



UNIVERSITAS INDONESIA

**IDENTIFIKASI AWAL TERBENTUKNYA GAS PADA
DEKOMPOSISI FAKULTATIF CAMPURAN SAMPAH
PEKARANGAN DAN SAMPAH DAPUR**

SKRIPSI

**Fitra Abriwibawa
04 03 01 0313**

**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
PEMINATAN SUMBER DAYA AIR DAN LINGKUNGAN
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Fitra Abriwibawa

NPM : 0403010313

Tanda Tangan :

Tanggal : 10 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Fitra Abriwibawa
NPM : 0403010313
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Identifikasi awal terbentuknya gas pada dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistyoweni W. Dipl., S.E., S.KM. ()
Penguji : Ir Irma Gusniani, M.sc ()
Penguji : Dr.Ir Djoko M Hartono M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Ia pasti tahu jalan yang terbaik untuk hamba-Nya. Shalawat dan salam tidak lupa saya haturkan kepada Rasulullah SAW, semoga saya dapat selalu mengikuti sunahmu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi sebagian persyaratan akademis untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Sulistyoweni W. Dipl., S.E., S.KM. selaku dosen pembimbing saya dalam skripsi ini. Terima kasih atas semua waktu, bantuan, bimbingan serta diskusinya. Saya mendapatkan banyak ilmu, baik yang berkaitan dengan skripsi maupun hal-hal baik lainnya.
2. Bapak Ir. Syahril A. Rahim M.Eng, selaku penasehat akademis saya. Terima kasih atas semua masukan serta dukungan yang berharga bagi kegiatan perkuliahan.
3. Bapak, Ibu, adik-adik, dan sepupuku tersayang. Terima kasih tak terkira atas segala dukungan baik moral maupun material. Semoga saya dapat memberikan semua kebahagiaan kepada kalian.
4. Anak-anak 'kontrakan' dan Laskar 'kos' Pelangi: Rachmat, Hendro, Yuniardi, Iwan, Anton, Firman, Pietoyo, Panji, Farid, Ifan, Priyono, Herry, Fauzi, Andre, dan Kurniawan. Kalian bukan hanya sahabat tapi juga guru bagi saya. *Jazakallah khoiron katsiron.*
5. Teman-teman 2003 yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas setiap momen yang pernah kita lewati bersama, ada suka maupun duka, semuanya membuat saya tersenyum setiap mengingatnya. *Som un.* Semoga kita menjadi salah satu generasi terbaik bagi bangsa ini.

6. Orang-orang yang mendo'akan saya dalam malam-malamnya, tanpa diminta, tanpa diketahui.
7. Tidak lupa teman-teman 2001, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007, dan 2008, atas segala dukungan dan do'anya.
8. Dan semua pihak yang mendukung dan tak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Tentunya masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu, saran dan kritik saya harapkan untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan mendatang (fitra.abriwibawa@gmail.com). Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 10 Juli 2009

Fitra Abriwibawa

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

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

Nama : Fitra Abriwibawa
NPM : 0403010313
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

Identifikasi awal terbentuknya gas pada dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2009

Yang menyatakan

(Fitra Abriwibawa)

ABSTRAK

Nama : Fitra Abriwibawa
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Identifikasi awal terbentuknya gas pada dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur

Penggunaan bahan bakar fosil yang tak terbaharukan secara terus menerus akan membawa dunia pada krisis energi. Pengembangan energi terbaharukan mutlak diperlukan sebagai solusi untuk menjawab permasalahan ini. Di Indonesia permasalahan sampah juga telah mencapai tingkat mengkhawatirkan, besarnya timbulan sampah tak diimbangi kemampuan mengolah sehingga telah mengakibatkan bencana seperti banjir dan wabah penyakit. Pengolahan sampah dengan teknologi anaerobik digestion sangat tepat karena mampu menghasilkan biogas sebagai energi terbaharukan dan sekaligus membantu mengatasi permasalahan sampah.

Volume terbentuknya gas dalam proses Dekomposisi fakultatif sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah perubahan variasi komposisi bahan baku dan penambahan bakteri. Penelitian experimental ini bertujuan untuk mendapatkan identifikasi awal terbentuknya gas pada dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur.

Didapatkan hasil bahwa Dekomposisi Fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur akan menghasilkan gas. Semakin banyak kandungan sampah pekarangan maka akan semakin sedikit gas yang dihasilkan, sebaliknya semakin banyak kandungan sampah dapur maka akan semakin banyak gas yang dihasilkan. Penambahan bakteri EM4 akan memberikan pengaruh secara langsung terhadap volume gas yang dihasilkan.

Kata Kunci : Sampah Pekarangan, Sampah Dapur, Bakteri EM4, Gas, dekomposisi fakultatif, Energi Terbaharukan,

ABSTRACT

Name : Fitra Abriwibawa
Study Program : Civil Engineering
Title : First Identification of gases that created due to facultative decompositions from yard waste and food waste mixed.

Using of un-renewable fossils fuel continuously will deliver for the earth to energy crisis condition. The development of renewable energy is absolutely required as a solution to overcome this case. In Indonesia, the garbage problem has reached to worried level condition, the number of garbage fill is not balanced with ability process caused some disasters such flood and disease epidemic. The garbage processing by anaerobic digestion technology is very comfortable because it able to create some biogas as renewable energy and also overcoming of garbage problems.

Volume of gases resulted in facultative decomposition process is very affected by some factors, once is variation composition changes of raw materials and addition of bacteria. This experimental research is purposed to identify the gases that created due to facultative decompositions from mixing of yard waste and food waste.

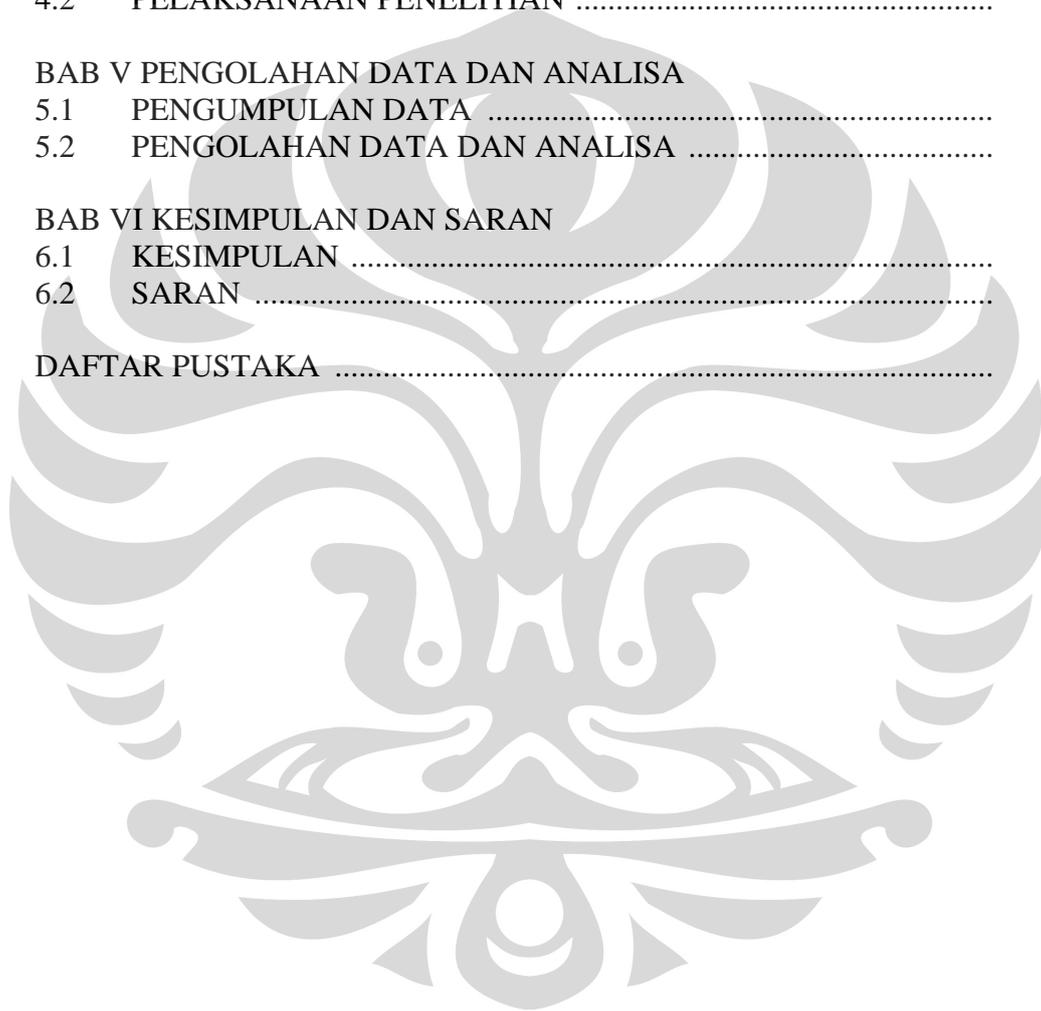
The result is due to facultative decomposition from yard waste's's and food waste's mixed will create some gases. More yard waste's contain will be less gases produced, the other condition more food waste's contain will be more some gases produced. Addition of bacteria EM4 will give an effect for volume of gases resulted directly.

