dihasilkan dari berbagai operasi dan proses penangananan air limbah

OPERASI/PROSES PENANGANAN AIR LIMBAH	BERAT JENIS		KUANTITAS (lb/10 ³)	
	Padatan Lumpur	Lumpur	Kisaran	Tipikal
Sedimentasi Primer	1.4	1.02	0.9-1.4	1.3
Lumpur Aktif	1.3	1.01	0.6-0.8	0.7
Filter Tetes	1.5	1.03	0.5-0.8	0.6
Aerasi Diperluas	1.3	1.02	0.7-1.0	0.8
Laguna Diaerasi	1.3	1.01	0.1-0.2	0.8
Filtrasi	1.2	1.01	0.1-0.2	0.2
Pengambilan Alga	1.2	1.01	0.1-0.2	0.2
Penambahan kapur ^{*)} :				
a. rendah (350-500 mg/L)	1.9	1.04	2.0-3.3	2.5
b. tinggi (800-1600 mg/L)	2.2	1.05	5.0-11	6.6
<i>Suspended-growth nitrification</i>	1.2	1.01	0.1-0.3	0.2
<i>Roughing Filters</i>	1.3	1.02	-	-

Tchobanoglous dan Burton (1991),

Keterangan : $1.0 \text{ lb}/10^3 \text{ gal} \times 120.48 = 1.0 \text{ kg}/10^3 \text{ m}^3$, *)penambahan dilakukan pada tahap primer dan bertujuan untuk menurunkan fosfor

1. Komponen-Komponen Lumpur

Komponen utama yang terkandung dalam lumpur terdiri dari bahan organik, nutrien, patogen, logam dan bahan organik beracun (Tchobanoglous

dan Burton,1991). Komposisi dari lumpur yang belum ditangani dan yang telah dirombak/ditangani disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data tipikal dari komposisi kimia dan sifat-sifat dari lumpur

KOMPONEN	SATUAN	LUMPUR PRIMER		LUMPUR AKTIF
		UT	D	
Padatan Total (TS)	%	5	10	0.83-1.16
Padatan Volatil	% TS	65	40	59-88
Minyak/Lemak A. <i>Ether Soluble</i> B. <i>Ether extract</i>	% TS % TS		18 -	5.0-12 -
Protein	% TS	25	18	32-41
Nitrogen (N)	% TS	2.5	3	2.4-5.0
Fosfor (P_2O_5)	% TS	1.6	2	2.8-11
Kalium (K_2O)	% TS	0.4	1	0.5-0.7
Selulosa	% TS	10	10	-
Fe (Bukan Sulfida)	% TS	2.5	4	-
Silika (SiO_2)	% TS	-	-	-
pH	-	6	7	6.5-8.0
Alkalinitas	mg/LCaCO ₃	600	3000	580-1100
Asam Organik	mg/LHAC	500	200	1100 - 1700
Kandungan Energi	Btu/lb	11000	5000	8000-10000

Tchobanoglous dan Burton (1991)

Keterangan : UT = belum dirombak, D = telah dirombak

Nutrien-nutrien utama yang dikandung oleh lumpur adalah nitrogen, fosfor dan kalium. Dalam lumpur, nutrisi-nutrisi tersebut memiliki lebih dari satu bentuk. Nitrogen ditemukan sebagai nitrogen organik, ion NH_4^+ dan NO_3^- . Fosfor ditemukan dalam bentuk ion PO_4^{-3} dan ortofosfat (EPA, 1984).

Ketiga nutrisi tersebut sangat menentukan nilai pupuk dari lumpur (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Perbandingan kandungan nutrisi tersebut dalam lumpur dengan pupuk komersial disajikan pada Tabel 3.

Lumpur yang belum ditangani umumnya mengandung 75-85 persen bahan organik (padatan volatil). Bahan organik merupakan faktor penting dalam menentukan nilai panas, potensi masalah bau dan pembentukan gas, dan nilai *soil conditioner* dari lumpur (EPA, 1984). Bahan organik umumnya terdiri dari sel mikrobial dan produk dekomposisinya, senyawa kimia yang dikandung oleh air limbah (protein, polisakarida dan lemak) dan senyawa yang disintesa selama proses penanganan air limbah (EPA, 1983).

Tabel 3. Perbandingan kandungan nutrisi dari pupuk komersial dan lumpur

	Nutrien (%)		
	N	P	K
Pupuk untuk pemanfaatan pertanian ^a	5	10	10
Lumpur yang distabilisasi ^b	3.3	2.3	0.3

(Tchobanoglous dan Burton, 1991)

- a) Nilai tipikal dan konsentrasi dari nutrisi dapat bervariasi sekali, tergantung terhadap tipe tanah dan tingkat kebutuhan tanaman,
- b) Nilai tipikal

Lumpur juga mengandung logam dan beberapa senyawa organik beracun (EPA, 1989c). Pada konsentrasi rendah, logam merupakan mikronutrien penting bagi tumbuhan. Tetapi, pada konsentrasi tinggi, logam merupakan racun bagi tumbuhan (EPA, 1984). Jenis dan kandungan logam yang dikandung oleh lumpur disajikan pada Tabel 4.

Air limbah dan lumpur umumnya mengandung empat jenis utama organisme patogenik bagi manusia, yaitu bakteri, virus, *protozoa* dan cacing

parasit. Spesies dan densitasnya tergantung kepada status kesehatan dari komunitas setempat dan tingkat reduksi pada saat proses penanganan air limbah dan lumpur (EPA, 1989c). Beberapa patogen yang dikandung oleh lumpur dan penyakit/gejala yang ditimbulkan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Kandungan logam-logam berat dalam lumpur

LOGAM	LUMPUR KERING (mg/kg)	
	KISARAN	MEDIAN
Arsenik (Ar)	1.1-30	10
Cadmium (Cd)	1-3,410	10
Chromium (Cr)	10-99,000	500
Cobalt (Co)	11- 2,490	30
Tembaga (Cu)	84-17,000	800
Besi (Fe)	1,000-154,000	17,000
Timbal (Pb)	13-26,000	500
Mangan (Mn)	32-9,870	260
Air Raksa (Hg)	0.6-56	6
Molibdenum (Mo)	0.1-214	4
Nikel (Ni)	2-5,300	80
Selenium (Se)	1.7-17.2	5
Timah (Sn)	2.6-329	14
Seng (Zn)	101-49,000	1700

EPA (1984)

Tabel 5. Patogen yang dikandung oleh air limbah dan lumpur (EPA, 1989c)

ORGANISME	SPESES	PENYAKIT/GEJALA
BAKTERI	<i>Salmonella spp.</i>	<i>Salmonellosis</i> (keracunan makanan), thypus
	<i>Shigella spp.</i>	Disentri basiler
	<i>Vibrio Cholerae</i>	Kolera
	<i>Campylobacter jejuni</i>	<i>Gastroenteritis</i>
	<i>Eschericia coli</i>	<i>Gastroenteritis</i>
VIRUS	<i>Poliovirus</i>	Polio
	<i>Coxsackievirus</i>	<i>Meningitis</i> , pneumonia, demam dan lain-lain
	<i>Echovirus</i>	<i>Meningitis</i> , paralisa, <i>encepalitis</i> , diare, dan demam
	<i>Rotavirus</i>	<i>Gastroenteritis</i> akut dengan sedikit diare
	<i>Norwalk agents</i>	<i>Gastroenteritis</i> epidemik dengan sedikit diare
	<i>Reovirus</i>	<i>Gastroenteritis</i> , infeksi saluran pernapasan
PROTOZOA	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Gastroeneteritis</i>
	<i>Entamoeba</i>	Enteritis akut
	<i>Giardia lambia</i>	Giardiasis (diare, anemia, penurunan berat badan)
	<i>Balantidium coli</i>	Diare dan disentri
	<i>Toxoplasma gondii</i>	<i>Toxoplasmosis</i>
CACING PARASIT	<i>Ascaris lumbricoides</i>	nyeri perut, muntah, resah, gangguan pencernaan
	<i>Ascaris suum</i>	batuk, demam, sakit kepala
	<i>Trichuris trichuria</i>	nyeri perut, diare, anemia, penurunan berat badan
	<i>Toxocora canis</i>	sakit perut, sakit muskular, demam, gejala neurologik
	<i>Taenia saginata</i>	gugup, insomania, anoreksia, gangguan pencernaan
	<i>Taenia solinum</i>	gugup, insomania, anoreksia, gangguan pencernaan
	<i>Necator americanus</i>	Penyakit hookworm
	<i>Hymenolepis nana</i>	Taeniasis



2. Karakteristik Lumpur

Penanganan terhadap lumpur sebelum dimanfaatkan/dibuang bertujuan untuk memperbaiki karakteristiknya sehingga pemanfaatan/pembuangannya menjadi efektif. Menurut EPA (1984), penanganan lumpur tersebut meliputi penurunan kadar air, penurunan massa lumpur, pengendalian bau dan pengurangan jumlah patogen. Nilai penting dari karakteristik lumpur terhadap metode alternatif penanganan/pembuangannya disajikan pada Gambar 1.

	Aplikasi Lahan	Pupuk Organik	Pembakaran	Pengurukan Lahan	Pembuangan ke Laut
VS	☺	☺	☺	☺	☹
Nutrien	☺	☺	☹	☹	☺
Patogen	☺	☺	☹	☹	☹
Logam	☺	☺	☺	☺	☺
SOB	☺	☺	☺	☺	☺

Keterangan : ☺ = sangat penting, ☺ = cukup penting, ☹ = tidak penting, VS = padatan volatil dan SOB = senyawa organik beracun

Gambar 1. Nilai kepentingan relatif dari karakteristik lumpur terhadap metode alternatif penanganannya (EPA, 1984)

Kandungan air dari lumpur tergantung kepada tipe lumpur. Kandungan air tersebut akan mempengaruhi ukuran dari sarana-sarana untuk penanganan dan pembuangan, biaya angkutan, tipe dari peralatan aplikasi tanah yang digunakan, jumlah bahan bakar tambahan yang diperlukan untuk menguapkan air selama

pembakaran (*incineration*), ukuran dan jumlah hidup (*lifespan*) dari tanah yang akan diuruk dengan lumpur dan pembentukan *leachate* di dalam tanah yang diuruk dengan lumpur. Kandungan air lumpur umumnya berbanding terbalik dengan kandungan padatannya. Makin tinggi kandungan padatan, kandungan air dari lumpur semakin rendah. Proses penanganan, seperti pengentalan (*thickening*), penurunan kandungan air (*dewatering*), *conditioning* dan pengeringan, bertujuan untuk menurunkan kadar air lumpur sehingga meningkatkan kandungan padatannya (EPA, 1984).

Stabilisasi merupakan proses penanganan lumpur yang ditujukan untuk mengurangi potensi bau. Selain itu, proses stabilisasi juga mengurangi kandungan patogen, dan biasanya dapat menurunkan kandungan padatan volatil dari lumpur. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk stabilisasi adalah **stabilisasi kapur (*liming*)**. Lumpur dengan pH rendah mempengaruhi kandungan logam, patogen dan pengkaratan dari lumpur, sedangkan lumpur dengan pH tinggi (lebih dari 11) dapat menurunkan jumlah bakteri. Dalam kaitannya dengan tanah, lumpur dengan pH tinggi atau netral dapat menghambat perpindahan logam di dalam tanah dan pengambilan logam oleh tanaman, dan sebaliknya untuk lumpur yang memiliki pH rendah atau kurang dari 6.5 (EPA, 1984).

B. PRINSIP PROSES PENGKOMPOSAN

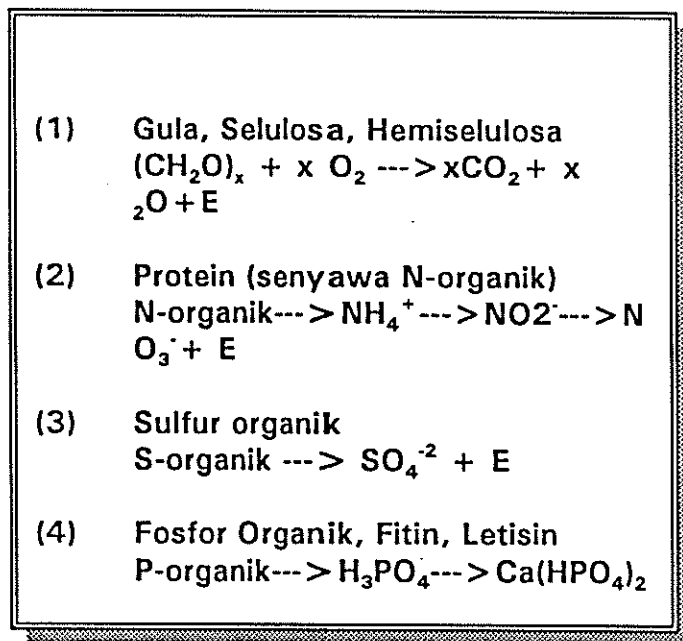
Proses pengkomposan merupakan suatu proses biokimiawi dimana bahan organik didekomposisi menjadi zat seperti humus (kompos) oleh kelompok-kelompok mikroorganisme campuran dan berbeda pada kondisi terkontrol (Gaur, 1983 dan EPA, 1989a). Proses pengkomposan sebenarnya

merupakan suatu versi dipercepat dari proses dekomposisi alami terhadap bahan organik yang terjadi di tanah (EPA, 1989a). Dengan demikian, proses biokimiawi, produk yang dihasilkan dan kondisi proses pengkomposan memiliki kemiripan dengan dekomposisi alami tersebut. Perbedaannya adalah kondisi proses pada pengkomposan dikendalikan. Menurut EPA (1989b), parameter kendali proses tersebut meliputi pH, kadar air, aerasi dan suhu.

Menurut Gaur (1983), biokonversi bahan organik pada saat pengkomposan dilakukan oleh berbagai kelompok mikroorganisme heterotrofik, yaitu bakteri, kapang, *Protozoa* dan *Actinomyces*. Mikroorganisme selulolitik dan lignolitik sangat berperan dalam mendekomposisi komponen organik yang sukar terdegradasi. EPA (1989a) menambahkan bahwa, dengan kadar air dan suplai oksigen yang memadai, mikroorganisme-mikroorganisme tersebut akan memetabolisasi bahan organik secara efektif dan melepaskan panas sebagai produk sampingan.

Dalam pengkomposan, bahan organik didekomposisi menjadi bentuk-bentuk anorganik. Menurut Alexander (1977), bahan organik tersebut didekomposisi terlebih dahulu menjadi berbagai senyawa organik sederhana oleh enzim ekstraseluler yang dihasilkan mikroorganisme heterotrofik. Untuk memenuhi kebutuhan energinya, mikroorganisme lainnya mengoksidasi senyawa-senyawa organik sederhana tersebut melalui mekanisme enzim intraseluler dan melepaskan bentuk anorganik ke lingkungan tempat hidupnya. Pada saat bersamaan, mikroorganisme tersebut mengkonversi bentuk anorganik menjadi bentuk organik yang menyusun sel-sel tubuhnya. Kedua proses biokimiawi yang terlibat dalam dekomposisi tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua proses utama, yaitu mineralisasi dan amobilisasi.

Mineralisasi merupakan proses biokimiawi, dimana senyawa organik sederhana dikonversi oleh mikroorganisme heterotrofik menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil. Sedangkan, amobilisasi merupakan proses biokimiawi oleh mikroorganisme heterotrofik dimana bentuk anorganik disintesa kembali menjadi senyawa organik yang menyusun sel-sel tubuhnya (Alexander, 1977 dan Haynes, 1986). Dalam proses dekomposisi bahan organik, kedua proses biokimiawi tersebut terjadi secara bersamaan dan berlawanan arah (Alexander, 1977). Reaksi-reaksi biokimiawi utama yang terlibat dalam proses biokonversi bahan organik pada saat pengkomposan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi-reaksi biokimiawi utama dalam biokonversi bahan organik pada saat pengkomposan (Gaur, 1983)

1. Mineralisasi-Amobilisasi Karbon

Dalam dekomposisi bahan, fungsi utama dari C-organik bagi mikro-organisme adalah untuk menyediakan energi bagi pertumbuhan dan memasok karbon bagi pembentukan sel-sel baru (Alexander, 1977). Haynes (1986) menambahkan bahwa sebagai konsekuensi dari mineralisasi C-organik, CO₂ akan didaur ulang ke atmosfer dan sebagian karbon dikonversi menjadi jaringan mikrobial. Menurut Alexander (1977), proses konversi C-organik menjadi senyawa-senyawa kompleks protoplasmik tersebut disebut asimilasi/amobilisasi karbon.

Alexander (1977), menyatakan bahwa pada kondisi aerobik, sekitar 20-40 persen dari karbon diasimilasi oleh mikroorganismse dan sisanya dilepaskan sebagai CO₂ dan/atau terakumulasi sebagai produk buangan, seperti CH₄, asam organik dan alkohol. Tingkat amobilisasi C-organik tergantung kepada jenis dari mikroorganisme. Selama dekomposisi, kapang dapat mengamobilisasi karbon sebesar 30-40 persen, bakteri aerobik sebesar 5-20 persen dan bakteri anaerobik sebesar 2-5 persen dari total C-organik yang dimineralisasi.