Keyword: yard waste, food waste, bacteria EM4, gas, facultative decomposition, renewable energy.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISIONALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GRAFIK	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN PERMASALAHAN	2
1.3. TUJUAN PENELITIAN	4
1.4. BATASAN PENELITIAN	4
1.5. MANFAAT PENELITIAN	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 KLASIFIKASI SAMPAH	6
2.1.1 Sumber Sampah	6
2.1.2 Jenis-jenis Sampah	6
2.1.3 Komposisi Sampah	7
2.2 KARAKTERISTIK SAMPAH	10
2.2.1 Karakteristik Fisik	10
2.2.2 Karakteristik Kimia	15
2.2.3 Karakteristik Biologis	21
2.3 PROSES PENGOLAHAN SAMPAH	24
2.3.1 Proses Secara Fisis	24
2.3.2 Proses Secara Kimia.....	25
2.3.3 Proses Secara Biologis	27
2.4 TEKNOLOGI ANAEROB DIGESTION	29
2.4.1 Prinsip Proses	30
2.4.2 Faktor yang Berpengaruh	31
2.4.3 Jenis Proses	35
2.5 SAMPAH PEKARANGAN DAN SAMPAH DAPUR	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. TAHAPAN PENELITIAN	38
3.1.1. Menyiapkan Bahan Baku Penelitian	38
3.1.2. Menyiapkan Peralatan yang Dibutuhkan	39
3.1.3. Memulai Pelaksanaan Penelitian	43

3.2.	VARIASI KOMPOSISI YANG DITELITI	43
3.3.	PELAKSANAAN PENELITIAN	44
3.3.1.	Pengumpulan Data	44
3.3.2.	Analisa Data	45
3.3.3.	Hasil Penelitian atau Kesimpulan	48
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN		
4.1	PERSIAPAN PENELITIAN	49
4.1.1	Pengadaan Peralatan dan Perlengkapan	49
4.1.2	Pengadaan Bahan Baku	52
4.2	PELAKSANAAN PENELITIAN	57
BAB V PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA		
5.1	PENGUMPULAN DATA	59
5.2	PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	59
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	KESIMPULAN	73
6.2	SARAN	73
DAFTAR PUSTAKA		74



DAFTAR GAMBAR

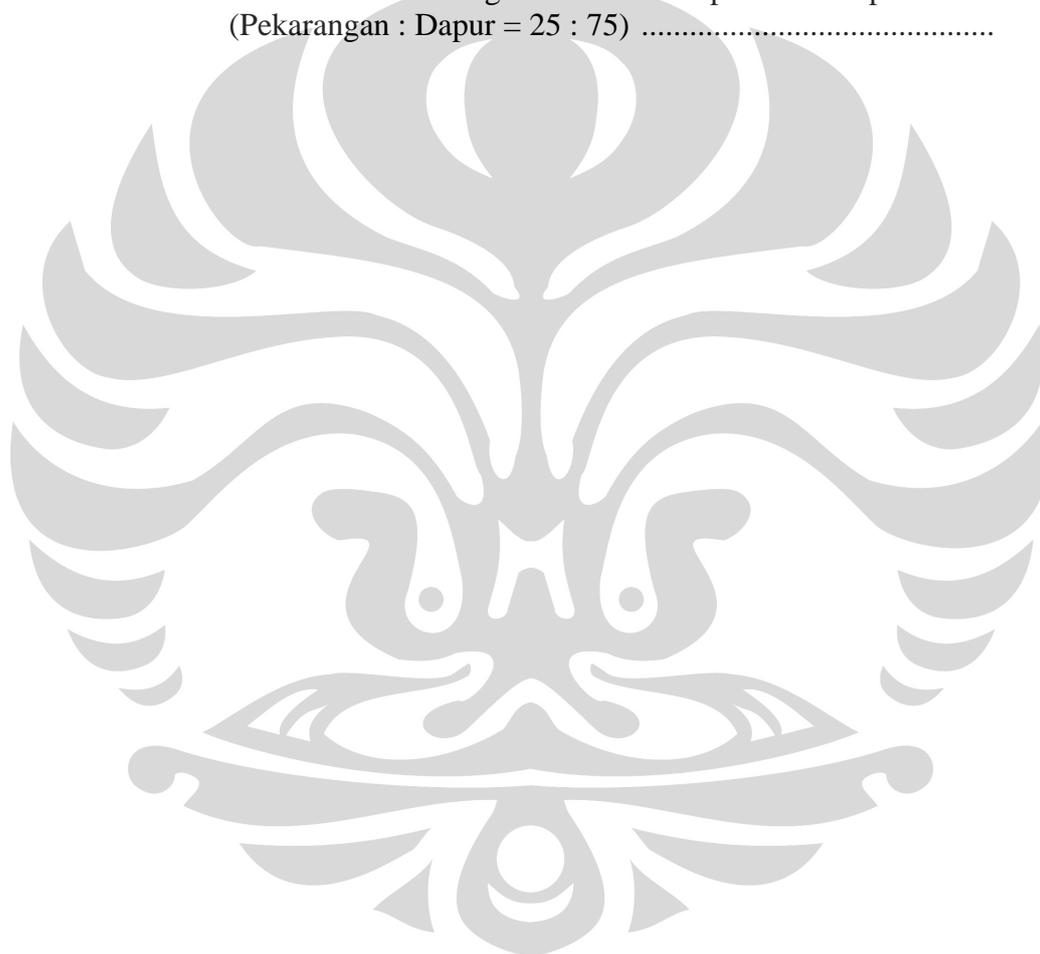
Gambar 3.1	Bagian-bagian Alat Pengukur Volume Biogas	41
Gambar 3.2	Ilustrasi cara kerja alat pengukur pertambahan biogas	42
Gambar 3.3	Ilustrasi variasi komposisi sampah pekarangan dan sampah dapur	43
Gambar 3.4	Ilustrasi sample setiap variasi komposisi tanpa penambahan bakteri dan dengan penambahan bakteri	46
Gambar 3.5	Ilustrasi grafik hubungan volume gas dan waktu.....	47
Gambar 3.6	Ilustrasi grafik perbandingan volume terbentuknya biogas dan waktu dari tiap komposisi	48
Gambar 4.1	Reaktor Biogas	49
Gambar 4.2	Bahan Penyusun alat ukur sederhana	50
Gambar 4.3	Reaktor dan pengukur biogas	51
Gambar 4.4	Parang pencacah	51
Gambar 4.5	Timbangan	52
Gambar 4.6	Sampah pekarangan	53
Gambar 4.7	Sampah Dapur	55
Gambar 4.8	Bakteri EM4	57
Gambar 4.9	Dugaan Terbentuknya cairan asam	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sumber sampah di masyarakat	7
Tabel 2.2	Distribusi komponen sampah perkotaan di kebanyakan kota besar tanpa sampah industri dan pertanian	8
Tabel 2.3	Rata-rata distribusi komponen sampah perumahan pada Negara dengan pemasukan rendah, menengah, dan tinggi tanpa daur ulang	10
Tabel 2.4	Rata-rata data berat jenis dan kelembapan untuk komersial, perumahan, industri, dan pertanian.	11
Tabel 2.5	Daftar Proximate analysis dan Energi Content dari berbagai jenis sampah	16
Tabel 2.6	Daftar Ultimate Analysis material-material dapat terbakar dalam dry basis	18
Tabel 2.7	Daftar Ultimate Analysis material-material organik dan non organik dalam dry basis	19
Tabel 2.8	Daftar Ultimate Analysis dalam dry basis	20
Tabel 2.9	Daftar kemampuan material organik terdegradasi/urai	22
Tabel 2.10	Beberapa ambang batas racun sebagai zat penghambat proses Anaerobik Digestion	35
Tabel 2.11	Daftar rasio C/N dalam beberapa bahan organik	36
Tabel 3.1	Tabel komposisi berat bahan baku anaerob digestion	44
Tabel 3.2	Tabel Pencatatan data yang telah terkumpul	45
Tabel 4.1	Komposisi bakateri EM 4	56

DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1	Grafik hubungan volume dengan waktu pada ketiga variasi komposisi tanpa penambahan bakteri	61
Grafik 5.2	Grafik hubungan volume dengan waktu pada ketiga variasi komposisi dengan penambahan bakteri	64
Grafik 5.3	Grafik Perbandingan volume pada komposisi 1 (Pekarangan : Dapur = 75 : 25)	67
Grafik 5.4	Grafik Perbandingan volume pada komposisi 2 (Pekarangan : Dapur = 50 : 50)	69
Grafik 5.5	Grafik Perbandingan volume pada komposisi 3 (Pekarangan : Dapur = 25 : 75)	71



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel volume biogas terbentuk setiap 12 jam dari variasi tanpa penambahan bakteri	75
Lampiran 2	Tabel volume biogas terbentuk setiap 12 jam dari variasi dengan penambahan bakteri	77
Lampiran 3	Tabel volume biogas rata-rata pada setiap variasi tanpa penambahan bakteri	79
Lampiran 4	Tabel volume biogas rata-rata pada setiap variasi dengan penambahan bakteri	81



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini permasalahan sampah telah menjadi permasalahan yang sangat penting, terutama di Indonesia. Permasalahan sampah telah memberikan dampak yang sangat besar, tidak hanya dari segi kesehatan masyarakat, namun juga telah memberikan dampak lain, salah satunya adalah banjir yang memperburuk kesejahteraan masyarakat, merusak infrastruktur, dan bahkan mengakibatkan kematian.