2. Mineralisasi-Amobilisasi Nitrogen

Sebagai konsekuensi dari dekomposisi bahan organik, N-organik dikonversi secara mikrobial menjadi NH₄⁺ dan NO₃⁻ serta sebagian nitrogen diasimiliasi/diamobilisasi menjadi jaringan mikrobial (Haynes, 1986). Perubahan bersih nitrogen pada saat dekomposisi bahan organik tersebut melibatkan empat fase, yaitu fase pengikisan (*leaching*), akumulasi (*net*

immobilization), pelepasan (*net mineralization*) dan volatilisasi melalui denitrifikasi (Alexander, 1977; Berg dan Staaf (1981) *di dalam* Haynes, 1986). Pada keadaan sesungguhnya, keempat fase tersebut tidak selalu terjadi bersamaan (Berg dan Staaf (1981) *di dalam* Haynes, 1986). Alexander (1977) menyatakan dinamika tersebut dengan suatu hubungan matematis yang disajikan pada Gambar 3. Jika pengaruh pengikisan dan volatilisasi diabaikan maka perubahan bersih nitrogen hanya dipengaruhi oleh faktor mineralisasi dan amobilisasi.

$$\Delta_i = N_m - (N_a + N_f + N_d)$$

dimana : Δ_i = Jumlah perubahan bersih nitrogen anorganik, N_m = Jumlah nitrogen organik yang dimineralisasi, N_a = Jumlah nitrogen anorganik yang diamobilisasi, N_f = Jumlah nitrogen anorganik yang hilang akibat pengikisan, N_d = Jumlah nitrogen anorganik yang hilang akibat volatilisasi

Gambar 3. Perubahan bersih jumlah N-anorganik dalam mineralisasi nitrogen (Alexander, 1977)

Menurut Alexander (1977) serta Schnitzer dan Khan (1978), mineralisasi nitrogen merupakan proses konversi bahan N-organik menjadi senyawa anorganik yang lebih stabil, yaitu NH_4^+ dan NO_3^- . Alexander (1977) menambahkan bahwa mineralisasi nitrogen melibatkan dua proses mikrobial, yaitu amonifikasi dan nitrifikasi. Amonifikasi merupakan proses konversi mikrobial terhadap senyawa organik menjadi NH_4^+ dan nitrifikasi merupakan proses oksidasi NH_4^+ menjadi NO_3^- .

Amobilisasi nitrogen merupakan suatu proses yang berlawanan dan terjadi pada saat yang bersamaan dengan mineralisasi nitrogen. Menurut

Alexander (1977) serta Schnitzer dan Khan (1978), amobilisasi nitrogen merupakan suatu proses asimilasi atau resintesis NH_4^+ dan NO_3^- menjadi protein, asam-asam nukleat dan senyawa kompleks organik yang menyusun sel mikrobial. Oleh karena itu, amobilisasi nitrogen merupakan suatu proses kebalikan dari mineralisasi nitrogen.

Selama dekomposisi bahan organik, gaya berlawanan dari mineralisasi-amobilisasi nitrogen akan saling mengimbangi. Besar dan arah dari dampak (*net effect*) kedua proses tersebut (apakah akan terjadi mineralisasi atautkah amobilisasi) merupakan suatu fungsi jumlah dan ketersediaan dari bahan organik. Secara khusus, dampak tersebut tergantung kepada nisbah dari karbon dan nitrogen yang tersedia di dalam sistem (Schnitzer dan Khan, 1978). Alexander (1977) kecenderungan dari dampak mineralisasi-amobilisasi dapat diduga berdasarkan faktor nitrogen. Faktor nitrogen tersebut merupakan jumlah N-anorganik yang diamobilisasi untuk tiap 100 unit bahan organik yang terdekomposisi atau secara operasional, merupakan jumlah nitrogen yang harus ditambahkan ke dalam bahan organik untuk menurunkan kecenderungan amobilisasi.

Berdasarkan hubungan matematis pada Gambar 3 (pengaruh dari pengikisan dan volatilisasi diabaikan), Alexander (1977), Schnitzer dan Khan (1978) dan Haynes (1986) menjelaskan kecenderungan dari *net effect*, jika bahan organik memiliki nisbah C/N dan kandungan nitrogen lebih besar atau lebih kecil dari faktor nitrogen. Jika bahan organik memiliki nisbah C/N lebih kecil dari faktor nitrogennya (kandungan nitrogen tinggi) maka mineralisasi nitrogen cenderung lebih kuat daripada amobilisasi nitrogen. Hal ini menyebabkan kandungan N-mineral yang dilepaskan lebih tinggi. Sebaliknya, jika C/N-nya lebih besar daripada faktor nitrogen

(kandungan nitrogen kecil) maka amobilisasi akan memiliki kecenderungan lebih besar daripada mineralisasi.

3. Faktor yang Mempengaruhi Mineralisasi-Amobilisasi

Dekomposisi bahan organik dan pelepasan N-mineral merupakan hasil interaksi kompleks antara populasi dan aktivitas mikrobal yang dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi mutu bahan/substrat, faktor lingkungan, nutrien serta garam mineral dan logam (Haynes, 1986).

a. Mutu Bahan/Substrat

Mutu bahan merupakan suatu faktor penting yang menentukan laju dekomposisi bahan organik. Parameter penting dari mutu bahan meliputi nisbah C/N, kandungan lignin dan polifenol dan ukuran (Haynes, 1986).

Kandungan lignin memiliki pengaruh lebih besar daripada nisbah C/N (kandungan nitrogen). Semakin tinggi kandungan lignin, semakin kecil pengaruh dari nisbah C/N dan kandungan nitrogen yang masih terikat dalam bahan organik semakin tinggi (Haynes, 1986). Hal ini menyebabkan laju dekomposisi berjalan lambat dan tingkat mineralisasi-N rendah.

Menurut Swift *et al.* (1979) di dalam Haynes (1986), senyawa polifenolik dapat memodifikasi laju dekomposisi. Harrison (1971) di dalam Haynes (1986) menambahkan bahwa senyawa

polifenol dapat menurunkan laju dekomposisi bahan organik melalui mekanisme inhibisi langsung terhadap aktivitas mikrobial. Secara umum, Haynes (1986) menyatakan semakin tinggi kandungan polifenol, semakin lambat laju dekomposisi dan tingkat mineralisasi nitrogen semakin rendah.

b. Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan yang mempengaruhi mineralisasi-amobilisasi karbon dan nitrogen meliputi kadar air, suhu, pH dan suplai oksigen (Haynes, 1986; Alexander, 1977). Pengaruh kadar air terhadap mineralisasi merupakan suatu fungsi dari proses kimia, fisika dan biologi. Kadar air mempengaruhi amonifikasi, nitrifikasi, denitrifikasi, perpindahan NO_3 dan amobilisasi (Schnitzer-Khan, 1978). Menurut Haynes (1986) kadar air tinggi (100-150 persen) dan rendah (30-50 persen) cenderung menurunkan laju dekomposisi dan tingkat mineralisasi. Haynes (1986), serta Schnitzer dan Kahn (1978) menyatakan perubahan kadar air akibat mekanisme pengeringan-pelembaban (*drying-wetting*) dapat meningkatkan laju dekomposisi dan tingkat mineralisasi.

Suhu merupakan faktor utama yang mempengaruhi dekomposisi bahan organik (Haynes, 1986). Pada suhu rendah, aktivitas mikrobial terhambat sehingga dekomposisi berjalan lambat. Pada suhu diatas 35°C , amonifikasi masih berlangsung tetapi nitrifikasi terhambat pada suhu 45°C (Schnitzer dan Khan, 1978). Suhu

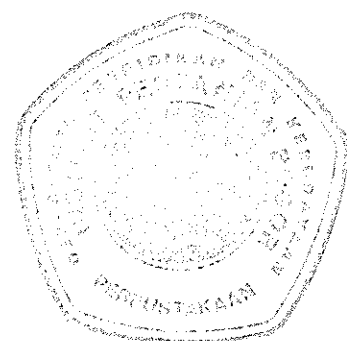
optimal untuk proses nitrifikasi dan amonifikasi (mineralisasi-N) adalah 25-35 °C (Alexander, 1977).

Nilai pH merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi dekomposisi dan mineralisasi. Pada pH netral, dekomposisi bahan organik berlangsung lebih cepat dan tingkat mineralisasi lebih tinggi dibandingkan pada pH rendah. Pengaruh pH tersebut berkaitan dengan aktivitas dan pertumbuhan mikrobial (Haynes, 1986).

Aerasi juga mempengaruhi mineralisasi dan amobilisasi. Dengan aerasi memadai, amonifikasi berjalan lambat, tetapi nitrifikasi berjalan cepat dan sebaliknya Alexander (1977). Haynes (1986) menambahkan bahwa, lambatnya dekomposisi dan mineralisasi pada kandungan air tinggi berkaitan dengan penurunan aktivitas mikrobial akibat suplai oksigen berkurang.

c. Nutrien dan Garam Mineral

Nutrien dan garam mineral (seperti K, S, P, Al^{+3} , Fe^{+3}) juga dapat membatasi laju dekomposisi pada saat pengkomposan. Menurut Haynes (1986) penambahan garam mineral dapat menstimulasi *net mineralization* N-organik. Heilman *di dalam* Haynes (1986) menambahkan bahwa kemampuan kation untuk menstimulasi mineralisasi N sesuai dengan kapasitas penggantian pada *site* pertukaran kation, yaitu $Al^{+3} > Fe^{+3} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^{+} > Na^{+}$.



d. Logam Berat

Menurut Haynes (1986), pada tingkat tertentu, logam dapat menghambat mekanisme mineralisasi-amobilisasi N. Chang dan Broadbent (1986) *di dalam* Haynes (1986) menambahkan bahwa pada tingkat penambahan rendah (100 dan 200 mg/kg), Mn(II) dan Pb(II) dapat menstimulasi amobilisasi N-NH₄⁺ yang ditambahkan, tetapi, pada tingkat penambahan tinggi (400 mg/kg), mineralisasi-amobilisasi N-NH₄⁺ menjadi terhambat. Menurut EPA (1984), tingkat maksimum logam dalam 1.0 kg lumpur yang sesuai untuk proses pengkomposan lumpur adalah 12.5-40 mg Cd, 500-900 mg Cu, 285-1000 mg Pb, 1250-2800 mg Zn, 100-200 mg Ni dan 5 mg Hg.

C. PENGKOMPOSAN LUMPUR

Metoda yang umum digunakan untuk mengkomposkan lumpur adalah metoda pengkomposan *windrows*, *static aerated piles*, dan *in-vessel* (EPA, 1984; EPA, 1989b; EPA, 1989c). Tahap-tahap proses dalam pengkomposan lumpur tersebut terdiri dari tahap persiapan, pengkomposan, *curing* dan *finishing* (EPA, 1989c). Tahap persiapan meliputi penurunan kadar air, stabilisasi dan pencampuran lumpur dengan bahan kamba. Menurut EPA (1987) penurunan kadar air bertujuan untuk menurunkan volume lumpur dan lumpur menjadi berstruktur padat. Penurunan air tersebut dapat dilakukan dengan metoda filtrasi pengempa alir, filtrasi vakum, filtrasi bertekanan udara, dan sentrifusi.

Proses stabilisasi bertujuan untuk menurunkan jumlah patogen dan potensi lumpur sebagai vektor penyakit. Stabilisasi kapur merupakan proses stabilisasi yang sering digunakan. Stabilisasinya dilakukan dengan menambahkan kapur dalam jumlah tertentu sehingga setelah kontak selama dua jam pH dari lumpur tinggi (± 12). Kapur dapat dapat ditambah pada saat lumpur sebelum atau sesudah proses penurunan kandungan air. Jika pH tinggi dapat dipertahankan dalam jangka waktu lama, penurunan jumlah patogen dapat berjalan efektif. Stabilisasi kapur mampu mereduksi 90 persen bakteri dan virus patogen (sekitar 10 kali). Telur cacing parasit juga akan mati, tetapi spesies-spesies tertentu tidak terpengaruhi oleh stabilisasi kapur (EPA, 1989c).

Pencampuran bahan kamba bertujuan untuk memperbaiki sifat kamba, mengabsorpsi air, meningkatkan struktur porositas dan kandungan karbon dari lumpur. Serbuk gergaji, jerami, potongan kayu, sampah dan lain-lain, dapat digunakan sebagai bahan kamba untuk pengkomposan lumpur.

Menurut EPA (1984) dan EPA (1989c) umumnya, jangka waktu pengkomposan lumpur adalah 21-30 hari (3-4 minggu). Selama pengkomposan, suhu dipertahankan sebesar 55 °C atau lebih, sekurang-kurangnya selama 15 hari. Tahap *curing* memerlukan waktu tambahan selama 30 hari dan untuk menjamin kompos tidak berbau, *curing* membutuhkan waktu tambahan 60-90 hari. Proses *curing* tersebut dicirikan oleh terjadinya penurunan laju dekomposisi.



Tahap *finishing* meliputi penyaringan dan pemisahan. Penyaringan dan pemisahan produk (*screening*) dapat dilakukan sesudah/sebelum proses *curing*. Di lain pihak, bahan-bahan yang belum terkomposkan (berhasil dipisahkan dari produk kompos) didaur ulang.

Agar pengkomposan berjalan efektif, faktor yang mempengaruhi proses, kriteria optimal perancangan dan tahap proses harus diperhatikan dengan baik. Menurut EPA (1989c) kriteria perancangan untuk pengkomposan lumpur adalah :

1. Luas lahan untuk mengkomposkan 1.0 ton lumpur kering/hari (ekuivalen tingkat produksi lumpur dari kolam penanganan primer dan sekunder yang menangani air limbah dari 10,000 populasi) adalah sekitar 1.3 acre (13,000 m²).
2. Tinggi gundukan (*windrows*) adalah 4-8.0 ft dan lebar dasarnya adalah 12-25 ft. Sedangkan, panjang bervariasi.
3. Nisbah C/N dan C/P dari campuran (lumpur dan bahan tambahan), masing-masing adalah 30-35:1 dan 75-150 :1.
4. Kadar air dari campuran adalah 45-60 persen.
5. Laju aliran udara dalam gundukan adalah 10-30 ft³ udara/hari/lb padatan volatil.
6. Waktu detensi pengkomposan adalah 6-48 minggu.

D. KARAKTERISTIK DAN MUTU KOMPOS

Kompos merupakan suatu produk yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman. Kompos telah mengalami tahap dekomposisi awal cepat dan proses humifikasi (pembentukan humus) (Stentiford dan Dodds, 1992).

Kompos memiliki volume kamba lebih rendah dibandingkan bahan organik asalnya, karena sekitar 40-75 persen bahan organik (berdasarkan volume awal) akan terdekomposisi (Gaur, 1983 dan EPA, 1989a). Selain itu, produk tersebut memiliki sifat yang stabil, laju dekomposisi lambat dan mengandung nutrisi-nutrisi penting bagi tanaman (Gaur, 1983)

Gaur (1983) dan Harada *et al.* (1993) menyatakan, bahwa bahan organik dalam kompos sebaiknya telah terdekomposisi sempurna dan tidak menimbulkan efek-efek merugikan bagi pertumbuhan tanaman. Umumnya, kompos dicirikan oleh sifat-sifat seperti berikut :

1. Berwarna coklat tua hingga hitam.
2. Tidak larut dalam air, meskipun sebagian dari kompos dapat membentuk suspensi.
3. Sangat larut dalam pelarut alkali, natrium pirifosfat, atau larutan amonium oksalat, dengan menghasilkan ekstrak berwarna gelap dan dapat difraksinasi lebih lanjut menjadi zat *humic*, *fulvic*, dan *humin*.
4. Nisbah C/N sebesar 10-20 (tergantung bahan baku dan derajat humifikasi).
5. Secara biokimiawi tidak stabil, tetapi komposisinya berubah akibat oksidasi menjadi garam-garam anorganik, CO₂ dan air melalui aktivitas mikrobial (sepanjang kondisi lingkungan sesuai). Bakteri-bakteri pendegradasi asam-asam *humic* dan *fulvic* telah diketahui terlibat dalam biodegradasi zat-zat *humic*.
6. Memiliki kapasitas pemindahan kation dan absorpsi air tinggi.
7. Jika digunakan pada tanah, kompos memberikan efek-efek menguntungkan bagi tanah dan pertumbuhan tanaman. Nilai pupuknya ditentukan oleh N, P, K, Ca, dan Mg. Selain itu, kompos

mengandung unsur kelumit untuk pertumbuhan tanaman. Pengaruhnya terhadap kesuburan tanah sangat tinggi jika penggunaannya digabungkan dengan pupuk mineral.

Harada *et al.* (1993) menambahkan bahwa, pengendalian mutu kompos sangat penting untuk meningkatkan pendaurulangan limbah-limbah organik. Kualitas kompos yang diperlukan untuk penggunaan tanaman disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Syarat Mutu Kompos

PARAMETER MUTU	SATUAN	STANDAR MUTU		
		Standar 1 ^{a)}	Standar 2 ^{b)}	
FISIK	Kotoran	-	tidak ada	-
	Warna	-	coklat tua	-
	Bau	-	sedikit	-
	Kadar Air	%	10-20	55-65
	pH	-	5.5-6.5	5.5-7.5
	Daya Ikat	%	100-150	-
BIOLOGI	Uji Benih	-	-	dapat
KIMIA	Bahan	%	-	> 70
	C/N	-	maks.20	5
	Total N	%	2.5-3.5	0.20
	N tersedia	%	50-70	-
	P ₂ O ₅	%	1-1.5	> 0.5
	K ₂ O	%	1-1.5	> 0.3
	KTK	meq/100g	75-100	70
	Logam	%	tidak ada	-

- a) diambil dari Laporan Utama PT. Mekaro Daya Mandiri (1995),
 b) Kawada (1981) *di dalam* Harada *et al.* (1993),
 c) dengan benih tomat, ketimun atau *radish*

Jika bahan-bahan organik telah terdekomposisi sempurna, kompos akan memiliki mutu yang baik. Menurut Harada *et al.* (1993) tingkat kematangan kompos tersebut sangat berpengaruh terhadap mutu kompos. Kompos matang akan memiliki nisbah C/N rendah, tidak menyebarkan bau menyengat, kandungan kadar air memadai, dan tidak mengandung unsur-unsur yang merugikan tanaman (*phytotoxic*, benih rumput, dan patogen). Garcia *et al.* (1990) menambahkan bahwa bila kompos belum matang digunakan untuk pemupukan tanah maka kompos akan memberikan dampak negatif bagi tanaman, karena mikroorganisme tanah dan tanaman menjadi berkompetisi untuk memperoleh nitrogen. Selain itu, pemberian kompos belum matang tersebut sering menimbulkan kondisi anaerobik sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terganggu.

Karena tingkat kematangan kompos merupakan faktor penting yang berkaitan dengan mutu kompos, penentuan tingkat kematangan kompos harus dilakukan dengan tepat. Menurut Chaniago (1987) tingkat kematangan kompos dapat ditentukan berdasarkan sifat fisik (seperti bau, warna, struktur, suhu), sifat kimia (seperti kandungan selulosa, nitrat, sulfat) dan sifat biologi (seperti jumlah organisma, produksi CO₂, dan konsumsi O₂). Harada *et al.* (1993) menambahkan, bahwa pendeteksian nitrat dengan diphenilamin, penentuan CEC (*Cation Exchange Capacity*), dan uji germinasi dapat digunakan untuk mengestimasi tingkat kematangan kompos. Metode-metoda yang dapat digunakan untuk menduga tingkat kematangan kompos disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Metoda estimasi tingkat kematangan kompos

DAŠAR ESTIMASI	METODA ESTIMASI
AKTIVITAS MIKROBIAL	BOD
	COD
	Aktivitas enzimatik
BIOLOGI	Uji Germinasi
	Percobaan Pembenuhan
	Kultur Tabung Serbuk sari
FISIKA	Suhu dalam gundukan
	Emisi Bau
	Perubahan Warna
KIMIA	Nisbah C/N pada fase air
	Nisbah C/N pada fase padat
	Nisbah C dlm gula pereduksi thd total C
	Deteksi Nitrat
	Tidak adanya Amoniak
	Uji kertas kromatografi sirkuler
	Kandungan senyawa-senyawa <i>humic</i>
	Kromatografi gel dari ekstrak air
	CEC

Harada *et al.* (1993)

III. METODE PENELITIAN

A. BAHAN

Bahan-bahan untuk penelitian terdiri dari lumpur, onggok, sampah, kotoran dan air limbah ternak sapi serta bahan-bahan untuk analisis kimia. Lumpur diambil dari kolam stabilisasi milik PD. PAL JAYA, Jakarta dan merupakan bahan utama dalam proses pengkomposan. Onggok diambil dari industri tapioka di daerah Kedunghalang, Bogor, Jawa Barat. Sampah untuk bahan tambahan merupakan sisa sortasi sayur-sayuran dari Pasar Ramayana, Bogor, Jawa Barat. Kotoran dan air limbah ternak sapi diambil dari Unit Peternakan Pesantren Darul Fallah yang terletak di daerah Ciampes, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Bahan untuk analisis kimia dapat dilihat pada prosedur analisis kimia di Lampiran 1.

B. ALAT

Alat-alat untuk menangani bahan dan penelitian terdiri dari bangunan dan rak/tray pengering lumpur, bioreaktor, termometer batang ± 0.1 °C dan alat-alat untuk analisis kimia. Bangunan pengering lumpur dibuat dari konstruksi kayu usuk yang mampu menampung dua buah rak pengering. Ukuran dari bangunan pengering adalah panjang 3.0 meter, lebar 2.0 meter dan tinggi 2.2 meter. Bagian atap dibuat agak melengkung untuk mencegah tetesan air embun hasil penguapan jatuh ke dalam lumpur yang dikeringkan. Bangunan pengering ditutup dengan plastik bening polietilen sehingga terbentuk efek rumah kaca dan proses pengeringan berlangsung

lebih cepat. Rak pengeringa dibuat sebanyak dua buah dari konstruksi kayu yang diberi alas kasa plastik. Masing-masing bak memiliki tiga buah rak. Ukuran dari masing-masing rak adalah panjang 2.8 meter, lebar 0.6 m dan jarak antar rak 0.3 m. Bentuk dan ukuran dari bangunan dan rak pengering tersebut disajikan pada Lampiran 2.

Bioreaktor digunakan untuk proses pengkomposan skala kecil dimana pengaruh dari faktor suhu dan ukuran gundukan terhadap proses pengkomposan (terutama mineralisasi bahan organik) dapat diabaikan. Komponen dari bioreaktor tersebut terdiri dari **bak plastik, tabung plastik, slang plastik dan aerator akuarium**. Bentuk dan susunan bioreaktor dapat dilihat pada Lampiran 3. Alat untuk analisis disajikan pada prosedur analisis kimia di Lampiran 1.

C. TAHAP-TAHAP PENELITIAN

1. Persiapan Bahan

Tahap persiapan meliputi **penurunan kadar air lumpur dan pengecilan ukuran sampah**. Metode untuk penurunan air dari lumpur adalah **metode pengeringan dengan cahaya matahari**. Lumpur diletakkan dalam rak pengering dengan ketebalan kira-kira 5.0-10 cm. Pengeringan dihentikan jika kadar air lumpur telah mencapai kisaran optimal untuk pengkomposan atau setelah 3-4 hari pengeringan. Pengecilan ukuran bertujuan untuk mengoptimalkan proses dekomposisi bahan pada saat

pengkomposan. Ukuran dari sampah dikecilkan sehingga berukuran kurang dari 5.0 cm

2. Analisis Bahan Baku

Tujuan analisis adalah untuk karakterisasi lumpur, sampah, onggok, kotoran ternak dan air limbahnya. Hasil analisis lumpur digunakan untuk mengkaji kelayakan lumpur sebagai bahan untuk pembuatan pupuk organik dengan pengkomposan dan menentukan proporsinya dalam campuran bahan. Sedangkan hasil analisis terhadap sampah dan onggok digunakan untuk menentukan proporsi bahan-bahan tersebut dalam campuran.

Karakteristik lumpur yang dianalisis meliputi kandungan **C, N, P, K, logam (Fe, Cd, Cr, Zn, Mg), pH, kadar air, C/N dan C/P** dan karakteristik onggok dan sampah yang dianalisis adalah kandungan **C, N, P, C/N dan C/P**. Kandungan ion NO_3^- , PO_4^{-3} dan K^+ merupakan karakteristik dari air limbah kotoran ternak sapi yang dianalisa.

3. Penentuan Proporsi dan Pencampuran

Pencampuran bertujuan untuk menyesuaikan karakteristik bahan baku sehingga memenuhi kriteria optimal proses. Parameter-parameter yang digunakan untuk menentukan proporsi bahan adalah nisbah C/N dan C/P. Penentuan dilakukan dengan menerapkan pendekatan neraca massa. Persamaan umum dari neraca massa tersebut adalah:

$$\sum c_i \left(1 - \frac{\theta}{\theta_i}\right) - c_o \left(\frac{\theta}{\theta_o} - 1\right)$$

$$\sum c_i \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_i}\right) - c_o \left(\frac{\gamma}{\gamma_o} - 1\right)$$

dimana :

- θ = nisbah C/N dari campuran,
- θ_o = nisbah C/N dari lumpur,
- θ_i = nisbah C/N dari bahan tambahan ke-i,
- γ = nisbah C/P dari campuran,
- γ_o = nisbah C/P dari lumpur,
- γ_i = nisbah C/P dari bahan ke-i,
- c_o = kadar karbon organik dari lumpur (%),
- c_i = kadar karbon organik dari bahan tambahan ke-i (%),
- X_o = bobot dari lumpur (kg atau gr)
- X_i = bobot dari bahan tambahan ke-i (kg atau gr)

Penurunan/penggunaan dari persamaan tersebut dan perhitungan untuk menentukan proporsi bahan disajikan pada Lampiran 4.

4. Penentuan Waktu Pengkomposan

Untuk menentukan jangka waktu pengkomposan, campuran bahan ditumpuk membentuk *windrows*. Bentuk dan ukuran dari *windrows* yang digunakan dalam percobaan disajikan dalam Lampiran 3. Akhir proses pengkomposan ditentukan berdasarkan pengamatan terhadap suhu dan uji kematangan difenilamin pada saat suhu mendekati suhu lingkungan.



Untuk mengamati karakteristik suhu pada proses pengkomposan lumpur, pengukuran suhu dalam gundukan/*windrows* dilakukan pada lima titik yang letaknya berbeda. Pengukuran suhu dilakukan setiap hari, sebanyak dua kali (yaitu pada waktu pagi hari dan sore hari). Titik-titik dimana suhu dalam gundukan tersebut diukur disajikan dalam Lampiran 3.

5. Pengamatan Mineralisasi

Campuran bahan (lumpur, kotoran sapi, onggok dan sampah) untuk mengamati mineralisasi dikomposkan dalam wadah-wadah silinder plastik berdiameter 5.0 cm (dengan kapasitas 20 gram) yang terdapat dalam dua bioreaktor sederhana (berjumlah 12 buah untuk setiap bioreaktor). Bioreaktor disimpan di ruangan gelap selama 40 hari inkubasi pada suhu ruang. Untuk tiap perlakuan yang diberikan, wadah silinder yang digunakan berjumlah enam buah (tiga buah untuk ulangan 1 dan tiga buah lainnya untuk ulangan 2) dan pengambilan sampel dilakukan secara periodik.

Untuk tiap perlakuan yang diberikan, percobaan dilakukan sebanyak dua kali (satu kali ulangan). Perlakuan yang diberikan meliputi:

1. **Kontrol (TC).** Campuran bahan dikomposkan/diinkubasi selama 40 hari dalam kondisi kelembaban yang dipertahankan pada kondisi optimalnya dan tanpa penyiraman air limbah kotoran ternak.

2. **Pengeringan-Pelembaban Berkala (T1).** Perlakuan pengeringan-pelembaban secara berkala diberikan dalam selang waktu 5 hari. Lima hari pertama, setiap gundukan pengkomposan yang diberi perlakuan pengeringan-pelembaban dipertahankan kadar airnya. Kemudian, lima hari kedua kadar airnya diturunkan hingga 30 persen (dibawah kadar air optimal untuk proses pengkomposan lumpur) dan dipertahankan kering. Kedua kondisi yang berlawanan ini diulang hingga hari ke-29.
3. **Penyiraman dengan air limbah kotoran ternak (T2).** Penyiraman air limbah kotoran ternak sapi mulai diberikan setelah dua hari inkubasi sebanyak 100 ml per gundukan pengkomposan yang diberi perlakuan penyiraman.
4. **Gabungan (T3).** Perlakuan gabungan dilakukan seperti kedua cara di atas dimana gundukan yang diberi perlakuan pengeringan-pelembaban berkala setiap selang 5 hari dan penyiraman air limbah kotoran ternak. Penambahan air limbah kotoran ternak dimulai setelah 2 hari inkubasi pada lima hari pertama kondisi pelembaban dan saat pelembaban dari kondisi kering.

Perlakuan-perlakuan tersebut diharapkan memiliki kecenderungan mineralisasi karbon dan nitrogen dari bahan organiknya lebih tinggi daripada kontrol dan mutu kompos yang dihasilkan lebih baik daripada kontrol. Asumsi yang digunakan adalah mineralisasi-amobilisasi terhadap unsur-unsur lain, seperti fosfor, kalium dan sulfur, terjadi

secara simultan dan dipengaruhi oleh faktor-faktor yang sama dengan mineralisasi terhadap karbon dan nitrogen.

Pengambilan sampel dilakukan secara berkala, yaitu pada hari ke-0, 14, 24, 40 (akhir inkubasi) dan sampel yang diambil merupakan sampel komposit (gabungan), yaitu untuk tiap ulangan pada masing-masing perlakuan dilakukan dengan cara mengambil sampel dengan proporsi yang sama dari tiap wadah silinder plastik dan sampel-sampel tersebut dicampurkan. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam tabung plastik dan disimpan dalam lemari es. Tahap-tahap penelitian, waktu pengeringan-pelembaban, penyiraman air limbah kotoran ternak dan pengambilan sampel disajikan dalam Lampiran 5. Karakteristik yang dianalisa dari sampel hari ke-0, 14, 24 dan hari terakhir adalah kandungan C-organik dan N-mineral.

6. Analisis Mutu Kompos

Pengambilan sampel untuk analisis mutu kompos utama dilakukan pada hari terakhir proses pengkomposan. Sampel yang diambil merupakan sampel komposit. Karakteristik mutu kompos yang dianalisis meliputi kandungan C-organik, N-mineral, P-mineral, K-mineral, kapasitas tukar kation, pH dan kadar air..

D. METODE ANALISIS

Kadar air dan pH dianalisis dengan metode dari Djatmiko *et al.* (1990) dan dinyatakan sebagai persen basis kering sampel. Metode untuk analisis

P-total dan P-tersedia (mineral) adalah metode dari Olsen dan Sommers (1986). Metode untuk analisis C-organik, N-total, K-total, K-tersedia (mineral) dan N-tersedia (mineral), masing-masing, adalah metode dari Nelson dan Sommers (1986), Bremney dan Mulvaney (1986), Knudsen *et al.* (1986) serta Keeney dan Nelson (1986). Sedangkan metode untuk analisis KTK dan uji kematangan kompos difenilamin, masing-masing, adalah metode dari Rhoades (1986) dan Harada *et al.* (1993).

Tabel 9. Karakteristik sampah, ongkok dan kotoran ternak

NO	KARAKTERISTIK	SATUAN	JENIS BAHAN TAMBAHAN		
			SAMPAH	ONGKOK	KOTORAN TERNAK
1	C	% ^{*)}	6.96	37	8.33
2	N	% ^{*)}	0.68	0.25	0.64
3	P	% ^{*)}	0.05	0.02	0.30
4	C/N	-	10	148	12
5	C/P	-	139	1850	28

*) (w/w. basis kering)

Tabel 10. Kandungan nutrisi mineral (NO_3^- , PO_4^{-3} dan K^+) dari air limbah ternak

NO	JENIS MINERAL	SATUAN	NILAI
1	NO_3^-	mg/L	29-38
2	PO_4^{-3}	mg/L	120-133
3	K^+	mg/L	300-320

Berdasarkan hasil analisis (Tabel 8), lumpur memiliki nisbah C/N dan C/P sangat rendah, yaitu 10 dan 15. Jika lumpur tersebut dikomposkan, proses pengkomposan akan memiliki kinerja yang tidak efektif. Menurut Stentiford dan Dodds (1992), pengkomposan bahan-bahan dengan nisbah C/N rendah (kandungan N berlebihan) dapat menimbulkan masalah bau dan akan memiliki kinerja tidak efektif. Hal ini karena senyawa-senyawa nitrogen organik, seperti protein, didegradasi menjadi NH_4^+ . Selain itu, pengkomposan dengan bahan-bahan C/N rendah tersebut menyebabkan

terjadinya kehilangan nutrisi penting karena NH_4^+ yang dihasilkan selama proses akan dilepaskan.

Agar proses pengkomposan bekerja efektif, nisbah C/N dan C/P dari lumpur tersebut harus diperbaiki/disesuaikan. Peningkatan nisbah C/N dan C/P tersebut dilakukan dengan mencampurkan lumpur dan beberapa bahan yang C/N-nya tinggi, dalam jumlah/proporsi tertentu, sedemikian sehingga sesuai dengan kisaran optimal proses pengkomposan.

Proporsi bahan dapat ditentukan dengan menerapkan prinsip neraca massa. Parameter acuan untuk menentukan proporsi bahan tersebut adalah nisbah C/N dan C/P. Menurut EPA (1989c), nisbah C/N dan C/P untuk proses pengkomposan lumpur, masing-masing, adalah 30-35:1 dan 75-150:1. Bila nisbah C/N dan C/P lebih tinggi atau rendah dari nilai tersebut, pengkomposan lumpur akan bekerja tidak efektif (kinerja rendah) dan proses dekomposisi akan berjalan lambat.

Dengan menggunakan C/N dan C/P tersebut dan data karakteristik bahan, proporsi dari lumpur, sampah dan onggok dapat ditentukan, yaitu sebesar 52, 27 dan 21 persen. Pencampuran lumpur dengan sampah dan onggok dimaksudkan untuk meningkatkan C/N dan C/P dari lumpur sehingga mendekati kisaran optimal yang telah direkomendasikan. Penambahan kotoran sapi adalah 2.0 persen dari total campuran.