Telah banyak terobosan yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan sampah ini, dan salah satunya adalah dengan mengolah kembali sampah-sampah ini menjadi pupuk. Namun jenis sampah yang dapat diolah menjadi pupuk ini sangat terbatas, saat ini baru sebatas dari sampah organik. Selain mengolah sampah menjadi pupuk, saat ini sampah juga telah dapat diolah menjadi biogas sebagai energi alternatif. Dan masih banyak lagi teknologi pengolahan sampah menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat.

Penelitian ini akan lebih di fokuskan dalam pengolahan sampah menjadi energi alternatif dalam bentuk biogas. Biogas akan didapat ketika memproses sampah organik melalui proses anaerob, dan proses ini nantinya juga akan menghasilkan pupuk sebagai hasil akhirnya selain biogas.

Biogas adalah salah satu energi alternatif yang dapat dijadikan harapan dalam memenuhi energi di masa yang akan datang, karena biogas yang dihasilkan dari pengolahan sampah ini termasuk dalam sumber energi yang dapat diperbaharui, dan suatu saat nanti ketika sumber energi yang tidak dapat diperbaharui telah habis maka kita hanya dapat bergantung pada sumber energi alternatif yang dapat di perbaharui, dan salah satunya adalah biogas ini.

Permasalahan energi juga telah menjadi permasalahan yang sangat penting dewasa ini. Seluruh dunia membutuhkan energi untuk menjalankan aktifitasnya, baik itu aktifitas kehidupan maupun aktifitas perekonomian, dengan terganggunya pasokan minyak mentah dunia sedikit saja pada tahun 2008, harga minyak dunia langsung melonjak naik dan dengan sangat cepat telah terjadi krisis ekonomi di berbagai negara. Tidak bisa dipungkiri bahwa kita hidup di dunia yang modern ini kita sangat tergantung pada energi, dan saat ini penggunaan energi terbesar adalah penggunaan energi yang tidak dapat di perbaharui, berupa minyak bumi dan batu bara.

Untuk itulah penelitian di bidang energi alternatif yang dapat diperbaharui banyak dilakukan. Penelitian ini juga dilakukan agar dapat membantu menyelesaikan permasalahan di bidang energi dan permasalahan di bidang sampah secara bersamaan.

Dalam masyarakat, mengolah sampah dalam kondisi anaerob murni sangatlah susah, hal ini sangat terkait dengan metode dan alat yang digunakan. Penelitian ini akan mencoba mengidentifikasi tahap awal mengenai pembentukan gas pada dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur. Nantinya akan diketahui apakah gas benar terbentuk dan bagaimanakah kecenderungan volume terbentuknya apabila ditambahkan bakteri dalam prosesnya.

Penelitian ini diharapkan akan menjadi penunjang untuk penelitian-penelitian lanjutan di bidang pengolahan sampah organik menjadi biogas dan pupuk, sehingga akan membantu menciptakan kehidupan manusia yang lebih berkualitas bersih dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Permasalahan

Sampah selalu mejadi permasalahan di kota-kota di dunia tak terkecuali Indonesia dan Jakarta. Di Universitas Indonesia misalnya, dalam sehari lebih dari 1-2 truk sampah pekarangan yang dibuang, sampah sampah itu akhirnya menjadi barang yang merugikan dan tak berguna.

Namun dengan teknologi anaerob digestion maka kita akan dapat menjadikan sampah pekarangan yang tadinya merugikan, menjadi bahan baku untuk menciptakan bahan bakar biogas atau gas metan yang sangat berguna untuk kehidupan manusia. Tapi untuk mendapatkan kondisi anaerob murni di masyarakat sangatlah sulit dan mahal karena terkait dengan metode dan alat yang digunakan, sehingga akan lebih mudah bila digunakan kondisi yang lebih flexible, atau dapat kita sebut dengan kondisi fakultative.

Permasalahannya adalah apakah gas akan tetap terbentuk dalam kondisi fakultatif pada campuran sampah dapur dan sampah pekarangan, dan bagaimanakah kecenderungan produksi gas bila ditambahkan bakteri dalam prosesnya.

Masalah akan dirumuskan secara lebih spesifik lagi dalam pertanyaan-pertanyaan berikut ini :

- Apakah dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur akan menghasilkan gas?
- Bagaimanakah pengaruh perbandingan komposisi berat sampah pekarangan dan sampah dapur terhadap volume gas yang dihasilkan?
- Apakah penambahan bakteri EM4 akan memberikan pengaruh secara langsung terhadap volume gas yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan indentifikasi awal pembentukan gas pada dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur.

1.4 Batasan Penelitian

Mengingat waktu penelitian yang sangat terbatas dan agar penelitian dapat terarah pada tujuan yang diharapkan, maka penelitian ini akan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

- Sampah pekarangan yang di teliti dibatasi pada sampah yang di dapat di lingkungan fakultas teknik Universitas Indonesia

- Sampah dapur yang diteliti dibatasi pada sampah yang didapat dari kantin fakultas teknik Universitas Indonesia
- Penelitian dibatasi sampai identifikasi terbentuknya gas
- Penambahan bakteri yang digunakan adalah bakteri EM4.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain :

- Untuk mengetahui apakah dapat terbentuk gas dalam dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur
- Memberikan kemudahan dalam penelitian-penelitian lanjutan di bidang teknik lingkungan khususnya yang berkaitan dengan pengolahan sampah organik menjadi biogas, terutama dalam membuat kombinasi percobaan-percobaan demi mendapatkan hasil yang diinginkan.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab I pendahuluan

Berisi latar belakang masalah, deskripsi masalah, signifikansi masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II Landasan teori

Membahas teori-teori yang digunakan menunjang penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber

Bab III Metode penelitian

Berisi penjelasan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian

Bab IV Pelaksanaan penelitian

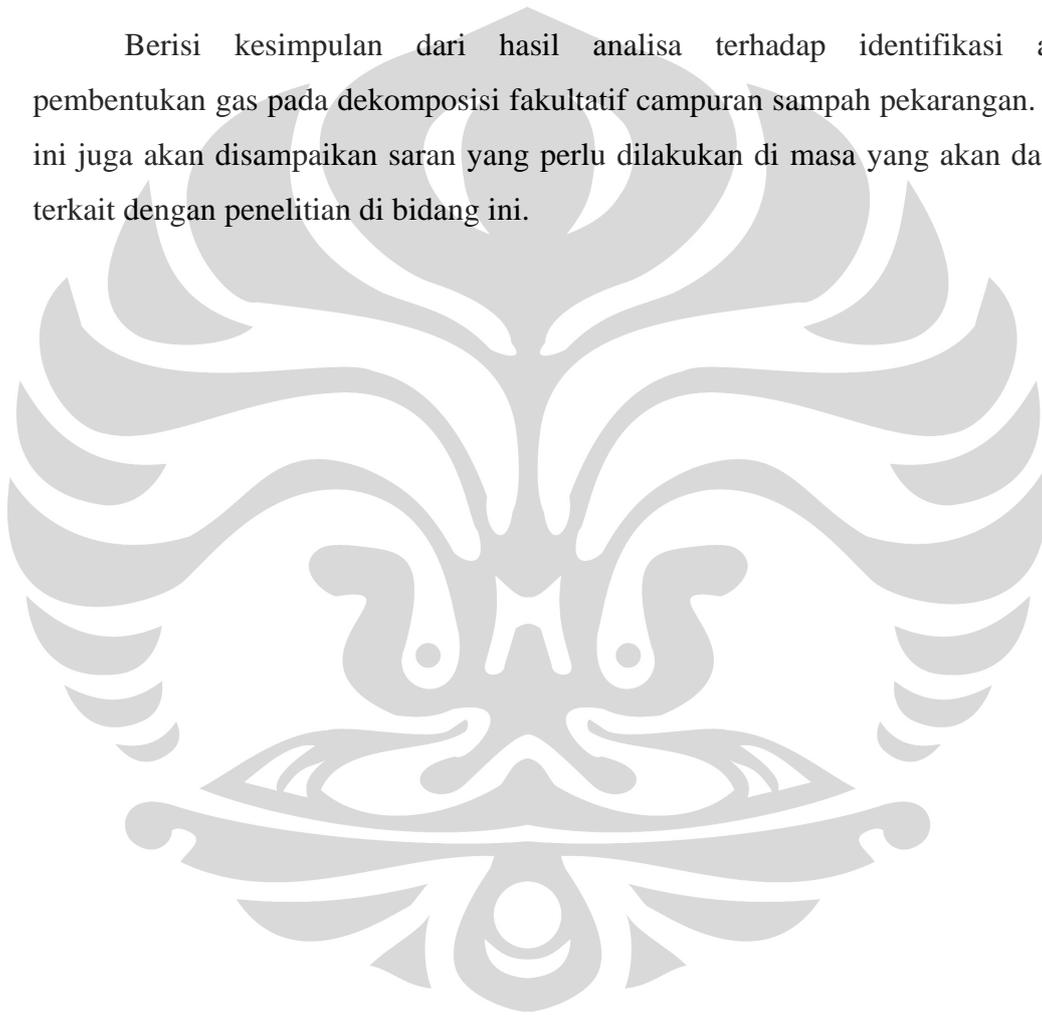
Berisi laporan atau deskripsi pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan

Bab V Pengolahan data dan analisa

Berisi pengolahan data yang telah dikumpulkan sehingga mendapatkan gambaran yang diinginkan dari penelitian ini beserta penjelasan dan analisa pengaruh perubahan komposisi sampah organik dan penambahan bakteri terhadap volume produksi gas berdasarkan pengolahan dan interpretasi data.

Bab VII Kesimpulan dan saran

Berisi kesimpulan dari hasil analisa terhadap identifikasi awal pembentukan gas pada dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan. Bab ini juga akan disampaikan saran yang perlu dilakukan di masa yang akan datang terkait dengan penelitian di bidang ini.



BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 KLASIFIKASI SAMPAH

2.1.1 Sumber Sampah

Secara umum sampah dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber munculnya sampah (timbulan sampah). Sumber timbulan sampah dalam masyarakat sangat berhubungan dengan penggunaan lahan, namun klasifikasi sampah dapat saja dikembangkan dengan berbagai pendekatan lain. berikut adalah beberapa klasifikasi sampah berdasarkan sumbernya yang paling sering digunakan.

- Pemukiman/perumahan (*Residential*)
- Daerah Komersil (*Commercial*)
- Institusi (*Institutional*)
- Pembangunan dan Penghancuran (*Construction and Demolition*)
- Fasilitas Umum (*Municipal service*)
- Fasilitas Bangunan Pengolahan Limbah (*Treatment Plant Service*)
- Industri (*Industrial*)
- Pertanian (*Agricultural*)

Municipal Solid Waste (MSW) atau lebih dikenal dengan sampah perkotaan biasanya diasumsikan mencakup seluruh sampah masyarakat kecuali sampah industri dan sampah pertanian.

2.1.2 Jenis-jenis Sampah

Dalam mengelola sampah menjadi lebih teratur maka sangat penting untuk dapat menentukan jenis-jenis sampah dari sumber-sumber sampah yang dihasilkan. agar sampah dapat di perlakukan sesuai dengan sifat dan karakteristiknya.

Berikut adalah tabel 2.1 yang memperlihatkan jenis-jenis sampah apa saja yang dihasilkan dari tiap sumber penghasil sampah :

Tabel 2.1. Sumber sampah di masyarakat

Sumber	Bangunan, kegiatan, atau lokasi sampah dihasilkan	Tipe Sampah
Perumahan	Rumah berisi satu/lebih keluarga, apartemen bertingkat, dll.	Sampah makanan, kertas, plastik, kain, kulit, sampah kebun, kayu, kaca, kaleng timah, aluminium, baja, abu, dedaunan, sampah spesial (barang bekas, elektronik, batrai, oli, ban).
Komersial	Stores, restaurant, pasar, gedung perkantoran, hotel, motel, pusat servis, bengkel, warnet, dll	Kertas, tripleks, plastik, kayu sampah dapur, kaca, baja, sampah spesial (lihat atas), sampah berbahaya, dll
Institusi	Sekolahan, rumah sakit, penjara, pusat pemerintahan	sama seperti komersial
Sarana Umum	Jalan raya, taman, bak kontrol, tempat parkir dan pantai, sarana rekreasi yang lain	Sampah Spesial, karet, debu jalanan, sampah potongan rumput, endapan bak kontrol, sampah umum dari taman, pantai, dll
Bangunan Pengolahan, Tempat Pembakaran	Air bersih, Air limbah, dan Bangunan Proses pengolahan limbah industri	Sampah Pengolahan limbah, yang sebagian besar terdiri dari sludge (lumpur)
Limbah Padat Perkotaan	Semua yang diatas	Semua yang diatas
Industri	Pembangunan, pabrik besar dan kecil, pembangkit listrik, pabrik kimia, Gudang, Penghancuran.	Sampah Proses Industri, sampah non industri seperti sampah dapur, karet, abu, sampah penghancuran dan pembangunan, sampah spesial, dan sampah berbahaya.
Pertanian	Kebun dan sawah, taman bunga, kebun anggur, peternakan, dll	Sampah makanan busuk, sampah pertanian, sampah bangkai, sampah berbahaya, dll

Sumber : *Integrated Solid Waste Management Book's, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A., 1993*

2.1.3 Komposisi Sampah

Komposisi sampah adalah istilah yang digunakan untuk

Universitas Indonesia

memperlihatkan perbandingan berat tiap-tiap sampah yang berasal dari sumber yang sama (Tchobanoglous, 1993:45). Informasi mengenai komposisi sampah ini penting untuk menentukan berbagai hal untuk penanganan sampah seperti metode pengangkutan, sistem, program management dan perencanaan penanganan sampah. Sebagai contoh, sampah yang dihasilkan dari fasilitas komersial sebagian besar terdiri dari sampah kertas sehingga dapat digunakan alat berupa penghancur kertas untuk menanganinya sehingga lebih mudah.

Seluruh sampah yang berasal dari masyarakat tersusun dari sampah yang berada di tabel 2.1, dan penyebaran sampahnya dapat dilihat pada tabel 2.2 seperti berikut :

Tabel 2.2. Distribusi komponen sampah perkotaan di kebanyakan kota besar tanpa sampah industri dan pertanian

Kategori Sampah	Persentase berat	
	range	rata-rata
Perumahan dan komersial, tanpa sampah spesial dan berbahaya	50 - 75	62
Sampah spesial & Berbahaya		
Sampah spesial (barang bekas, elektronik, sampah kebun yang terpisah, batterai, oli, dan ban)	3 - 12	5.0
Sampah berbahaya	0.01 - 1.0	0.1
Institusi	3 - 5	3.4
Pembangunan dan penghancuran	8 - 20	14.0
Sarana Perkotaan		
sampah jalanan dan lorong-lorong	2 - 5	3.8
Sampah pepohonan dan kebun	2- 5	3.0
Taman dan area rekreasi	1.5 - 3	2.0
Bak kontrol	0.5 - 3	0.7
Bangunan pengolahan limbah	3 - 8	6.0
Total		100

Sumber : *Integrated Solid Waste Management Book's, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A., 1993*

Dapat dilihat dari tabel tersebut bahwa persebaran sampah dari masyarakat sebagian besar berasal dari sampah pemukiman dan sampah komersial, yaitu sekitar 50-75% dari seluruh sampah yang dihasilkan di

masyarakat. Persentase penyebaran ini ditentukan oleh banyak hal yang dapat berbeda dalam tiap jenis sampah, contoh persentase sampah yang dihasilkan dari pembangunan dan penghancuran bangunan sangat tergantung dari panjang atau lamanya proyek berlangsung, dapat juga dipengaruhi oleh kebijakan standard kesehatan di sebuah kota atau negara, contoh lain adalah persentase sampah lumpur yang dihasilkan dalam fasilitas pengolahan air, sangat bergantung pada lama proses pengerjaan, jenis air bersih yang diinginkan dan jenis air kotor yang diolah. Jadi persentase sampah yang dihasilkan bisa sangat berbeda di tiap daerah, kota dan negara, dalam tabel yang disajikan diambil daerah di negara Amerika sebagai daerah yang diteliti.