B. JANGKA WAKTU PENGKOMPOSAN LUMPUR

Parameter acuan untuk menentukan akhir (jangka waktu) dari proses pengkomposan lumpur adalah suhu dan uji kematangan difenilamin (deteksi

nitrat). Hasil pengamatan suhu dan uji kematangan difenilamin disajikan pada Tabel 11 dan Gambar 4.

Tabel 11. Hasil pengamatan suhu dan uji kematangan digenilamin

t	T (°C)	UKD	L	T (°C)	UKD	L	T (°C)	UKD
0	30	-	14	61	N	28	35	-
1	49	-	15	56	-	29	33	-
2	52	-	16	52	-	30	33	-
3	51	-	17	49	-	31	32	-
4	52	-	18	47	-	32	31	-
5	56	-	19	43	-	33	32	-
6	55	-	20	43	-	34	30	-
7	55	-	21	41	-	35	30	-
8	71	-	22	39	-	36	31	P
9	66	-	23	38	-	37	29	P
10	61	-	24	38	N	38	28	P
11	56	-	25	37	-	39	29	P
12	54	-	26	36	-	40	29	P
13	61	-	27	36	-			

Keterangan :

- t merupakan waktu (hari)
- T merupakan suhu rata-rata di dalam *windrows*
- UKD merupakan hasil dari uji kematangan difenilamin dimana N adalah hasil uji negatif dan P adalah hasil uji positif (larutan uji menjadi berwarna biru)

Panas merupakan produk sampingan yang dihasilkan pada saat proses pengkomposan. Output panas ini akan meningkatkan suhu dalam gundukan pengkomposan. Pada minggu pertama dan kedua, substrat tersedia dalam jumlah tinggi sehingga pertumbuhan dan aktivitas mikrobial dapat berlangsung dengan cepat. Hal ini menyebabkan tingginya tingkat pelepasan panas sehingga suhu dalam gundukan meningkat dengan cepat. Pada minggu selanjutnya, jumlah substrat yang tersedia semakin sedikit sehingga pertumbuhan dan aktivitas-aktivitas mikrobial menjadi turun. Hal ini menyebabkan output panas yang dihasilkan semakin menurun dan suhu dalam gundukan menurun (Stentiford dan Dodds, 1992), Jadi suhu pengkomposan dapat dijadikan parameter untuk mengetahui ketersediaan substrat dalam gundukan.

Menurut Chaniago (1987) dan Gaur (1983), penurunan suhu dalam gundukan dapat dijadikan sebagai parameter untuk menentukan kematangan dari proses pengkomposan. Hal ini ditunjukkan oleh semakin turunnya suhu dalam gundukan dan akhirnya mendekati suhu lingkungan. Harada *et al.* (1993) menambahkan bahwa pendeteksian nitrat dengan difenilamin dapat digunakan untuk mengetahui kematangan dari proses pengkomposan. Uji positif ditunjukkan warna dari larutan uji yang berubah menjadi biru.

Berdasarkan Tabel 11 dan Gambar 4, suhu dalam gundukan kompos mendekati suhu lingkungannya dimulai pada hari ke-34 dan uji difenilamin menunjukkan hasil positif dimulai pada hari ke-36. Jadi jangka waktu pengkomposan lumpur tingkat kematangan yang memadai adalah 40 hari.

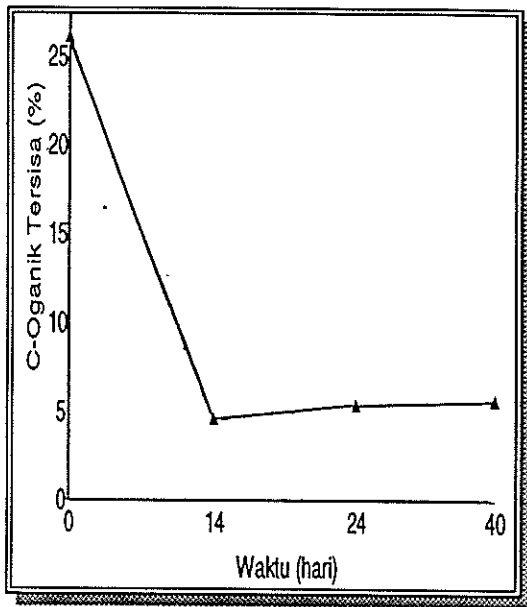
C. MINERALISASI KARBON DAN NITROGEN

Hasil analisa dari kandungan C-organik tersisa dan N-mineral terakumulasi dalam gundukan-gundukan pengkomposan, yang diinkubasi selama 40 hari pada suhu ruang dan dijaga konstan, disajikan pada Tabel 12.

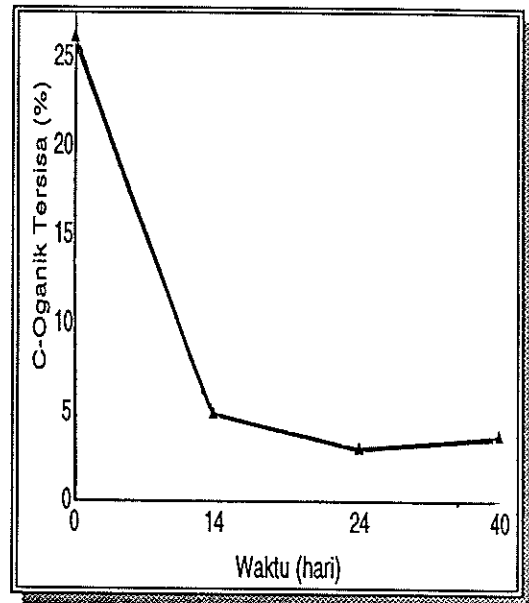
Tabel 12. Kandungan C-organik (C), N-mineral (N) dan C/N dalam gundukan pengkomposan selama 40 hari inkubasi (nilai rata-rata dari dua kali percobaan)

PERLAKUAN	t	C ^a (%)	N ^b (mg/kg)	C/N
KONTROL (TC)	0	26.21	136	30
	14	4.68	340.5	4.51
	24	5.46	194	5.34
	40	5.72	252	5.56
PENGERINGAN- PELEMBABAN BERKALA (T1)	0	26.21	136	30
	14	5.00	416	4.79
	24	3.04	419.5	2.91
	40	3.74	198	3.66
PENYIRAMAN AIR LIMBAH TERNAK SAPI (T2)	0	26.21	136	30
	14	3.09	528.5	2.93
	24	4.96	457	4.73
	40	7.12	212.5	6.95
GABUNGAN (T3)	0	26.21	136	30
	14	6.36	392	6.10
	24	6.05	392.5	5.81
	40	6.07	385.5	5.83

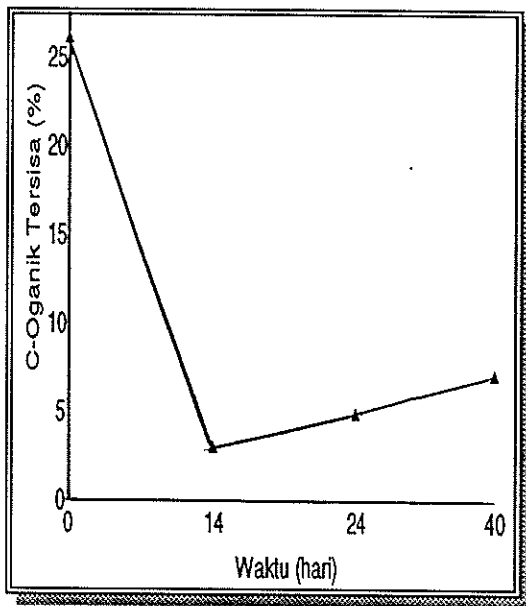
t adalah waktu (hari), a) w/w, basis kering, b) basis kering



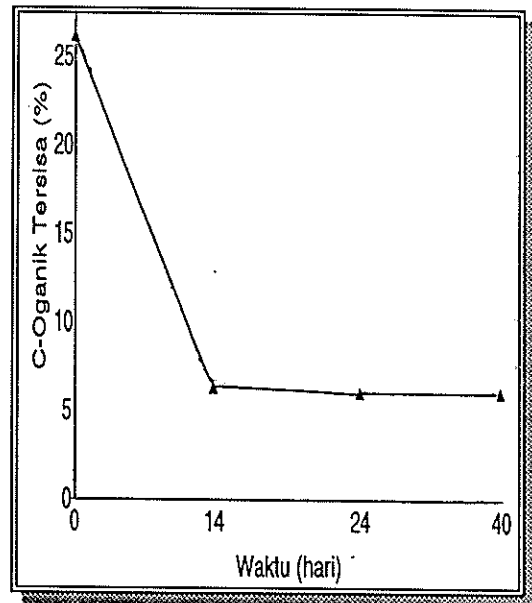
(a) TC



(b) T1



(c) T2



(d) T3

Gambar 5. Perubahan C-organik dalam gundukan pengkomposan diinkubasi selama 40 hari (a) kontrol, (b) siklus pengeringan-pelembaban, (c) penyiraman air limbah (d) gabungan

Tabel 13. Tingkat perubahan C-organik dalam gundukan untuk tiap perlakuan setelah 14 hari inkubasi (dihitung terhadap C-organik pada hari ke-0)

No	Perlakuan	Tingkat Perubahan Setelah 14 Hari Inkubasi (%) ^{*)}
1	TC	-82
2	T1	-81
3	T2	-88
4	T3	-76

*) tanda negatif menunjukkan penurunan

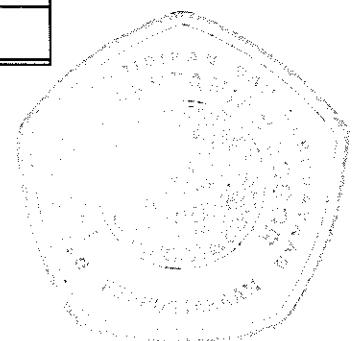
Gundukan T2 memiliki persentase lebih tinggi daripada TC, sedangkan T1 dan T3 lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa, setelah 14 hari inkubasi, T2 lebih berpengaruh dalam meningkatkan mineralisasi C-organik daripada perlakuan T1 dan T3.

Setelah 24 hari inkubasi, C-organik dalam gundukan TC dan T2 mengalami peningkatan, dan dalam gundukan T1 dan T3 masih mengalami penurunan. Tingkat perubahan C-organik dalam tiap gundukan dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Tingkat/persentase perubahan C-organik dalam gundukan untuk tiap perlakuan setelah 24 hari inkubasi (dihitung terhadap C-organik pada hari ke-14)

No	Perlakuan	Tingkat Perubahan Setelah 24 Hari Inkubasi (%) ^{*)}
1	TC	17
2	T1	-39
3	T2	61
4	T3	- 5

*) tanda negatif menunjukkan penurunan



Hal ini menunjukkan bahwa, setelah 24 hari inkubasi, perlakuan T1 (siklus pengeringan-pelembaban) dan T3 (gabungan) lebih berpengaruh dalam meningkatkan persentase penurunan C-organik (mineralisasi) C-organik daripada perlakuan T2.

Setelah 40 hari inkubasi, C-organik dalam gundukan untuk semua perlakuan mengalami peningkatan. Tingkat perubahan C-organik dalam gundukan untuk tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Tingkat/persentase perubahan C-organik dalam gundukan untuk tiap perlakuan setelah 40 hari inkubasi (dihitung terhadap C-organik pada hari ke-24)

No	Perlakuan	Tingkat Perubahan Setelah 40 Hari Inkubasi (%) ¹⁾
1	TC	5
2	T1	23
3	T2	44
4	T3	0.3

Hal ini menunjukkan bahwa, setelah 40 hari inkubasi, perlakuan-perlakuan yang diberikan tidak berpengaruh dalam meningkatkan mineralisasi C-organik.

Fluktuasi C-organik selama pengkomposan lumpur diduga berkaitan dengan (1) ketersediaan nutrisi yang dapat segera digunakan, (2) ukuran biomassa mikrobial aktif, (3) pertumbuhan dan aktivitas mikrobial, (4) tekanan dari faktor lingkungan (*draught stress*) dan (5) asimiliasi karbon. Selama 14 hari pertama inkubasi, substrat dan nutrisi mineral tersedia dalam jumlah besar sehingga mikroorganisme-mikroorganisme pendegradasi

mampu tumbuh dan melakukan aktivitas-aktivitas mikrobial dengan sangat cepat. Dengan demikian, biomassa aktif dari mikroorganisme-mikroorganisme tersebut memiliki ukuran sangat besar. Hal ini diduga menyebabkan mineralisasi C-organik dalam gundukan TC, T1, T2 dan T3 sangat tinggi sehingga C-organik mengalami penurunan sangat tajam dan jumlah ketersediaannya semakin sedikit.

Jika dibandingkan terhadap TC, setelah 14 hari inkubasi tersebut, penurunan kandungan C-organik pada gundukan T2 memiliki persentase lebih tinggi, sedangkan T1 dan T3 lebih kecil. Pada gundukan T2, kandungan nutrisi mineral (yaitu nitrat, fosfat dan kalium) lebih tinggi daripada TC, karena mendapat tambahan kira-kira sebesar 1.2-1.6 mg NO_3^- , 4.9-5.4 mg PO_4^{3-} dan 12.3-13 mg K^+ untuk setiap gram bahan organik. Dengan demikian, nisbah C/N dan kandungan nitrogen dalam gundukan T2 diduga lebih besar daripada faktor nitrogen. Hal ini menyebabkan kecenderungan mineralisasi C-organik lebih tinggi daripada amobilisasinya. Dengan demikian gundukan T2 akan memiliki tingkat mineralisasi C-organik lebih tinggi daripada TC sehingga C-organik tersisa menjadi lebih sedikit. Zagal dan Persson (1994), yang mengamati pengaruh penambahan nitrogen pada saat dekomposisi glukosa, menemukan hasil yang sama dan membuktikan bahwa penambahan nitrogen mampu meningkatkan persentase penurunan kandungan C-tersisa. Setelah 84 hari, penambahan nitrogen dengan konsentrasi rendah (yaitu 38 dan 76 mg N/kg glukosa) menstimulasi pelepasan CO_2 lebih tinggi. Hal ini merupakan akibat dari interaksi antara pertumbuhan mikrobial dan ketersediaan nitrogen.

Dalam gundukan T1 dan T3, pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme degradasi mengalami tekanan dari faktor lingkungan yang disebabkan oleh perlakuan pengeringan-pelembaban berulang (*draught stress*). Kondisi berubah-ubah tersebut akan mengurangi waktu efektif dari pertumbuhan dan aktivitas mikrobial. Dengan demikian, tingkat mineralisasi bahan organik oleh mikroorganisme mengalami penurunan dan persentase penurunan C-organik dalam gundukan T1 dan T3 menjadi lebih kecil daripada TC. Franzluebbers *et al.* (1994) membuktikan bahwa kondisi pengeringan-pelembaban berkala mereduksi persentase penurunan kumulatif C dari *cowpea* dan persentase penurunannya menjadi 5.5 persen lebih kecil daripada *cowpea* yang terdekomposisi pada kelembaban sinambung ($P = 0.09$). Hal ini karena periode aktif dari aktivitas mikrobial pada saat dekomposisi *cowpea* dengan kondisi kering-lembab berkala, tereduksi sebesar 20 persen dari total periode inkubasi (sebagai akibat dari *draught stress*). Reduksi penurunan karbon dalam jumlah kecil tersebut menunjukkan bahwa selama inkubasi, dekomposisi *cowpea* pada kondisi lembab sinambung memiliki aktivitas mikrobial lebih tinggi.

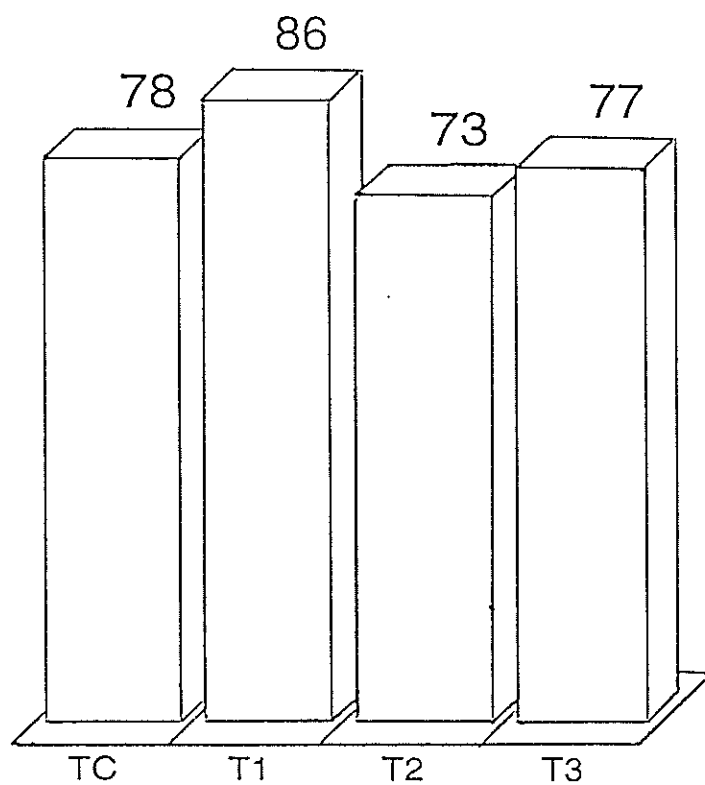
Pada periode selanjutnya (setelah 24 hari inkubasi), substrat dalam gundukan pengkomposan telah berkurang sehingga mikroorganisme akan melakukan adaptasi, yaitu dengan menurunkan ukuran biomassa mikrobial aktif. Dengan demikian, aktivitas-aktivitas mikrobialnya relatif lebih kecil sehingga tingkat mineralisasi C-organik dalam gundukan menurun. Faktor-faktor tersebut diduga merupakan faktor-faktor yang menyebabkan penurunan tingkat mineralisasi C-organik dalam gundukan T1 dan T3.