Sampah pemukiman memiliki variasi komponen sampah yang unik karena sangat tergantung dari kesejahteraan penduduknya, misalkan penduduk yang memiliki tingkat kesejahteraan yang relatif rendah maka komponen sampah yang paling banyak dihasilkan adalah komponen sampah makanan atau dapat juga kita sebut sampah dapur, namun pada penduduk yang memiliki tingkat kesejahteraan yang lebih tinggi komponen sampah dapur akan semakin berkurang dan tergantikan oleh sampah plastik dan kertas, hubungan langsung yang dapat kita ambil adalah bahwa semakin tinggi kesejahteraan sebuah penduduk maka mereka akan lebih cenderung mengkonsumsi makanan siap saji atau makanan siap olah sehingga semakin mengecilkan sampah makanan yang dihasilkan dan memperbesar sampah yang digunakan sebagai bungkus makanan yang mereka konsumsi. Hal ini juga tentunya sangat dipengaruhi oleh kebiasaan di suatu daerah atau negara tentang bagaimana mereka mengolah atau membungkus makanan yang mereka jual. Di Amerika juga dilakukan pengamatan terhadap hal ini, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3. Rata-rata distribusi komponen sampah perumahan pada Negara dengan pemasukan rendah, menengah, dan tinggi tanpa daur

Komponen	Negara miskin	Negara berkembang	Negara maju
Organik			
Sampah dapur	40 – 85	20 - 65	6 - 30
Kertas	1 – 10	8 - 30	20 - 45
Papan Kartun			5 - 15
Plastik	1 – 5	2 - 6	2 - 8
Tekstil	1 – 5	2 - 10	2 - 6
Karet	1 – 5	1 - 4	0 - 2
Kulit			0 – 2
Sampah Kebun	1 – 5	1 - 10	10 – 20
Kayu			1 – 4
Organik lain	-	-	-
Non-Organik			
Kaca	1 – 10	1 - 10	4 – 12
Kaleng timah	1 – 5	1 - 5	2 – 8
Aluminium			0 – 1
Baja lain			1 – 4
Debu, abu,dll			0 – 10

Sumber : *Integrated Solid Waste Management Book's*, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A., 1993

KARAKTERISTIK SAMPAH

2.1.4 Karakteristik Fisik

Beberapa karakter fisik yang sangat penting dari sampah dalam kota adalah mengenai berat jenis sampah, tingkat kelembapan, besar partikel dan persebarannya (gradasi), kapasitas tampung di lapangan, tingkat kemampuan sampah dipadatkan. Karakter fisik yang akan dijelaskan hanya akan meliputi sampah pemukiman, komersial, dan beberapa sampah industri.

a) Berat jenis sampah

Berat jenis dapat diartikan sebagai berat material setiap satuan volume (seperti, kg/m^3). Sangat penting untuk mengetahui

berat dan volume sampah terlebih dahulu dan juga penting untuk melaporkan kondisi sampah seperti kondisinya yang telah dipadatkan, belum dipadatkan, dalam kondisi bebas, atau kondisi dalam kontainer. Secara umum berat jenis untuk sampah yang berada dalam kontainer, dipadatkan atau tidak dipadatkan dapat dilihat dalam Tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4. Rata-rata data berat jenis dan kelembapan untuk komersial, perumahan, industri, dan pertanian.

Tipe Sampah	Berat jenis, lb/yd ³		Kelembapan, % berat	
	Range	Rata-rata	Range	Rata-rata
Perumahan (tidak dipadatkan)				
Sampah dapur (campur)	220 - 810	490	50 - 80	70
Kertas	70 - 220	150	4 - 10	6
Papan Kartun	70 - 135	85	4 - 8	5
Plastik	70 - 220	110	1 - 4	2
Tekstil	70 - 170	110	6 - 15	10
Karet	170 - 340	220	1 - 4	2
Kulit	170 - 440	270	8 - 12	10
Sampah Kebun	100 - 380	170	30 - 80	60
Kayu	220 - 540	400	15 - 40	20
Kaca	270 - 810	330	1 - 4	2
Kaleng timah	85 - 270	150	2 - 4	3
Alumunium	110 - 405	270	2 - 4	2
Baja lain	220 - 1940	540	2 - 4	3
Debu, abu,dll	540 - 1685	810	6 - 12	8
Abu	1095 - 1400	1255	6 - 12	6
Rubbish	150 - 305	220	5 - 20	15
Sampah kebun perumahan				
Daun (bebas dan kering)	50 - 250	100	20 - 40	30
Rumput hijau (bebas dan lembab)	350 - 500	400	40 - 80	60
Rumput hijau (basah dan dipadatkan)	1000 - 1400	1000	50 - 90	80
Sampah kebun (dipotong-potong)	450 - 600	500	20 - 70	50
Sampah kebun (dibusukkan)	450 - 650	550	40 - 60	50
Municipal				
Dalam truk pematat	300 - 760	500	15 - 40	20
di lahan pembuangan				

di padatkan secara normal	610 - 840	760	15 – 40	25
dipadatkan dengan lebih baik	995 - 1250	1010	15 – 40	25
Komersial				
Sampah dapur (basah)	800 - 1600	910	50 – 80	70
Alat-alat	250 - 340	305	0 – 2	1
Kerat dari kayu	185 - 270	185	10 – 30	20
Sisa potongan pohon	170 - 305	250	20 – 80	5
Rubbish (dapat terbakar)	85 - 305	200	10 – 30	15
Rubbish (tak dapat terbakar)	305 - 610	505	5 – 15	10
Rubbish (campur)	235 - 305	270	10 – 25	15
Pembangunan dan Penghancuran				
Penghancuran campuran (noncombustible)	1685 - 1855	2395	2 – 10	4
Penghancuran campuran (combustible)	1180 - 1515	605	4 – 15	8
Pembangunan campuran (combustible)	305 - 605	440	4 – 15	8
Beton rusak	2020 - 3035	2595	0 – 5	-
Industri				
Lumpur Kimia (basah)	1350 - 1855	1685	75 – 99	80
Fly Ash	1180 - 1515	1350	2 – 90	4
Potongan kulit	170 - 420	270	6 – 15	10
Potongan baja (heavy)	2530 - 3370	3000	0 – 5	-
Potongan baja (light)	840 - 1515	1245	0 – 5	-
Potongan baja (mixed)	1180 - 2530	1515	0 – 5	-
Minyak, lemak, asphal	1350 - 1685	1600	0 – 5	2
Debu potongan kayu	170 - 590	490	10 – 40	20
Sampah tekstile	170 - 370	305	6 – 15	10
Kayu (mixed)	675 - 1140	840	30 – 60	25
Pertanian				
Pertanian (mixed)	675 - 1265	945	40 – 80	50
Hewan mati	340 - 840	605	-	-
Sampah buah-buahan	420 - 1265	605	60 – 90	75
Manure (wet)	1515 - 1770	1685	75 – 95	94
Sampah sayuran (mixed)	340 - 1180	605	60 – 90	75

Sumber : *Integrated Solid Waste Management Book's, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A., 1993*

Karena berat jenis dari limbah padat atau sampah sangat erat hubungannya dengan keadaan geografis, musim yang ada di suatu daerah atau negara, dan lamanya sampah berada dalam kontainer, sehingga diperlukan perhatian yang lebih dalam menentukan nilai berat jenis yang tepat.

Universitas Indonesia

b) Kelembapan

Kandungan air dalam sampah biasanya ditunjukkan dalam dua cara, yang pertama biasanya ditunjukkan dalam metode pengukuran berat kandungan air berbanding berat keseluruhan (wet-weight), dan metode lainnya adalah dengan menunjukkan persentase berat kering sebuah material. Namun dalam management pengolahan sampah biasanya lebih sering digunakan metode *wet-weight*, untuk mengukur dengan metode wet-weight dapat digunakan perhitungan matematis seperti berikut :

$$M = \left(\frac{w - d}{w} \right) 100$$

Dimana :

M = Moisture Content atau kadar air, %

w = berat awal sebagaimana sample di ambil, kg

d = berat setelah sample di keringkan dalam suhu 105°C, kg

c) Ukuran dan gradasi partikel

Besar ukuran dan persebarannya adalah salah satu faktor penting dalam menangani sampah, terutama dalam penanganan sampah secara mekanis seperti trommel screens dan pemisahan secara magnetis. Cara menentukan besar ukuran partikel dapat dengan beberapa cara sebagai berikut :

$$Sc = 1$$

$$Sc = \left(\frac{i+w}{2} \right)$$

$$Sc = \left(\frac{i+w+r}{3} \right)$$

$$Sc = (l \times w)^{1/2}$$

$$Sc = (l \times w \times h)^{1/3}$$

Dimana Sc = Besar partikel, mm

L = Length, mm

W = Weight, mm

H = Height, mm

Informasi yang tepat mengenai besar partikel sangat dibutuhkan dalam menentukan aplikasi yang tepat untuk mengolah sampah sehingga tidak jarang kita harus mengecek dengan mata untuk memastikan tidak ada kesalahan perhitungan.

d) Kapasitas Tampung

Kapasitas tampung limbah padat adalah total jumlah kandungan air yang dapat ditahan dalam sebuah sample sampah untuk ditarik ke bawah oleh gravitasi (Tchobanoglous, 1993:73). Kapasitas tampung dari sebuah material sampah adalah hal yang sangat penting dalam menentukan formasi *leachate* dalam sebuah tempat pembuangan sampah akhir atau landfill.