Franluebbbers *et al.* (1994), yang mengamati mineralisasi karbon dan nitrogen dari residu *cowpea* (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) (sejenis kacang-kacangan) dengan perlakuan kelembaban sinambung dan dikering-lembabkan secara berkala tiap 5 hari (selama 68 hari inkubasi) membuktikan bahwa ukuran biomassa mikrobial, ketersediaan substrat dan laju dekomposisi memiliki suatu korelasi. Selama 10 hari pertama, ketika substrat tersedia dalam jumlah besar, laju dekomposisi *cowpea* berlangsung dengan sangat cepat dan biomassa mikrobial aktif memiliki ukuran sangat tinggi. Pada periode inkubasi selanjutnya, ukuran biomassa mikrobial aktif dan laju dekomposisi mengalami penurunan.

Setelah 24 hari inkubasi, C-organik dalam gundukan TC dan T2 mengalami peningkatan. Demikian pula, setelah 40 hari inkubasi, C-organik dalam gundukan untuk semua perlakuan mengalami peningkatan. Peningkatan C-organik tersebut diduga berkaitan dengan asimilasi CO_2 dan adanya spesies mikroorganisme yang mampu menggunakan CO_2 sebagai sumber C. Data yang diperoleh dari penelitian kurang memadai untuk menduga kontribusi dari faktor-faktor tersebut terhadap peningkatan C-organik dalam gundukan pengkomposan. Untuk menduga kontribusi dari kedua faktor tersebut, biomassa mikrobial dalam gundukan harus dianalisis dengan kondisi aerasi udara bebas CO_2 dan tidak bebas CO_2 , serta jenis-jenis mikroorganisme dalam gundukan kompos harus dianalisis.

Jika dibandingkan terhadap kandungan C-organik awal, setelah 40 hari inkubasi, perbedaan perlakuan menyebabkan perubahan kandungan C-organik tersisa di dalam gundukan-gundukan pengkomposan menunjukkan

hasil yang berbeda. Tingkat perubahan (penurunan) kandungan C-organik untuk masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Gambar 6. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses pengkomposan, perlakuan T1 (pengeringan-pelembaban berkala) lebih berpengaruh dalam meningkatkan mineralisasi karbon daripada perlakuan T2 (penyiraman air limbah) dan T3 (gabungan) sehingga persentase penurunan C-organiknya lebih tinggi daripada TC (kontrol).



Gambar 6. Persentase penurunan C-organik dalam gundukan TC, T1, T2 dan T3 setelah 40 hari inkubasi jika dihitung terhadap kandungan C-organik awal

2. Mineralisasi Nitrogen

Selama 40 hari inkubasi (proses pengkomposan), kandungan N-mineral dalam gundukan untuk tiap perlakuan juga mengalami fluktuasi. Pola perubahan N-mineral dalam gundukan untuk masing-masing perlakuan disajikan pada Gambar 7. Setelah 14 hari inkubasi, N-mineral dalam gundukan untuk semua perlakuan meningkat dengan sangat tajam. Persentase peningkatan N-mineral dalam gundukan TC, T1, T2 dan T3 disajikan pada Tabel 16.

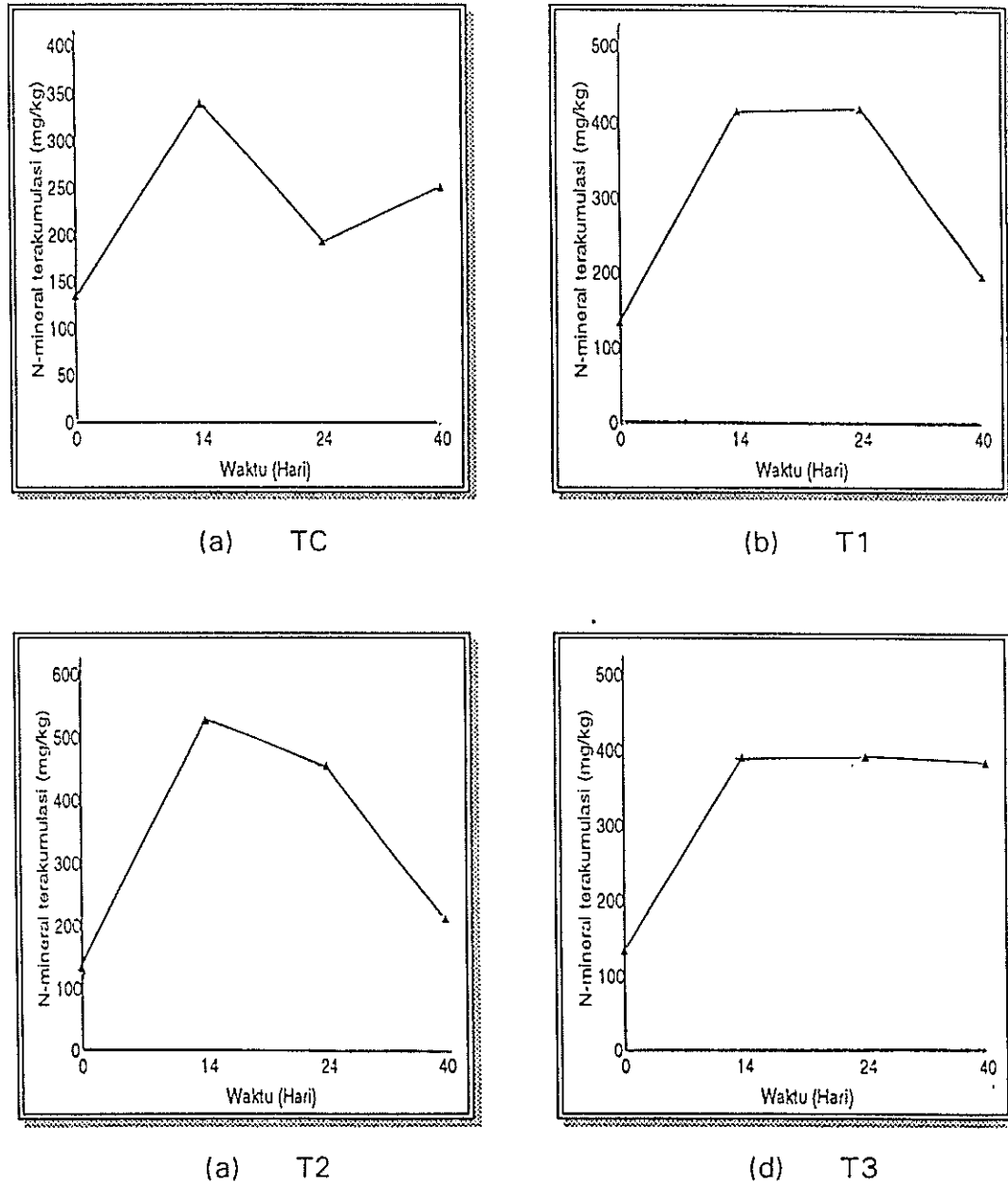
Tabel 16. Tingkat/persentase perubahan N-mineral dalam gundukan kompos untuk tiap perlakuan setelah 14 hari inkubasi (dihitung terhadap N-mineral pada hari ke-0)

No	Perlakuan	Tingkat Perubahan Setelah 14 Hari Inkubasi (%)
1	TC	150
2	T1	207
3	T2	289
4	T3	190

N-mineral dalam gundukan T1, T2 dan T3 memiliki kandungan N-mineral lebih besar daripada TC. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan T1, T2 dan T3 mempengaruhi pelepasan (tingkat mineralisasi) nitrogen mineral dan mampu meningkatkan N-mineral.

Setelah 24 hari inkubasi, N-mineral dalam gundukan TC dan T2 mengalami penurunan, sedangkan dalam gundukan T1 dan T3 masih menunjukkan peningkatan. Tingkat/persentase perubahan N-mineral

dalam gundukan untuk masing-masing perlakuan tersebut dapat dilihat pada Tabel 17.



Gambar 7. Perubahan N-mineral dalam gundukan pengkomposan yang diinkubasi selama 40 hari (a) kontrol, (b) siklus pengeringan-pelembaban, (c) penyiraman air limbah, (d)

Tabel 17. Tingkat/persentase perubahan N-mineral dalam gundukan kompos untuk tiap perlakuan setelah 24 hari inkubasi (dihitung terhadap N-mineral pada hari ke-14)

No	Perlakuan	Tingkat Perubahan Setelah 24 Hari Inkubasi (%) ¹⁾
1	TC	-43
2	T1	0.8
3	T2	-14
4	T3	0.1

¹⁾ tanda negatif menunjukkan penurunan

Walaupun terjadi penurunan N-mineral dalam gundukan T2, N-mineral dalam gundukan T1, T2 dan T3 tetap lebih tinggi daripada TC (Tabel 12 dan Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa setelah 24 hari inkubasi, T1 dan T3 lebih berpengaruh dalam meningkatkan mineralisasi nitrogen daripada T2.

Setelah 40 hari inkubasi, N-mineral dalam gundukan T1, T2 dan T3 menurun, sedangkan TC meningkat. Tingkat perubahan N-mineral untuk tiap perlakuan disajikan pada Tabel 18.

Tabel 18. Tingkat/persentase perubahan N-mineral dalam gundukan kompos untuk tiap perlakuan setelah 40 hari inkubasi (dihitung terhadap N-mineral pada hari ke-24)

No	Perlakuan	Tingkat Perubahan Setelah 40 Hari Inkubasi (%) ¹⁾
1	TC	30
2	T1	-53
3	T2	-54
4	T3	- 2

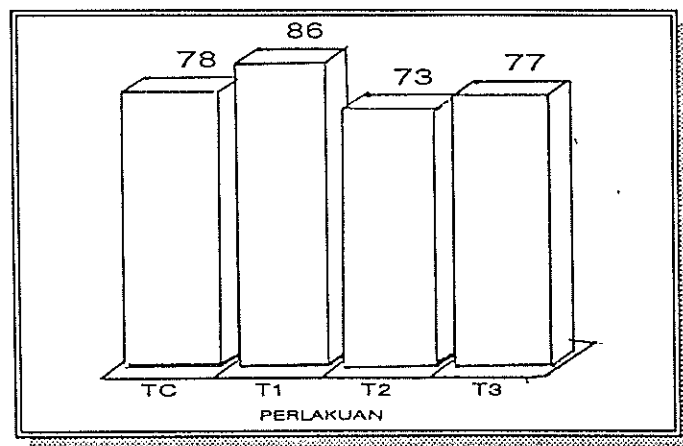
¹⁾ tanda negatif menunjukkan penurunan

Perubahan kadar air dalam gundukan T1 diduga mengubah tingkat aksesibilitas dari bahan-bahan organik. Perubahan kadar air ini diduga menyebabkan tingkat aksesibilitas dari N-organik dalam gundukan T1 lebih tinggi daripada TC sehingga dekomposisi (mineralisasi) N-organiknya lebih tinggi daripada TC. Perubahan tingkat aksesibilitas N-organik ini dan kemampuan dari sel-sel mikrobial yang "mati" pada saat fase kering untuk melakukan pemulihan dengan cepat diduga menyebabkan tingkat N-mineral yang dilepaskan dalam gundukan T1 lebih tinggi daripada dalam gundukan TC. Dalam gundukan T3, interaksi-interaksi dari faktor ketersediaan nutrisi mineral, kemampuan mikroorganismenya "mati" untuk melakukan pemulihan dan perubahan aksesibilitas N-organik diduga merupakan faktor-faktor yang mendorong tingkat perubahan dan kandungan N-organik dalam gundukan T3 lebih besar daripada TC.

Pada periode inkubasi selanjutnya, tingkat ketersediaan substrat dalam gundukan pengkomposan semakin berkurang sehingga ukuran biomassa aktif juga menurun. Dengan menurunnya ukuran biomassa tersebut, aktivitas mikrobial dalam gundukan pengkomposan mengalami penurunan dan dengan demikian, mineralisasi N-organik hanya mengalami sedikit peningkatan (ditunjukkan oleh persentase peningkatan N-mineral yang relatif lebih kecil). Tetapi, setelah 24 hari inkubasi, kandungan N-mineral dalam gundukan TC dan T2 mengalami penurunan. Demikian pula, setelah 40 hari inkubasi, kandungan N-organik dalam gundukan T1, T2 dan T3 mengalami penurunan, tetapi dalam gundukan TC mengalami peningkatan. Penurunan N-mineral tersebut diduga berkaitan dengan

asimilasi CO_2 dan adanya spesies mikroorganisme yang mampu menggunakan CO_2 sebagai sumber karbon. Pada saat asimilasi CO_2 tersebut, sejumlah N-mineral akan diamobilisasi oleh mikroorganisme sehingga jumlah N-mineral dalam gundukan menurun. Data yang diperoleh dari penelitian kurang memadai untuk menduga kontribusi dari kedua faktor tersebut. Untuk menduga kontribusinya, biomassa mikrobial dalam gundukan harus dianalisis. Peningkatan N-mineral dalam gundukan TC (setelah 40 hari inkubasi) diduga berkaitan dengan adanya jenis mikroorganisme yang mampu memfiksasi N_2 . Untuk mengukur kontribusinya, jenis-jenis mikroorganisme dalam gundukan dan tingkat konsumsi N_2 harus diidentifikasi dan diukur.

Jika dihitung terhadap kandungan N-mineral awal, setelah 40 hari inkubasi, perbedaan perlakuan menghasilkan perbedaan tingkat mineralisasi N-organik dan tingkat perubahan kandungan N-mineral. Tingkat perubahan N-mineral untuk tiap perlakuan disajikan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Persentase peningkatan N-mineral dalam gundukan TC, T1, T2 dan T3, jika dihitung terhadap kandungan N-mineral awal

Persentase peningkatan N-mineral dalam gundukan T3 lebih besar daripada kontrol, sedangkan dalam gundukan T1 dan T2 lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan T3 lebih berpengaruh dalam meningkatkan mineraliasi N-organik daripada perlakuan T1 dan T2.

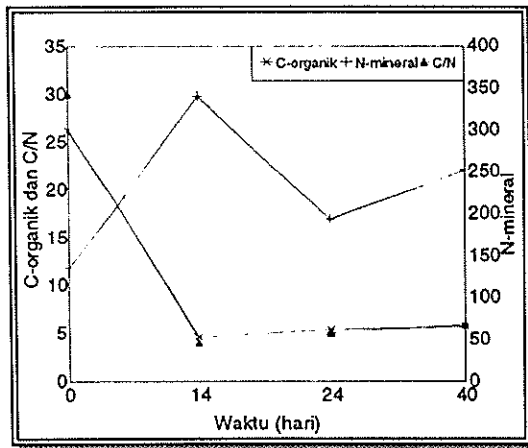
3. Hubungan antara Perubahan C-organik dan N-mineral dengan Nisbah C/N

Perubahan C-organik dan N-mineral pada saat pengkomposan lumpur menyebabkan nisbah C/N berubah. Pola hubungan tersebut dalam gundukan TC, T1, T dan T3 dapat dilihat pada Tabel 19 dan Gambar 9.

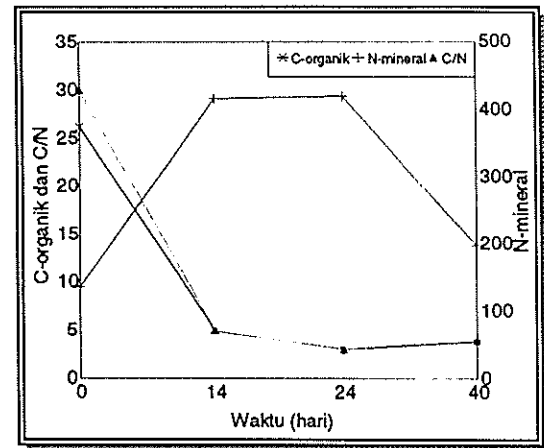
Tabel 19. Tingkat perubahan C-organik dan N-mineral serta C/N

Perlakuan	t	$\Delta C_{org}(t)^a$	$\Delta N_{min}(t)^a$	C/N hari ke-t
TC	14	-1	1.83	4.5
	24	1	-2.58	5.3
	40	1	6.28	5.7
T1	14	-1	2.54	4.8
	24	-1	0.02	2.9
	40	1	-2.34	3.7
T2	14	-1	3.27	2.9
	24	1	-0.22	4.7
	40	1	-1.23	7
T3	14	-1	2.49	6.1
	24	-1	0.03	5.8
	40	1	-5.39	6

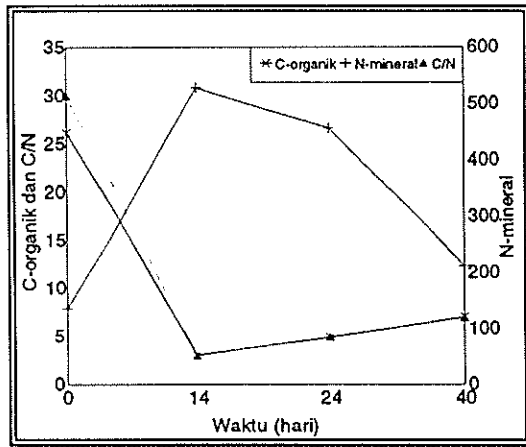
a) tanda negatif menunjukkan penurunan, b) t adalah waktu inkubasi (hari)
c) Perubahan C dan N setelah t hari (persen/hari)



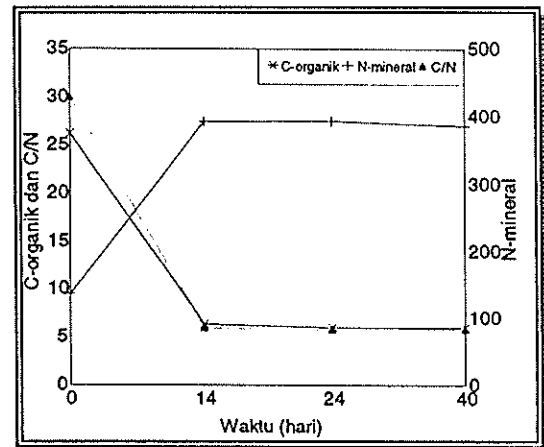
(a) TC



(b) T1



(c) T2



(d) T3

Gambar 9. Perubahan nisbah C/N dalam gundukan pengkomposan selama 40 hari inkubasi : (a) kontrol, (b) siklus pengeringan-pelembaban, (c) penyiraman air limbah dan (d) gabungan

Bedasarkan Tabel 19 dan Gambar 9 tersebut, secara umum, jika C-organik menurun dan N-mineral meningkat maka nisbah C/N dalam gundukan akan menurun, dan sebaliknya, jika C-organik meningkat dan N-mineral menurun maka nisbah C/N akan meningkat.

D. MUTU KOMPOS

Beberapa karakteristik mutu kompos dari proses pengkomposan dengan perlakuan berbeda disajikan pada Tabel 20. Secara fisis, kompos memiliki bentuk-bentuk *granular* halus, berwarna coklat agak kehitam-hitaman dan berbau sedikit apek. Secara umum, nilai pH dari kompos berada pada kisaran pH standar (6.4-6.9), tetapi kadar airnya tidak berada pada kisaran kadar air optimal.

Tabel 14. Karakteristik mutu kompos (pupuk organik) yang dihasilkan dari proses pengkomposan lumpur yang diberi perlakuan berbeda-beda

NO	KARAKTERISTIK	SATUAN	JENIS BAHAN TAMBAHAN			
			TC	T1	T2	T3
1	Kotoran ^{a)}	-	S	S	S	S
2	Warna ^{a)}	-	CAH	CAH	CAH	CAH
3	Bau ^{a)}	-	SA	SA	SA	SA
4	pH ^{a)}	-	6.5	6.4	6.6	6.8
5	Kadar air ^{a)}	%	50	49	50	48
6	C-organik ^{b)}	%	6.3	3.7	7.1	6.1
7	N-tersedia (mineral) ^{b)}	mg/kg	0.2	0.2	0.2	0.4
8	P-tersedia (mineral) ^{b)}	mg/kg	0.2	0.3	0.3	0.4
9	K-tersedia (mineral) ^{b)}	%	4.4	4.6	4.6	3.7
10	KTK ^{b)}	meq/100 g	22	20	20	18
11	C/N	-	5.56	3.66	6.95	5.83

a) dianalisa di lab. Bioindustri, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB-Bogor,

b) dianalisa di lab. Balai Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor

S = sedikit, CAH = coklat agak hitam, SA = sedikit apek, KTK = Kapasitas Tukar Kation

Berdasarkan Tabel 20, perlakuan T1, T2 dan T3 mampu meningkatkan kandungan N-mineral dalam kompos. Hal ini ditunjukkan oleh kandungan N-mineral dalam kompos T1, T2 dan T3 yang lebih tinggi daripada dalam gundukan TC. Jika dihitung terhadap kandungan N-mineral dalam kompos TC, perlakuan T1, T2 dan T3, masing-masing, mampu meningkatkan kandungan N-mineral sebesar 19 persen, 26 persen dan 131 persen. Tetapi, perlakuan T1, T2 dan T3 pada saat proses pengkomposan tidak dapat meningkatkan nilai KTK. Hal ini ditunjukkan oleh nilai KTK dalam kompos T1, T2 dan T3 lebih kecil daripada kompos TC. P-mineral dalam kompos T1, T2 dan T3 juga memiliki kandungan lebih tinggi daripada kompos TC. Jika dihitung terhadap kandungan P-mineral dalam kompos TC, persentase peningkatan P-mineral tersebut adalah 73 persen untuk perlakuan T1 dan T2, dan 113 untuk perlakuan T3. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan T1, T2 dan T3 mampu meningkatkan ketersediaan P-mineral.

Perlakuan T1 dan T2 dapat meningkatkan kandungan K-mineral dalam kompos, sedangkan T3 tidak berpengaruh. Hal ini ditunjukkan oleh kandungan K-mineral dalam kompos T1 dan T2 yang lebih tinggi daripada kompos TC, sedangkan dalam kompos T3 lebih kecil. Perlakuan T1 dan T2 tersebut dapat meningkatkan kandungan K-mineral sebesar 6 persen (dihitung terhadap kandungan K-mineral dalam kompos TC).

Jadi, Siklus pengeringan-pelembaban, penyiraman air limbah dan gabungan mampu meningkatkan kandungan N- dan P-mineral, tetapi tidak mampu meningkatkan nilai KTK-nya. Siklus pengeringan pelembaban dan penyiraman air limbah mampu meningkatkan kandungan K-mineral dan perlakuan gabungan tidak berpengaruh.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Untuk mengkomposkan lumpur kolam stabilisasi air limbah secara efektif, lumpur harus dicampurkan dengan bahan tambahan yang memiliki kandungan karbon tinggi. Jangka waktu yang diperlukan untuk mengkomposkan lumpur adalah 40 hari.

Setelah 14 hari inkubasi, C-organik dan N-mineral gundukan untuk semua perlakuan, mengalami penurunan dan peningkatan sangat tajam. Setelah 24 hari, C-organik dan N-mineral dalam gundukan siklus pengeringan-pelembaban dan gabungan, mengalami penurunan dan peningkatan relatif kecil, sedangkan dalam gundukan kontrol dan penyiraman air limbah, C-organik meningkat dan N-mineral menurun. Pada akhir inkubasi, C-organik dalam gundukan untuk semua perlakuan meningkat dan N-mineral dalam gundukan kontrol mengalami meningkat, tetapi dalam gundukan-gundukan lainnya mengalami penurunan. Perubahan C-organik dan N-mineral tersebut menyebabkan nisbah C/N dalam gundukan berfluktuasi. Secara umum, jika C-organik menurun dan N-mineral meningkat maka nisbah C/N menurun dan sebaliknya. Penyimpangan dari pola terjadi dalam gundukan kontrol setelah 40 hari inkubasi..

Berdasarkan perubahan (peningkatan) N-mineral dalam kompos lumpur (dihitung berdasarkan kondisi awal dan dibandingkan dengan kontrol), perlakuan gabungan merupakan suatu metode alternatif yang dapat digunakan untuk meningkatkan kandungan nutrisi tumbuhan. Hal ini

ditunjukkan oleh tingkat perubahan (peningkatan) N-mineral yang lebih besar daripada kontrol, sedangkan perlakuan-perlakuan lainnya memiliki tingkat perubahan lebih kecil.

Kompos lumpur merupakan pupuk organik dengan kandungan kalium tinggi dan nisbah C-N rendah. K-mineral dalam kompos tersebut memiliki kandungan lebih besar daripada standar mutu kompos. Tetapi, N-mineral, P-mineral dan KTK-nya memiliki kandungan relatif lebih kecil daripada standar.

Jika dibandingkan terhadap kontrol, semua perlakuan mampu meningkatkan kandungan N- dan P-mineral tetapi tidak dapat meningkatkan nilai KTK. Perlakuan pengeringan-pelembaban dan penyiraman air limbah mampu meningkatkan ketersediaan K-mineral, sedangkan perlakuan gabungan tidak dapat meningkatkan ketersediaannya.

B. SARAN

Penelitian lanjutan perlu diperlukan untuk mengetahui tingkat penambahan/penyiraman air limbah optimal, pengaruh dari fluktuasi suhu, asimilasi CO₂ dan N₂ dan jenis mikroorganisme terhadap mineralisasi.

Pengendalian pada tahap penanganan bahan (terutama pencampuran) dan inokulasi mikroorganisme tertentu dapat diterapkan untuk lebih meningkatkan mineralisasi dan ketersediaan nutrisi penting tumbuhan. Penerapannya memerlukan pengkajian dan penelitian lebih lanjut.

Lampiran 1. Metode analisa kimia

A. KADAR AIR (Djarmiko *et al.*, 1990)

Alat-alat untuk menentukan kadar air adalah neraca analitik, cawan ke-ring yang bobotnya diketahui, desikator dan oven. Sampel ditimbang sebanyak 2-10 gram di dalam cawan kering dengan menggunakan neraca analitik. Kemudian, sampel dimasukkan ke dalam oven selama dua jam pada suhu 104-105 °C. Setelah kering, sampel didinginkan dalam desikator. Sampel ditimbang sampai menunjukkan bobot konstan. Perhitungan :

$$K.A. (\%) = \frac{(W_{bo+c} - W_{ao+c})}{(W_{ao+c} - W_c)}$$

dimana :

K.A. adalah kadar air (persen basis kering),

W_{bo+c} , W_{ao+c} dan W_c adalah bobot dari sampel awal dan cawan, bobot kering oven dan cawan dan bobot sampel kering oven dan cawan (gram).

B. PENGUKURAN pH

Alat-alat untuk mengukur pH adalah pH-meter dengan sistem elektroda *glass-calomel*, dan gelas piala. Sedangkan, bahan-bahannya meliputi air distilasi bebas CO₂ dan larutan penyangga pekat dengan pH 7.0. Bila sampel berfasa fluida/semifluida, sampel diaduk terlebih dahulu dan pH-nya diukur secara langsung. Bila sampelnya padat, air distilasi ditambahkan dengan bobot yang sama dengan sampel. Kemudian suspensi diaduk dan pH diukur dengan menggunakan pH-meter.

D. TOTAL NITROGEN (Bremner dan Mulvaney, 1986)

Alat-alat untuk analisa total-N terdiri dari tabung digesti mikro Kjeldahl ukuran 30 atau 50 ml, alat distilasi uap, corong, erlenmeyer, buret 10 ml (± 0.01 ml) dan gelas piala dan gelas volumetrik. Bahan-bahan kimianya terdiri dari campuran katalis- K_2CrO_7 , H_2SO_4 pekat, NaOH 10 N, indikator $HBrO_3$, H_2SO_4 atau HCl standar 0.01 N.

Sampel, 1.1 gram katalis- K_2CrO_7 dan 3.0 ml H_2SO_4 pekat dimasukkan ke dalam tabung digesti mikro Kjeldahl. Kemudian, campuran dipanaskan dengan hati-hati. Jika pembentukan busa berhenti, pemanasan dihentikan sampai berwarna jernih dan dididihkan perlahan selama 5 jam. Setelah digesti sempurna, tabung didinginkan dan 20 ml air ditambahkan perlahan-lahan.

Selanjutnya, larutan didistilasi dan distilat ditampung dengan erlenmeyer yang berisi 5.0 ml indikator $HBrO_3$. Sebelum distilasi, 20 ml NaOH 10 N dimasukkan ke dalam campuran sampel. Bila distilat telah mencapai 35 ml, distilasi dihentikan. Distilat dititrasikan dengan H_2SO_4 standar 0.01 N. Titrasi dihentikan jika terjadi perubahan warna, yaitu dari hijau menjadi merah muda. Perhitungan untuk menentukan kandungan N dalam sampel adalah :

$$N = \frac{14 \cdot V_s}{100000 \cdot m_s}$$

dimana N merupakan kadar Nitrogen sampel (persen basis kering), V_s merupakan volume H_2SO_4 0.01 N yang diperlukan untuk mentitrasikan distilat sampel (ml) dan m_s merupakan bobot kering sampel (gram).

E. TOTAL FOSFOR (Olsen dan Sommers, 1986)

Alat-alat untuk analisis total-P adalah tabung volumetrik 50 ml, erlenmeyer 250 ml, kompor listrik, lempeng asbestos dan *spectrofotometer* ($\lambda = 400 - 490 \text{ nm}$). Sedangkan bahan-bahannya meliputi larutan HClO_4 60 persen (w/w), amonium paramolibdat-vanadat, fosfat standar, dan NaHSO_4 .

Sampel halus sebanyak 2.0 gram dicampurkan dengan 30 ml HClO_4 dalam sebuah erlenmeyer. Kemudian campuran tersebut dipanaskan pada suhu di bawah titik didih hingga warna hitamnya hilang. Pemanasan dilanjutkan pada suhu titik didih. Jika bahan organik dalam sampel telah terombak sempurna, campuran tersebut didinginkan.

Selanjutnya, campuran tersebut diberi air disitilasi hingga volume nya 250 ml dan diaduk secara merata serta dibiarkan dalam beberapa menit hingga bahan-bahan padatnya mengendap. Jika bahan-bahan padat telah mengendap, larutan sampel bening (*aliquot*) dipipet dan dimasukkan ke dalam tabung volumetrik 50 ml. Sebanyak 10 ml larutan amonium paramolibdat-vanadat dimasukkan ke dalam erlenmeyer tersebut dan campuran diencerkan hingga volumenya menjadi 50 ml.

Kemudian, OD (*optical density*) dari campuran sampel tersebut diukur dengan *spectrofotometer* pada panjang gelombang 400 - 490 nm. OD dari blanko *reagen* juga diukur dan nilainya dikurangkan dengan OD dari sampel. Kandungan P-total dalam sampel diukur dengan cara membandingkan selisih OD tersebut terhadap kurva fosfat standar.

F. TOTAL KALIUM (Knudsen *et al.*, 1986)

Alat-alat untuk analisa total-K terdiri dari tabung digesti dengan kawat Pt, buret, gelas piala, pipet, gelas volumetrik, corong, dan lempeng pemanas (*hot plate*). Bahan-bahan meliputi larutan HF 48 persen, HClO_4 70 - 72, HCl 6.0 N, HNO_3 70 persen,

HNO_3 1.0 N dan 0.01N, $\text{Na}_2\text{Co}(\text{NO}_2)_6$, NaOH 0.5 N, etil alkohol 95 persen, KMnO_4 standar, dan $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

Sampel halus (1.0 gram) dimasukkan ke dalam tabung digesti dan dibasahi dengan beberapa tetes air, serta 3.0 ml asam nitrat 48 persen dan 1.0 ml asam perklorat 70-72 persen ditambahkan. Campuran dipanaskan sampai asap putih muncul, kemudian tabung digesti didinginkan. Tabung digesti dimasukkan ke dalam bak pasir dan tutup dengan kawat Pt sampai 9/10 dari puncak tabung. Campuran dipanaskan hingga 200-205 °C dan isinya diuapkan hingga kering. Tabung digesti didinginkan lagi serta 2.0 ml air dan beberapa tetes asam perklorat dimasukkan. Tabung diletakkan lagi dalam bak pasir serta isinya diuapkan sampai kering.

Kemudian, Tabung digesti diambil dari bak pasir dan jika telah dingin, 5.0 ml asam klorida 6.0 N dan air sekitar 5.0 ml dimasukkan ke dalam tabung. Larutan dipanaskan sampai mendidih perlahan-lahan. Jika sampel tidak larut semuanya, sampel diuapkan lagi sampai kering dan prosedur diulangi dengan diawali penambahan 5.0 ml asam fluorida dan 0.5 ml asam perklorat. Jika residu terlarut semuanya, larutannya dipindahkan ke dalam gelas volumetrik 50 ml dan volumenya diencerkan hingga 50 ml. sebanyak 25 ml larutan tersebut dipindahkan ke gelas piala kecil dan diuapkan hingga kering. Sebanyak 10 ml air, 1.0 ml asam nitrat 1.0 N, dan 5.0 ml kobalnitrit dimasukkan ke dalam tabung. Larutan yang terbentuk dibiarkan selama dua jam untuk pengendapan pada suhu 20 °C, kemudian larutan tersebut disaring. Presipitat yang terbentuk dipindahkan dengan memasukkan asam nitrat dan dicuci sebanyak 10 kali dengan 2.0 ml bagian dari asam tersebut. Presipitat dimasukkan ke dalam gelas piala 250 ml dan air ditambahkan hingga volumenya menjadi 250 ml. Sodium hidroksida ditambahkan dan dididihkan selama tiga menit. Ke dalam gelas piala lainnya, potasium permanganat yang sedikit berlebih dan 50 ml air ditambahkan. Kemudian, 5.0 ml larutan sodium oksalat juga dimasukkan ke dalam gelas piala tersebut. Larutan kobal nitrit panas dituangkan ke dalam larutan potasium permanganat dan dipindahkan ke gelas piala serta sedikit air dan larutan sodium

oksalat yang sedikit berlebih ditambahkan juga. Larutan tersebut dipanaskan hingga mendidih perlahan-lahan. Kemudian, larutan dititrasi dengan permanganat standar. Total-K dihitung dengan rumus berikut :

$$K = \frac{(P_{eq} - S_{eq})}{1000 \cdot m_s}$$

dimana K adalah total K (persen basis kering), P_{eq} dan S_{eq} adalah volume ekuivalen dari kalium permanganat dan natrium oksalat yang diperlukan untuk titrasi (ml) dan m_s merupakan bobot kering dari sampel (gram).