Pelimpahan jumlah air yang melebihi kapasitas tampung material sampah dalam sebuah landfill maka akan di keluarkan dalam bentuk *leachate*. Kapasitas tampung sebuah material sangat bervariasi tergantung dari tekanan yang diberikan dan tingkat dekomposisi material sampah tersebut. Kapasitas tampung material sampah yang telah dipadatkan biasanya lebih sedikit dibandingkan sampah yang tidak dipadatkan.

e) Permeability

Pemadatan sampah menggunakan alat kompres hidrolik adalah sebuah alat yang menjadi aset penting untuk memperbesar daya tampung, mengatur pergerakan air dan gas di dalam landfill, koefisien permeability biasanya ditunjukkan sebagai berikut :

$$K = Cd^2 \frac{\gamma}{\mu} = k \frac{\gamma}{\mu}$$

Dimana : K = Koefisien permeability

C = Konstanta akibat bentuk

d = Ukuran pori rata-rata

γ = Berat jenis air

μ = Tingkat kekentalan air (viskositas air)

k = Instrinsik permeability

2.1.5 Karakteristik Kimia

Informasi mengenai komposisi kimia dari komponen yang berada di dalamnya sangat penting untuk mengevaluasi pilihan-pilihan dalam melakukan proses perbaikan dan pengolahan limbah padat atau sampah. Sebagai contoh keefektifan alat pembakar sampah sangat tergantung dari kandungan kimia yang terkandung dari sampah yang ingin dibakar. Secara umum sampah dapat dilihat sebagai kombinasi antara bahan yang dapat terbakar dan bahan yang tidak dapat terbakar. Jika sampah ingin digunakan sebagai bahan bakar, setidaknya ada empat karakteristik penting yang harus diketahui. Antara lain sebagai berikut :

- *Proximate Analysis*
- *Fusing point of ash*
- *Ultimate Analysis (major elements)*
- *Energi Content*

a) *Proximate analysis*

Proximates Analysis untuk bahan-bahan yang dapat terbakar mengikuti test-test sebagai berikut :

- Moisture (banyaknya kehilangan air ketika dipanaskan dalam suhu 105°C selama 1 jam)
- Volatile Combustible Matter (pertambahan kehilangan berat ketika dibakar dalam suhu 950°C di dalam sebuah ruang tertutup)
- Fixed Carbon (sisa carbon akibat pembakaran setelah bahan yang mengambang dipindahkan)
- Ash (Berat dari sisa pembakaran dalam ruangan terbuka)

Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat dalam tabel yang menunjukkan data proximate analysis pada Tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5. Daftar Proximate analysis dan Energi Content dari berbagai jenis sampah

Type of Waste	Proximate Analysis, % berat				Energy Content, Btu/lb		
	Moisture	Volatille Matter	Fixed Carbon	Non Combustible	As Collected	Dry	Dry ash free
Food and food Products							
Fats	2.0	95.3	2.5	0.2	16,135	16,466	16,836
Food wastes (mixed)	70.0	21.4	3.6	5.0	1,797	5,983	7,180
Fruits waste	78.7	16.6	4.0	0.7	1,707	8,013	8,285
Meats Waste	38.8	56.4	1.8	3.1	7,623	12,455	13,120
Paper Products							
Cardboard	5.2	77.5	12.3	5.0	7,042	7,428	7,842
Magazines	4.1	66.4	7.0	22.5	5,254	5,478	7,157
Newsprint	6.0	81.1	11.5	1.4	7,975	8,484	8,612
Paper (mixed)	10.2	75.9	8.4	5.4	6,799	7,571	8,056
Waxed cartons	3.4	90.0	4.5	1.2	11,326	11,724	11,872
Plastics							
Plastics (mixed)	0.2	95.8	2.0	2.0	14,101	14,390	16,024
Polyethylene	0.2	98.5	<0.1	1.2	18,687	18,724	18,952

Universitas Indonesia

Polystyrene	0.2	98.7	0.7	0.5	16,419	16,451	16,430
Polyurethane	0.2	87.1	8.3	4.4	11,204	11,226	11,744
Polyvlyl chloride	0.2	86.9	10.8	2.1	9,755	9,774	9,985
Textile, rubber, leather							
Textile	10.0	66.0	17.5	6.5	7,960	8,844	9,827
Rubber	1.2	83.9	4.9	9.9	10,890	11,022	12,250
Leather	10.0	68.5	12.5	9.0	7,500	8,040	8,982
Wood, trees, etc							
Yard waste	60.0	30.0	9.5	0.5	2,601	6,503	6,585
Wood (green Timber)	50.0	42.3	7.3	0.4	2,100	4,200	4,234
Hardwood	12.0	75.1	12.4	0.5	7,352	8,354	8,402
Wood (mixed)	20.0	68.1	11.3	0.6	6,640	8,316	8,383
Glass, Metals, etc							
Glass and mineral	2.0	-	-	96 - 99+	84	86	60
Metal, tin cans	5.0	-	-	94 - 99+	301	319	317
Metal, ferrous	2.0	-	-	96 - 99+	-	-	-
Metal, nonferrous	2.0	-	-	94 - 99+	-	-	-
Miscellaneous							
Office Sweepings	3.2	20.5	6.3	70.0	3,669	3,791	13,692
Residential MSW							
	21.0	52.0	7.0	20.0	5,000	6,250	8,333
	(15 - 40)	(30 - 60)	(4 - 15)	(10 - 30)			
Commercial MSW							
	15.0	-	-		5,500	6,470	
	(10 - 30)						
MSW							
	20.0	-	-		4,600	5,750	
	(10 - 30)						

note : $Btu \times 1.0551 = kJ$

Sumber : *Integrated Solid Waste Management Book's, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A., 1993*

b) *Fusing point of ash*

Fusing Point of Ash adalah suhu sesaat dimana abu-abu yang terbentuk dari sisa pembakaran mulai membentuk solid atau pengerasan dari penggabungan atau penggumpalan (Tchobanoglous, 1993:77). Biasanya suhu dimana mulai terbentuknya penggumpalan abu dari pembakaran sampah antara 2000 sampai 2200°F (1100 sampai 1200°C)

c) *Ultimate analysis of solid waste component*

The Ultimate Analysis dari komponen sampah biasanya melibatkan penentuan persentase dari C (Carbon), H (Hydrogen), O (Oksigen), N (Nitrogen), S (Sulfur), dan abu.

Hasil dari Ultimate Analysis biasa digunakan untuk menentukan karakter atau sifat komposisi kimia dari bahan organik dalam sampah. Ultimate Analysis juga digunakan untuk menemukan campuran material sampah yang tepat untuk mendapatkan rasio C/N untuk pemrosesan lanjut secara biologis. Data Ultimate analysis dari material-material yang dapat terbakar ditampilkan secara individual dalam Tabel 2.6 berikut :

Tabel 2. 6. Daftar Ultimate Analysis material-material dapat terbakar dalam dry basis

Type of Waste	Percent by weight (dry basis)					
	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfur	Ash
Food and food Products						
Fats	73.0	11.5	14.8	0.4	0.1	0.2
Food wastes (mixed)	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Fruits waste	48.5	6.2	39.5	1.4	0.2	4.2
Meats Waste	59.6	9.4	24.7	1.2	0.2	4.9
Paper Products						
Cardboard	43.0	5.9	44.8	0.3	0.2	5.0
Magazines	32.9	5.0	38.6	0.1	0.1	23.3
Newsprint	49.1	6.1	43.0	<0.1	0.2	1.5
Paper (mixed)	43.4	5.8	44.3	0.3	0.2	6.0
Waxed cartons	59.2	9.3	30.1	0.1	0.1	1.2
Plastics						
Plastics (mixed)	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0
Polyethylene	85.2	14.2	-	<0.1	<0.1	0.4
Polystyrene	87.1	8.4	4.0	0.2	-	0.3
Polyurethane	63.3	6.3	17.6	6.0	<0.1	4.3
Polyvlyl chloride	45.2	5.6	1.6	0.1	0.1	2.0
Textile, rubber, leather						
Textile	48.0	6.4	40.0	2.2	0.2	3.2

Rubber	69.0	8.7	-	-	1.6	20.0
Leather	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Wood, trees, etc						
Yard waste	46.0	6.0	38.0	3.4	0.3	6.3
Wood (green Timber)	50.1	6.4	42.3	0.1	0.1	1.0
Hardwood	49.6	6.1	43.2	0.1	<0.1	0.9
Wood (mixed)	49.5	6.0	42.7	0.2	<0.1	1.5
Wood chips (mixed)	48.1	5.8	45.5	0.1	<0.1	0.4
Glass, Metals, etc						
Glass and mineral	0.5	0.1	0.4	<0.1	-	98.9
Metal (mixed)	4.5	0.6	4.3	<0.1	-	90.5
Miscellaneous						
Office Sweepings	24.3	3.0	4.0	0.5	0.2	68.0
Oils, paints	66.9	9.6	5.2	2.0	-	16.3
Refuse-derived fuel (RDF)	44.7	6.2	38.4	0.7	<0.1	9.9

Sumber : *Integrated Solid Waste Management Book's, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A., 1993*

Data Ultimate analysis dari material-material organik dan non-organik ditampilkan secara individual dalam Tabel 2.7 berikut

Tabel 2. 7. Daftar Ultimate Analysis material-material organik dan non organic dalam dry basis

Component	Percent by weight (dry basis)					
	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfur	Ash
Organic						
Food waste	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Paper	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
Cardboard	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
Plastics	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0
Ttextile	55.0	6.6	31.2	4.6	0.2	2.5
Rubber	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0
Leather	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Yard wastes	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
Wood	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
Inorganic						
Glass	0.5	0.1	0.4	<0.1	-	98.9
Metals	4.5	0.6	4.3	<0.1	-	90.5
Dirt, ash, etc	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

Sumber : *Integrated Solid Waste Management Book's, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A., 1993*

d) *Energy Content*

Kandungan Energi dari komponen organik dalam sampah dapat ditentukan dengan :