G. K-MINERAL/TERSEDIA (Knudsen *et al.*, 1986)

Alat-alat untuk analisis terdiri dari gelas piala, tabung volumetrik 100 ml, corong, buret dan pengaduk. Sedangkan, Bahan-bahannya terdiri dari H_2SO_4 pekat dan 0.1 N.

Sampel sebanyak 10 gram, 25 ml air dan 1.0 ml asam sulfat pekat dimasukkan ke dalam gelas piala. Campuran tersebut diaduk dengan menggunakan pengaduk gelas dan dibiarkan selama 30 menit. Kemudian, campuran disaring dan filtratnya ditampung dalam tabung volumetrik 100 ml. Sisa campuran dicuci dengan asam sulfat 0.1 N hingga volume filtratnya menjadi 100 ml. Kandungan K-mineral ditentukan dengan cara titrasi seperti pada analisis total-K.

H. P-MINERAL/TERSEDIA (Olsen dan Sommers, 1986)

Alat-alat untuk analisis terdiri dari gelas piala, corong, *spectrofotometer* dan gelas pengaduk. Bahan-bahannya terdiri dari NH_4F 1.0 N, HCl 0.5 N, larutan pengekstraksi, larutan stok $SnCl_2$, larutan $SnCl_2$ encer, larutan amonium paramolibdat dan larutan fosfat standar.

Sampel dengan bobot 1.0 gram dan 7.0 ml larutan pengestraksi dimasukkan ke dalam gelas piala dan campuran diaduk selama satu menit. Selanjutnya, campuran disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman no. 42.

Sebanyak 2.0 ml filtrat, 5.0 ml air distilasi dan 2.0 ml larutan amonium paramolibdat dicampurkan dalam gelas piala lainnya. Kemudian, larutan encer seng klorida dengan volume 2.0 ml ditambahkan ke dalam gelas piala tersebut. Setelah lima atau enna menit dan sebelum 20 menit, campuran dari filtrat sampel tersebut diukur intensitas warnanya dengan *spectrofotometer* pada panjang gelombang 660 nm. Kandungan K-mineralnya diukur atau ditentukan dengan menggunakan kurva standar fosfat.

I. N-MINERAL/TERSEDIA (Keeney dan Nelson, 1986)

Alat-alat untuk analisis terdiri dari *spectrofotometer*, gelas piala, pipet, corong dan kolom pereduksi. Bahan-bahannya terdiri dari larutan KCl 2.0 M, larutan standar amonium reagen fenol-nitrofrusida, larutan hipoklorit penyangga, reagen EDTA, reagen *copperized-Cd*, larutan NH_4Cl pekat, *diazotizing reagent*, *coupling reagent* dan larutan standar nitrat.

1. Prosedur Ekstraksi

Sampel dan larutan KCl 2.0 M (dengan perbandingan 1 : 10) dicampurkan dan diaduk selama satu jam dalam gelas piala 250 ml. Kemudian, larutan suspensi sampel-KCl dibiarkan hingga terbentuk endapan dan larutan *supernatan-nya* jernih.

Umumnya, N-mineral/tersedia diukur sebagai jumlah dari amonium dan nitrat. Metode untuk mengukur amonium dan nitrat adalah metode indfenol biru dan reduksi *copperized-Cd*.

2. Prosedur Pengukuran NH_4^+

Larutan *supernatan* yang diperoleh dari proses ekstraksi KCl 2.0 M (volume kurang dari 5.0 ml) dimasukkan ke dalam gelas piala dan dicampurkan dengan 1.0 ml reagen EDTA. Larutan tersebut diaduk dan dibiarkan selama 1.0 menit. Kemudian, 2.0 reagen fenol-nitrofruisda, 4.0 ml larutan penyangga hipklorit dan air distilasi bebas NH_4^+ dimasukkan ke dalam gelas piala tersebut dan diaduk hingga tercampur merata. Gelas piala dimasukkan ke dalam bak air yang suhunya dipertahankan pada 40 °C dan dibiarkan selama 30 menit. Kemudian, gelas piala diambil dari bak dan didinginkan. Tingkat absorbansi dari warna yang terbentuk pada larutan diukur dengan menggunakan *spectrofotometer* pada panjang gelombang 636 nm. Konsentrasi amoniumnya ditentukan dengan cara membandingkan tingkat absorbansinya terhadap kurva standar amonium.

3. Prosedur Pengukuran NO_3^-

Larutan amonium klorida dengan volume berlebih dialirkan ke dalam kolom pereduksi. Kemudian larutan amonium pekat dengan volume 1.0 ml dimasukkan dengan pipet melalui bagian atas kolom dan larutan sampel yang diekstrak dengan KCl 2.0 M (sebanyak 2 - 5 ml) ditambahkan.

Kemudian, tabung volumetrik 100 ml dipasangkan pada *rubber stopper* yang terdapat pada bagian keluaran (*outlet*) dari kolom pereduksi. Ekstrak KCl 2.0 M dibiarkan mengalir melalui *copperized-Cd* dengan cara mengalirkan larutan amonium klorida. Untuk mencuci bagian dalam dari kolom, 2.0 ml larutan amonium klorida encer dimasukkan ke dalam kolom dan 75 ml larutan amonium klorida encer ditambahkan ke dalam penampung yang terdapat pada bagian atas dari kolom. Seluruh larutan tersebut ditampung dalam tabung volumetrik 100 ml dan *diazotizing reagent* sebanyak 2.0 dicampurkan dengan

2. Prosedur Analisis

Pada prinsipnya, analisis KTK melibatkan dua tahap analisis, yaitu tahap penjuhan dan tahap ekstraksi. Sampel dikering-udarkan terlebih dahulu, kemudian ditimbang sebanyak 4-5 gram. Sampel tersebut dimasukkan ke dalam tabung sentrifuse. Kemudian, 33 ml larutan penjuhan dimasukkan ke dalam tabung tersebut. Tabung ditutup dan dikocok selama 5 menit. Setelah tutup tabung dibuka, tabung disentrifuse menit dengan gaya relatif sentrifuse sebesar 1000 hingga cairan supernatannya bening (kira-kira 5 menit). Cairan supernatan tersebut didekantasi dan dipisahkan dengan endapannya. Endapannya didispersikan lagi dengan menambahkan larutan penjuhan baru dan prosedur sebelumnya diulang.

Endapan yang tersisa dari tahap penjuhan diatas dicampurkan dengan 33 ml larutan pengestrak. Campuran disentrifuse sampai cairan supernatannya bening. Kemudian, larutan ekstrak ini didekantasi dan diamsukkan ke dalam tabung volumetrik 100 ml. Prosedur ini diulang sebanyak dua kali atau lebih dengan menggunakan larutan pengestrak baru dan hasil akhirnya ditambah dengan air distilasi hingga volumenya 100 ml.

3. Perhitungan

KTK dihitung dengan rumus berikut :

$$KTK = \left(\frac{10}{W_s}\right)[(Na.DF_{Na}) - (Cl.DF_{Cl}NaCl_{satsol})]$$

K. UJI KEMATANGAN DIFENILAMIN (Harada *et al.*, 1993)

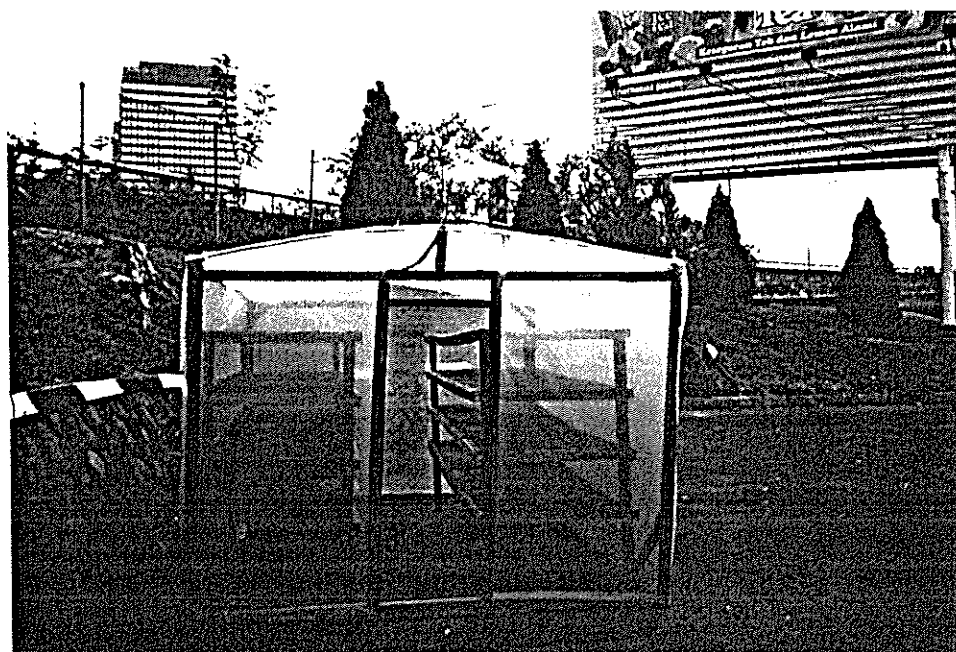
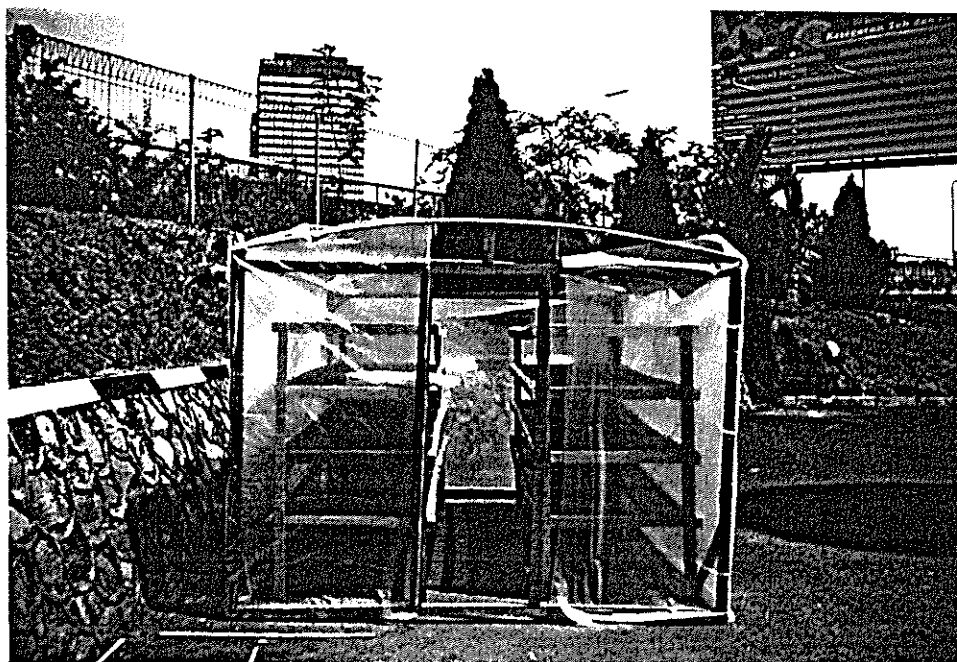
1. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan untuk melakukan uji kualitatif kematangan kompos tersebut terdiri dari erlenmeyer, kertas saring, dan pipet tetes. Sedangkan, bahan-bahan yang digunakan untuk uji kualitatif tersebut terdiri dari larutan diphenilamin dan air destilasi.

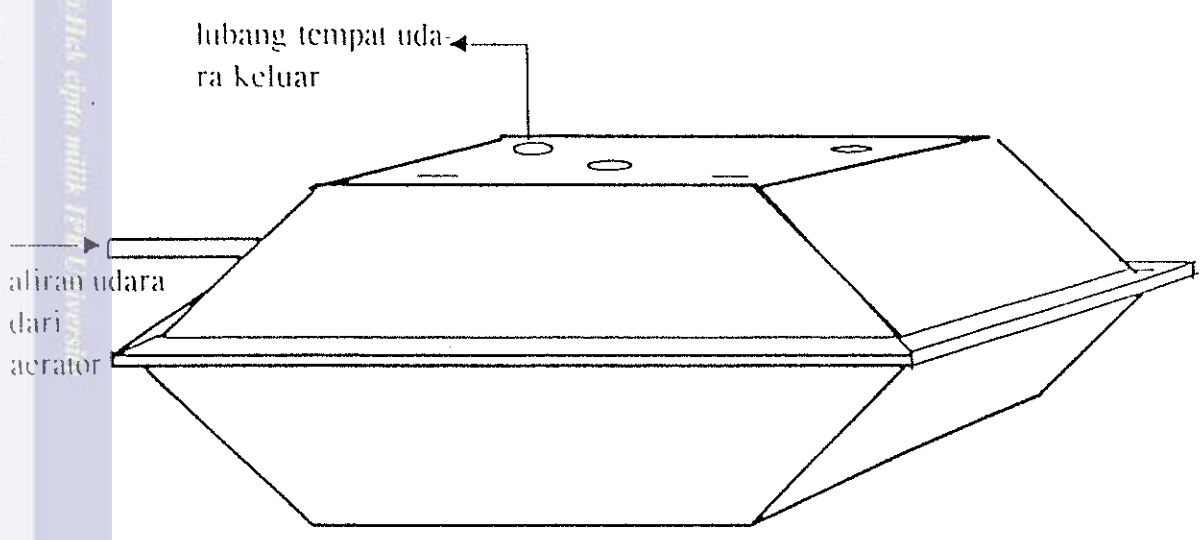
2. Prosedur

Masukkan sampel komposit dari kompos yang masih lembab ke dalam erlenmeyer dan tambahkan air destilasi. Saring suspensi tersebut dengan menggunakan kertas saring dan masukkan filtratnya ke dalam gelas erlenmeyer lainnya. Tambahkan beberapa tetes larutan diphenilamin (yang dilarutkan dalam asam sulfat pekat) ke dalam filtrat tersebut dan amati perubahan warnanya. Jika warna filtrat berubah menjadi biru berarti kompos telah matang.

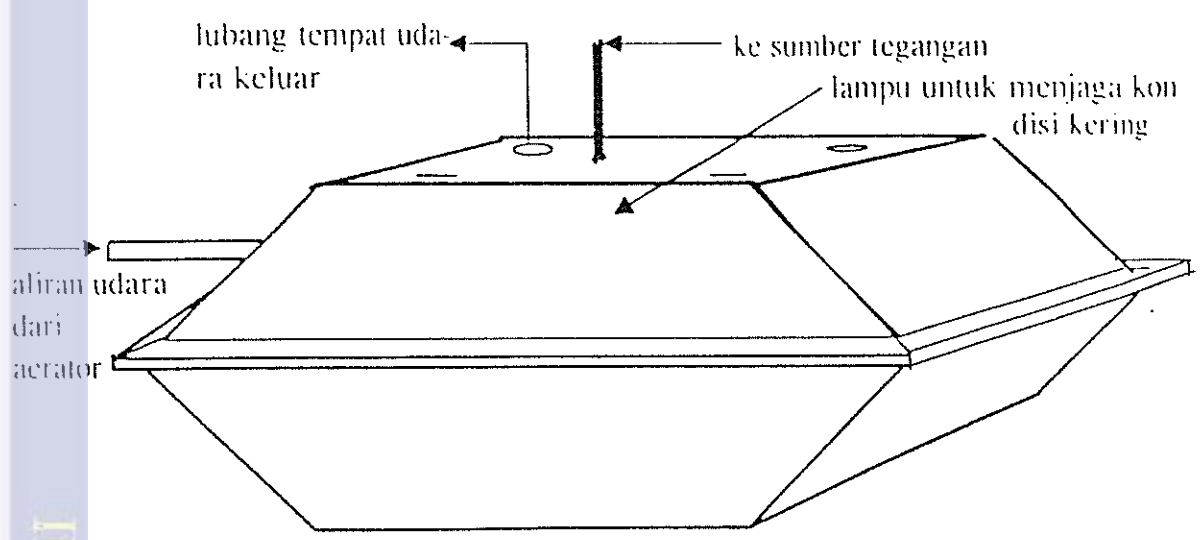
Lampiran 2. Bangunan dan rak/tray pengeringan lumpur



Lampiran 3. Bioreaktor pengkomposan untuk pengamatan tingkat mineralisasi dan windrows untuk pengamatan suhu



(a) bioreaktor pengkomposan untuk pengukuran tingkat mineralisasi perlakuan kontrol dan penyiraman air limbah kotoran ternak



(b) bioreaktor pengkomposan untuk pengukuran tingkat mineralisasi perlakuan siklus pengeringan-pelembaban dan gabungan

Halaman ini adalah bagian dari dokumen yang diterbitkan oleh IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.
 1. Diizinkan untuk digunakan sebagai referensi.
 2. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dengan syarat harus mencantumkan nama IPB University.
 3. Tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi untuk tujuan komersial.
 4. Pengutipan harus mencantumkan nama penulis, judul, dan tahun terbit.
 5. Pengutipan tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi untuk tujuan komersial.
 6. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dengan syarat harus mencantumkan nama IPB University.