- Menggunakan *full scale boiler* sebagai calorimeter
- Menggunakan *laboratory bomb calorimeter*
- Menggunakan perhitungan manual, jika komposisi substrat yang membangunnya diketahui

Data mengenai kandungan energi dan residu dari sampah perumahan dapat dilihat dalam Tabel 2.8, didalam tabel tersebut kandungan energi ditunjukkan dalam bentuk discarded basis. Jadi nilai dalam Btu dapat di konversi ke nilai dalam dry basis dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{Btu}{lb} (dry\ basis) = \frac{Btu}{lb} (as\ discarded) \left(\frac{100}{100 - \%Moisture} \right)$$

Persamaan yang cocok untuk menunjukkan Btu per pound dalam kondisi kering bebas abu (dry ash-free) adalah :

$$\frac{Btu}{lb} (dry\ ash - free\ basis) = \frac{Btu}{lb} (as\ discarded) \left(\frac{100}{100 - \%Moisture - \%ash} \right)$$

Tabel 2.8. Daftar Ultimate Analysis dalam dry basis

Component	Insert residue, percent		Energy, Btu/lb	
	Range	Typical	Range	Typical
Organic				
Food waste	2 - 8	5.0	1,500 - 3,000	2,000
Paper	4 - 8	6.0	5,000 - 8,000	7,200
Cardboard	3 - 6	5.0	6,000 - 7,500	7,000
Plastics	6 - 20	10.0	12,000 - 16,000	14,000
Ttextile	2 - 4	2.5	6,500 - 8,000	7,500

Rubber	8 - 20	10.0	9,000 - 12,000	10,000
Leather	8 - 20	10.0	6,500 - 8,500	7,500
Yard wastes	2 - 6	4.5	1,000 - 8,000	2,800
Wood	0.6 - 2	1.5	7,500 - 8,500	8,000
Misc. Organics	-	-	-	-
Inorganic				
Glass	96 - 99+	98.0	50 - 100	60
Tin Cans	96 - 99+	98.0	100 - 500	300
Aluminium	90 - 99+	96.0	-	-
Other metal	94 - 99+	98.0	100 - 500	300
Dirt, ash, etc	60 - 80	70.0	1,000 - 5,000	3,000
Municipal Solid waste			4,000 - 6,000	5,000

Note : Btu/lb x 2.326 = KJ/kg

Sumber : *Integrated Solid Waste Management Book's, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A., 1993*

2.1.6 Karakteristik Biologis

Selain plastik, karet, dan bahan kulit, sebagian besar sampah organik dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- *Water-soluble constituen*, seperti gula, asam amino dan bermacam asam organik
- *Hemicellulose*, hasil kondensasi dari lima dan enam gula karbon
- *Cellulose*, sebuah hasil kondensasi dari enam karbon sugar glucose
- Lemak, oli, dan lilin, yang adalah dari ester dari alkohol dan rantai panjang lemak asam.
- Lignin, material polimer mengandung lingkaran aromatik dengan grup methoxyl (-OCH₃), bahan kimia alam yang masih belum diketahui
- *Lignocellulose*, sebuah kombinasi dari lignin dan cellulose
- Protein, yang tersusun dai rantai asam amino.

Karakter biologis yang paling penting dari bahan organik yang terdapat dalam sampah perkotaan adalah hampir seluruh bahan organik dapat di ubah bentuknya melalui proses biologi menjadi gas, dan bahan organic sisa (Tchobanoglous, 1993:87). Menghasilkan bau dan lalat juga berkaitan dengan proses ini.

Universitas Indonesia

a) Kemampuan terdegradasi

Volatile solids (VS) contents yang ditentukan dengan membakar bahan organik pada suhu 550°C biasa digunakan sebagai ukuran dari kemampuan suatu bahan organik dalam sampah perkotaan terdegradasi. Tapi ada juga bahan organik yang memiliki *volatile contents* yang sangat tinggi tapi memiliki kemampuan terdegradasi yang rendah, maka kandungan lignin yang digunakan untuk memperkirakan kemampuan terdegradasi dengan menggunakan hubungan berikut ini :

$$BF = 0.83 - 0.028 LC$$

Dimana :

BF = biodegradable fraction yang ditunjukkan berdasarkan volatile content

0.83 = konstanta empiris

0.028 = konstanta empiris

LC = kandungan lignin yang ditunjukkan sebagai persen dari berat kering

Kemampuan beberapa bahan organik terdegradasi ditunjukkan dalam Tabel 2.9 berikut :

Tabel 2. 9. Daftar kemampuan material organik terdegradasi/urai

Component	Volatile Solids (VS) percent of total solids (TS)	Lignin content (LC) percent of VS	Biodegradeable fraction (BF)
Food Waste	7 - 15	0.4	0.82
Paper			
Newsprint	94	21.9	0.22
Office paper	96.4	0.4	0.82
Cardboard	94	12.9	0.47
Yard waste	50 - 90	4.1	0.72

Sumber : Integrated Solid Waste Management Book's, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A., 1993

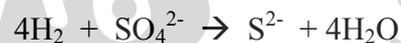
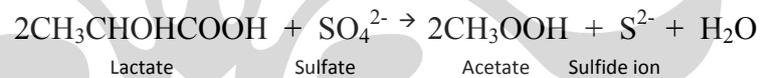
Seperti diperlihatkan dalam tabel bahwa bahan organik yang memiliki kandungan lignin yang besar seperti kertas koran

Universitas Indonesia

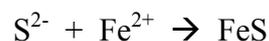
memiliki kemampuan terdegradasi yang sangat sedikit dibandingkan dengan bahan organik lain didalam sampah perkotaan

b) Kemampuan menghasilkan bau

Bau dapat tercipta ketika sampah padat disimpan dalam waktu yang lama di tempat pengumpulan atau tempat penampungan, dan tempat pembuangan akhir. Terciptanya bau akan sangat terasa ketika kondisi iklimnya berada pada kondisi yang hangat. Biasanya bau yang tercipta ini berasal dari proses dekomposisi anaerob bahan-bahan organik yang siap terdekomposisi dari sampah perkotaan. Sebagai contoh, di bawah kondisi anaerob, sulfat dapat tereduksi menjadi sulfide (S^{2-}), yang mau tidak mau akan bergabung dengan hidrogen membentuk H_2S . formasi atau susunan terbentuknya H_2S dapat di gambarkan dalam reaksi berikut ini :



Ion sulfat dapat juga bergabung dengan garam besi yang mungkin terdapat dalam sampah seperti besi untuk menjadi metal sulfide



Sampah yang berwarna hitam yang telah terproses dalam anaerob dekomposting di tempat pembuangan akhir sampah biasanya yang paling utama dalam terbentuknya metal sulfat. Jika bukan karena terbentuknya bermacam-macam sulfat, masalah bau di tempat penampungan akan berkurang dengan sangat mencolok.

Universitas Indonesia

Reduksi bahan biokimia dari gabungan bahan organik yang mengandung radikal sulfur dapat mengarah pada pembentukan gabungan malodorous seperti methyl mercaptan dan aminobutyric acid. Sebagai contoh adalah reduksi dari methionine, asam amino.



Methyl mercaptan dapat di hidrolisis secara biokimia menjadi methyl alcohol dan hidrogen sulfat:



c) Pengembangbiakan lalat

Dalam musim panas dan sepanjang musim yang hangat, pembiakan lalat adalah salah satu hal penting yang patut diperhitungkan di tempat penyimpanan sampah. Lalat dapat terbentuk dalam waktu kurang dari dua minggu setelah terlurnya di keluarkan. Siklus hidup lalat dari semenjak di telurkan sampai menjadi lalat dewasa dapat ditunjukkan dalam data berikut :

1. Telur di kembangkan	8-12 jam
2. Menjadi larva tahap pertama	20 jam
3. Manjadi larva tahap kedua	24 jam
4. Menjadi larva tahap ketiga	3 hari
5. Tahap pupal	4 – 5 hari
TOTAL	<hr/> 9 – 11 hari

2.2 PROSES PENGOLAHAN SAMPAH

2.2.1 Proses Secara Fisis

Untuk mengolah sampah secara fisik dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :

a) Pemisahan atau pengelompokan komponen sampah

Sampah diidentifikasi komponen-komponen utama yang terdapat di dalamnya lalu di kelompokkan baik secara manual ataupun mekanikal berdasarkan kesamaan karakter dan jenis, misalnya bahan organik bersama dengan bahan organik, kertas, besi, plastik, dan lain-lain. Disesuaikan dengan tindakan pengolahan yang akan dilakukan, hal ini sangat perlu dilakukan karena dapat menyeleksi kembali barang yang mungkin dapat digunakan kembali ataupun dapat di *recycle*, lalu yang tidak dapat di *recycle* mungkin dapat di bakar atau di *incinerator*.

b) Mengurangi volume secara mekanik

Dapat juga disebut dengan *densification*, biasanya digunakan untuk memperkecil volume sampah yang ada dengan menambahkan tekanan pada sampah. Sampah yang memiliki volume besar namun terdapat banyak udara di dalamnya dipadatkan dengan alat secara mekanis agar volumenya menjadi lebih kecil sehingga ruang yang digunakan untuk mengangkut menjadi lebih sedikit.

c) Mengurangi ukuran secara mekanik

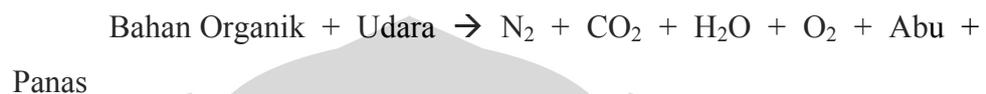
Perlakuan ini terhadap sampah biasanya digunakan untuk sampah yang memiliki ukuran material besar sehingga menyulitkan untuk dibawa. Sampah dipotong, digiling ataupun ditumbuk agar ukurannya menjadi lebih kecil, namun dapat terjadi juga volume sampah setelah dipotong menjadi lebih besar dari sebelumnya. Hal ini tidak masalah karena tindakan ini lebih di orientasikan untuk mengurangi ukuran dari material sampah.