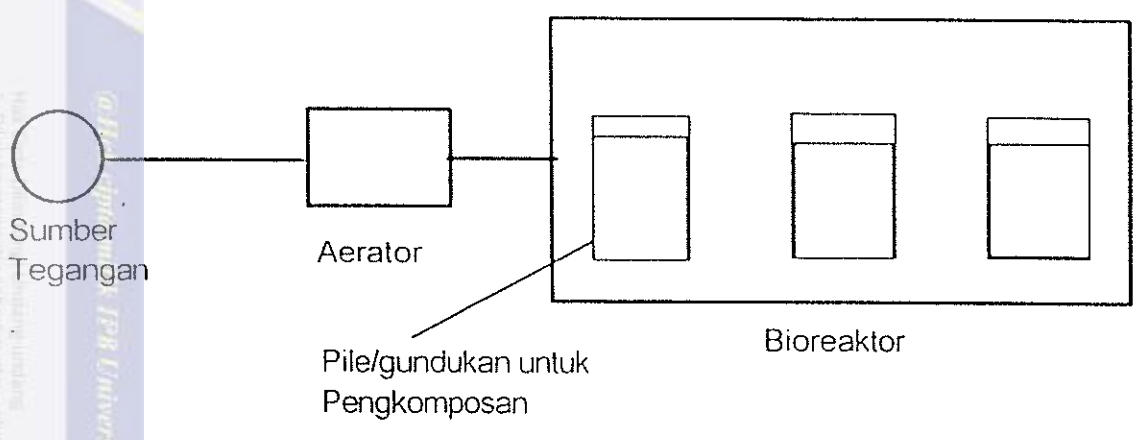
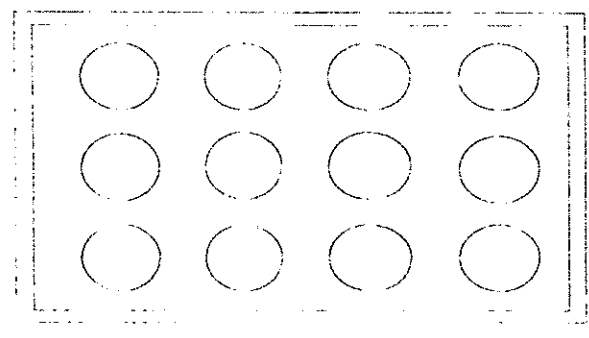
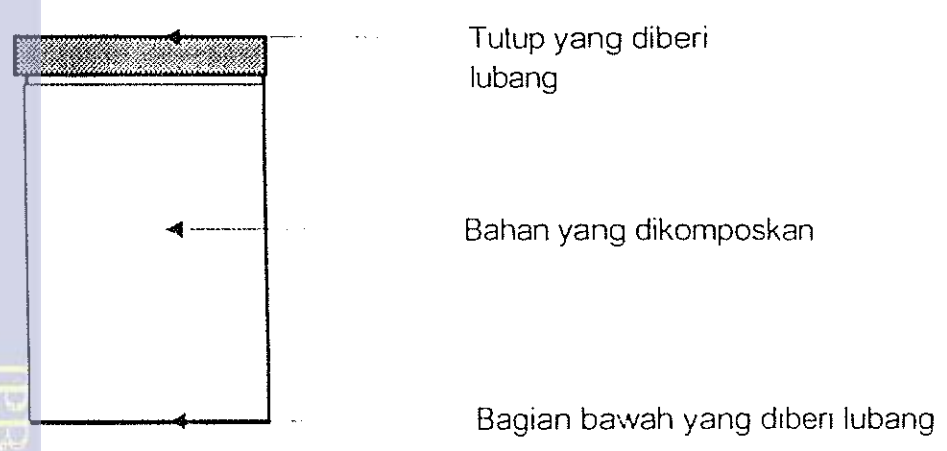


DIAGRAM BLOK DARI BIOREAKTOR

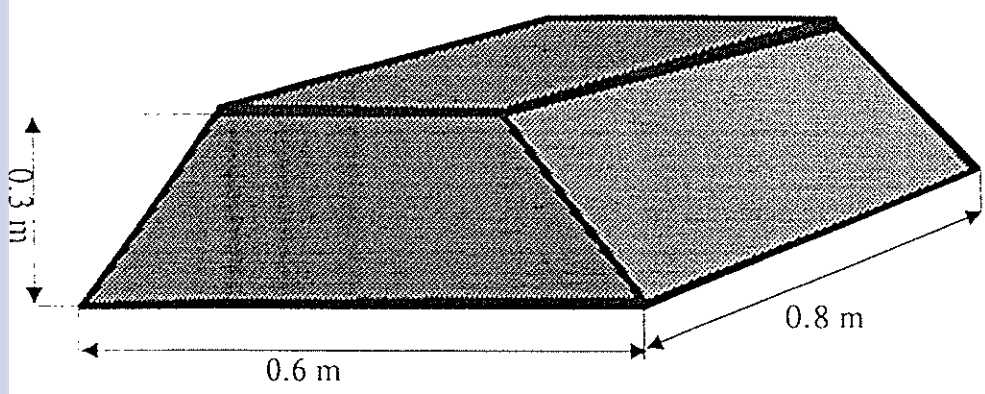


PENAMPANG BIOREAKTOR TAMPAK ATAS

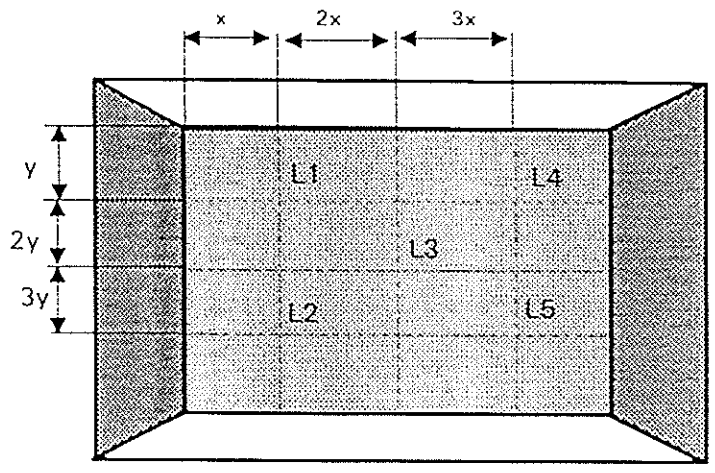


PILE/GUNDUKAN UNTUK PENGKOMPOSAN

Halaman ini merupakan bagian dari materi yang akan dipelajari pada pertemuan ke-10 dan 11. Untuk lebih jelasnya, silakan kunjungi website IPB University dan ikuti materi yang disajikan. Untuk lebih jelasnya, silakan kunjungi website IPB University dan ikuti materi yang disajikan.

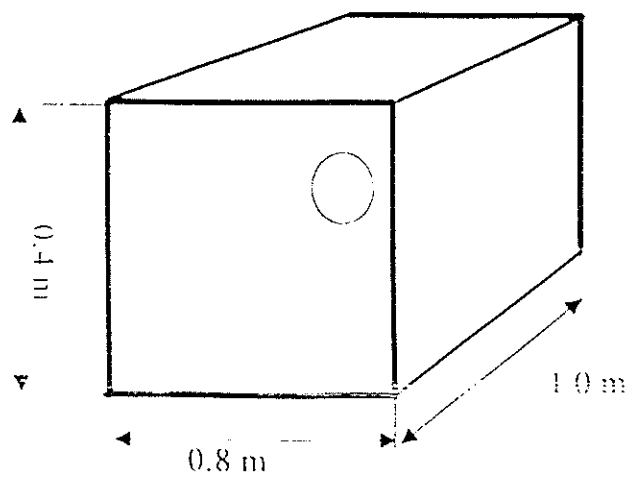


(a) bentuk tiga dimensi dan ukuran dari windrows



$X = 0.2 \text{ m}$
 $Y = 0.15 \text{ m}$

(b) titik-titik pengukuran suhu pada windrows, yaitu L1, L2, L3, L4 dan L5 (tampak atas)

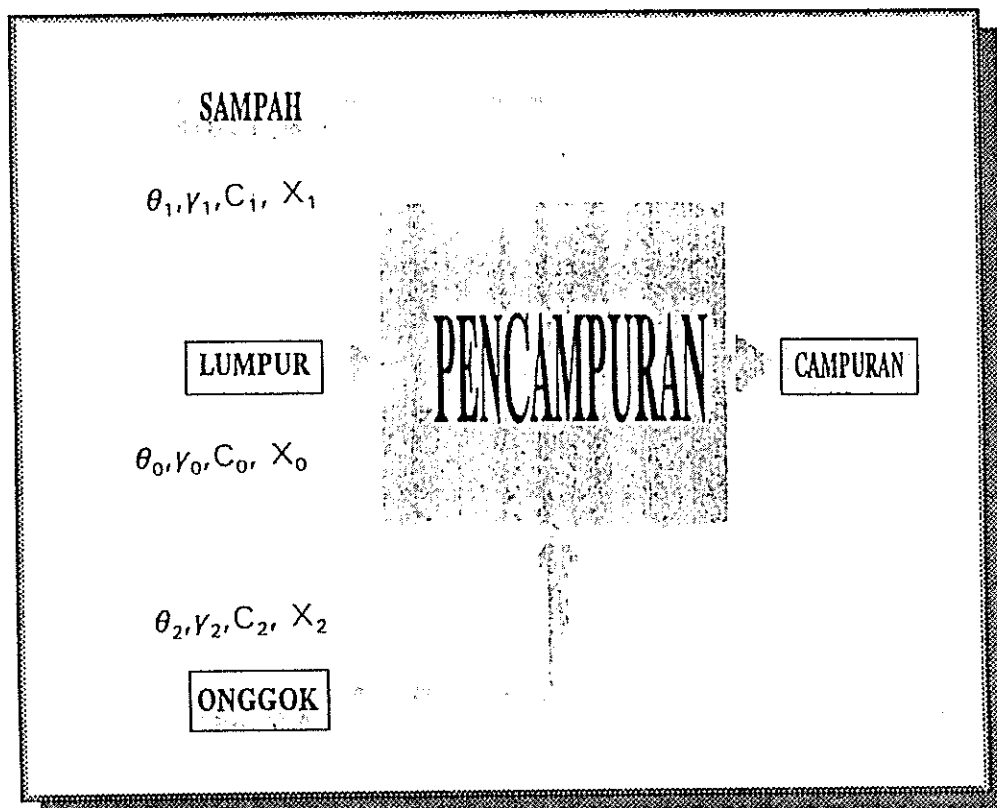


(c) bangunan peneduh windrows

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna bagi masyarakat luas, khususnya bagi petani yang menanam padi. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna bagi petani yang menanam padi. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna bagi petani yang menanam padi.

Lampiran 4. Penurunan dan penggunaan neraca massa untuk menentukan proporsi campuran

Neraca massa untuk menentukan proporsi bahan-bahan tambahan dan lumpur dalam suatu tahap proses pencampuran disajikan dalam bagan berikut :



Neraca massa total : $\sum X_i = X$

Neraca massa komponen :

C : $\sum C_i X_i = CX$ (1)

N : $\sum N_i X_i = NX$ (2)

P : $\sum P_i X_i = PX$ (3)

Persamaan (1) dibagi dengan persamaan (2) maka diperoleh :

$\sum (1-\theta/\theta_i) C_i X_i = 0$, dimana $N_i=C_i/\theta_i$ (4)

Persamaan (1) dibagi dengan persamaan (3) maka diperoleh :

$\sum (1-\gamma/\gamma_i) C_i X_i = 0$, dimana $P_i=C_i/\gamma_i$ (5)

Jika Bobot lumpur (X_0) dijadikan sebagai basis, $X_0 = 1.0$ kg dan C_0, θ_0, γ_0 diketahui maka persamaan (4) dan (5) dapat diubah menjadi :

$$\sum (1-\theta/\theta_0)C_i X_i = (\theta/\theta_0-1)C_0 \quad (6)$$

$$\sum (1-\gamma/\gamma_0)C_i X_i = (\gamma/\gamma_0-1)C_0 \quad (7)$$

Persamaan (6) dan (7) merupakan persamaan-persamaan yang digunakan untuk menentukan proporsi dari lumpur, onggok dan sampah. Jika i merupakan indeks untuk menyatakan jenis bahan tambahan, dimana 1 = indeks untuk sampah, 2 = indeks untuk onggok, 0 = indeks untuk lumpur, persamaan (5) dan (6) menjadi berbentuk :

$$(1-\theta/\theta_1)C_1 X_1 + (1-\theta/\theta_2)C_2 X_2 = (\theta/\theta_0-1) C_0 \quad (8)$$

$$(1-\gamma/\gamma_1)C_1 X_1 + (1-\gamma/\gamma_2)C_2 X_2 = (\gamma/\gamma_0-1) C_0 \quad (9)$$

Menurut EPA (1989c), nilai optimal dari $\theta = 30 - 35$, $\gamma = 75 - 150$. Dengan memasukkan nilai-nilai dari hasil analisis karakteristik bahan (Tabel 12), persamaan di atas menjadi :

$$-13.92X_1 + 29.50X_2 = 9.98, \text{ dimana } \theta = 30$$

$$3.20X_1 + 35.50X_2 = 19.96, \text{ dimana } \gamma = 75$$

Dengan metode eliminasi dan/atau substitusi, X_1 dan X_2 dapat diperoleh, yaitu :

$$X_1 = 0.53 \text{ kg;}$$

$$X_2 = 0.41 \text{ kg;}$$

sehingga proporsi dari lumpur, sampah dan onggok adalah sebesar 52, 27 dan 21 persen.

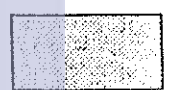
Waktu pengeringan-pelembaban dan penyiraman air limbah

t (hari)	PERLAKUAN				t (hari)	PERLAKUAN			
	TC	T1	T2	T3		TC	T1	T2	T3
0					15				
1					16				
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11					26				
12					27				
13					28				
14					29				

Keterangan : hari ke-30 s/d 40 semua perlakuan dipertahankan lembab dan tidak ada penyiraman



= Kondisi kering



= Kondisi lembab



= Penyiraman air limbah ternak sapi

Data hasil Penelitian

PERLAKUAN	t	Co	Nm	RATA-RATA		PERUBAHAN		
				Co	Nm	ΔCo	ΔNm	
10	0	27.12	135	26.21	136.0	-	-	
		25.30	137					
	14	4.53	170	4.68	340.5	-82.1442	150.3676	
		4.83	511					
	24	4.72	252	5.465	194.0	16.7735	-43.025	
		6.21	136					
	40	4.79	218	5.715	252.0	4.574565	29.89691	
		6.64	286					
	11	0	27.12	135	26.21	136.0	-	-
			25.30	137				
		14	5.00	477	5.00	416.0	-80.9233	205.8824
			5.00	355				
24		5.77	484	3.04	419.5	-39.2	0.841346	
		0.31	355					
40		5.67	150	3.74	198.0	23.02632	-52.801	
		1.81	246					
12		0	27.12	135	26.21	136.0	-	-
			25.30	137				
		14	3.25	443	3.09	528.5	-88.2106	288.6029
			2.93	614				
	24	4.06	491	4.935	457.0	61.80328	-13.5289	
		5.81	423					
	40	6.83	341	7.615	262.5	54.30598	-42.5602	
		8.40	184					
	13	0	27.12	135	26.21	136.0	-	-
			25.30	137				
		14	7.30	307	6.36	392	-75.7315	188.2353
			5.42	477				
24		5.93	580	6.05	392.5	-4.87421	0.127551	
		6.17	205					
40		6.20	430	6.07	385.5	0.330579	-1.78344	
		5.94	341					

Perubahan N-mineral untuk tiap perubahan C-organik sebesar 1.0 persen

PERLAKUAN	t	PERUBAHAN		PERUBAHAN	
		ΔC_o	ΔN_m	$\Delta C_o / [\Delta C_o]$	$\Delta N_m / [\Delta C_o]$
TC	0	-	-	-	-
	14	-82.1442	150.3676	-1	1.83053216
	24	16.7735	-43.025	1	-2.56505798
	40	1.57456	29.89691	1	18.98746952
T1	0	-	-	-	-
	14	-80.9233	205.8824	-1	2.54416713
	24	-39.2	0.841346	-1	0.02146291
	40	23.02632	-52.801	1	-2.29307158
T2	0	-	-	-	-
	14	-88.2106	288.6029	-1	3.27174852
	24	61.80328	-13.5289	1	-0.21890262
	40	54.30598	-42.5602	1	-0.78371111
T3	0	-	-	-	-
	14	-75.7345	188.2353	-1	2.48546303
	24	-4.87421	0.127551	-1	0.02616855
	40	0.330579	-1.78344	1	-5.39489804

Persentase perubahan C-organik dan N-mineral setelah 40 hari inkubasi

PERLAKUAN	$C_o, t=0$	$N_m, t=0$	$C_o, t=40$	$N_m, t=40$	$\Delta C_{o, 40}$	$\Delta N_{m, 40}$
TC	26.21	136	5.715	252.0	-78.195	85.2941
T1	26.21	136	3.740	198.0	-85.731	45.5882
T2	26.21	136	7.615	262.5	-70.946	93.0147
T3	26.21	136	6.070	385.5	-76.841	183.456