2.2.2 Proses Secara Kimiawi

Pengubahan bentuk secara kimia biasanya lebih melibatkan perubahan fase benda, seperti dari padat ke gas, padat ke cair, dan sebagainya). Biasanya prinsip perubahan sampah menggunakan proses kimia menggunakan cara-cara berikut :

a) *Combustion* (Oksidasi Kimia)

Dapat diartikan sebagai reaksi kimia antara oksigen dengan bahan organik, atau lebih mudahnya dikatakan dengan di bakar. Reaksi ini menghasilkan padatan teroksidasi ditemani dengan pelepasan cahaya dan menghasilkan panas. Di dalam kondisi banyak udara dan kondisi ideal pembakaran dapat di tuliskan dalam persamaan kimia seperti berikut :



Bahan kimia akhir sebagai hasil dari proses kimia yang terjadi dapat bermacam-macam, sangat tergantung dari unsur yang terdapat dari jenis bahan organik yang diproses. Terkadang juga terdapat ammonia (NH_3), sulfur dioxide (SO_2), nitrogen oxide (NO_x).

b) *Pyrolysis*

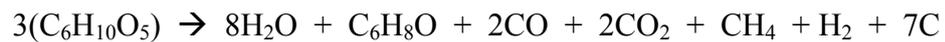
Bahan-bahan organik yang terdapat di alam memiliki karakteristik yang berbeda-beda, salah satunya adalah perbedaan dalam titik didih, leleh, beku, dan sebagainya. Jadi dengan menggunakan perbedaan karakter ini kita dapat memisahkan antara satu bahan organik dengan bahan organik yang lainnya dalam kesatuan sifat seperti gas, cair, dan padat. Pyrolysis adalah sebutan untuk proses ini. Dan *Destructive Distillation* biasa digunakan sebagai alternatif untuk melakukan *pyrolysis*.

Hasil yang dihasilkan dari proses *pyrolysis* ini ada tiga komponen, yaitu :

- Dalam bentuk gas yang terdiri dari sebagian besar hidrogen (H_2), methane (CH_4), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO_2). Hasil gas yang di hasilkan sangat bergantung dari bahan organik yang di *pyrolysis*.
- Dalam bentuk cairan atau minyak, biasanya sebagian besar mengandung *acetic acid*, *acetone*, dan *methanol*.

- Dalam bentuk padatan, terbentuk dari murni karbon ditambah beberapa bahan padat tambahan yang mungkin masuk ke dalam proses.

Bila digambarkan dalam reaksi kimia maka *pyrolysis* reaksi akan terlihat sebagai berikut :



Cairan atau minyak biasanya di tunjukkan dalam $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}$ dan H_2O

c) *Gasification*

Proses gasifikasi melibatkan pembakaran sebagian dari bahan bakar karbon sehingga menghasilkan gas siap bakar yang kaya dengan karbon monoksida, hidrogen, dan beberapa hidrokarbon yang tersaturasi, dan yang paling penting adalah terbentuknya gas metan.

2.2.3 Proses Secara Biologis

Pengolahan atau perubahan bentuk secara biologi dapat dilakukan untuk mengurangi volume atau berat dari bahan organik, tapi yang menjadi tujuan utama dalam pemrosesan secara biologi adalah hasil akhirnya yang berupa pupuk ataupun gas yang dapat juga kita sebut dengan sebutan *biogas*.

Pada tulisan ilmiah ini penelitian akan lebih ditekankan pada *Biogas* yang dihasilkan dari pemrosesan bahan organik melalui proses biologi anaerob, atau biasa disebut juga dengan *Anaerobic Digestion*.

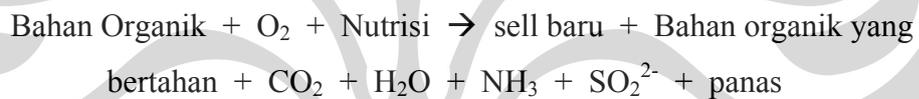
Pemrosesan bahan organik ini secara biologi melibatkan organisme dasar berupa mikroba seperti bakteri, jamur, ragi, dan *actinomycetes*. Dan proses secara biologi ini dapat berlangsung dalam dua cara, yaitu dengan menggunakan udara (*Aerobic*) maupun tidak menggunakan udara (*Anaerobic*).

a) Aerobic Composting

Bila dibiarkan, bahan organik akan melakukan proses dekomposisi dengan sendirinya. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk terdekomposisi sangat bervariasi tergantung dari beberapa hal, seperti kadar air yang dikandung, nutrisi yang dikandung oleh bahan organik tersebut, dan beberapa faktor lingkungan.

Dan dalam kondisi yang terkontrol, maka sampah pekarangan dan bahan organik dari sampah dapat kita ubah menjadi bahan residu organik stabil yang biasa kita sebut dengan kompos. Prosesnya dapat berlangsung dalam waktu kurang lebih empat sampai enam minggu.

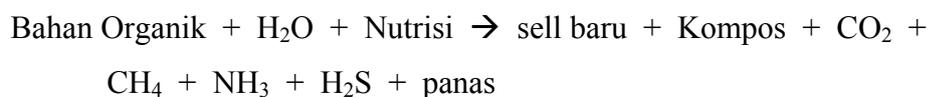
Pengkomposan sampah pekarangan dan bahan-bahan organik lain dapat terjadi dalam kondisi banyak udara dan dapat ditunjukkan dalam persamaan berikut :



Hasil akhir yang mendasar adalah terciptanya sell baru, bahan organik yang berhasil bertahan, karbon dioksida, air, amonia, dan sulfat. Kompos adalah bahan organik yang berhasil bertahan dari proses tersebut, biasanya kompos terdiri dari lignin yang susah terurai dalam waktu singkat sebagai persentase terbesarnya.

b) Anaerobic Digestion

Bahan organik yang dapat terurai dapat diubah bentuk secara biologi dalam kondisi tanpa udara menjadi gas yang mengandung karbon dioksida dan metan (CH_4). Perubahan ini dapat ditunjukkan dalam persamaan kimia sebagai berikut :



Hasil akhir yang dihasilkan dari proses ini adalah karbon dioksida, metan, ammonia, hidrogen sulfide. Dalam sebagian besar proses anaerobic yang dilakukan, didapatkan bahwa karbon dioksida dan gas metan adalah 99% dari total gas yang diproduksi.

2.3 TEKNOLOGI ANAEROBIK DIGESTION

Anaerobik Digestion adalah proses dekomposisi tanpa melibatkan oksigen. Hasil utama yang di hasilkan adalah berupa gas metan dan karbon dioksida. Proses ini menghasilkan bau yang lebih menyengat dibandingkan dengan proses aerobik sehingga kurang diminati di masyarakat. Namun bila pada proses aerobik di hasilkan panas pada timbunan kompos maka pada proses ini dihasilkan gas metan yang sangat bermanfaat dan mampu menjadi solusi dalam menjawab permasalahan krisis energi yang sedang berlangsung saat ini.

Reaksi kimia yang berlangsung pada proses ini adalah :



Kelemahan dari proses ini adalah kompos yang di hasilkan masih perlu di proses lebih lanjut karena masih bersifat basah, sehingga perlu di keringkan. Selain itu pengolahan dengan metode ini relatif lebih mahal karena harus membuat sebuah reaktor tertutup terlebih dahulu agar memastikan tidak adanya oksigen yang terlibat.

Komposisi biogas sangat ditentukan oleh komposisi jenis sampah kota dan sedikit dipengaruhi oleh tipe reaktor serta tipe proses (Sudrajat, 2006:42). Komposisi dan nilai kalor biogas adalah sebagai berikut :

CH₄ : 50-85%

CO₂ : 15-50%

H₂S : < 1%

Nilai kalor : 20-25 MJ/m³ (47.000-8000 kkal/m³) atau kira-kira sama dengan kalor biogas

Bila biogas akan di produksi atau akan digunakan untuk kebutuhan energi maka biogas harus dibersihkan dari gas karbon dioksida dan dari H₂S terlebih dahulu, karena keberadaan CO₂ akan menimbulkan endapan karbon, dan H₂S akan mengakibatkan karat pada besi.

2.3.1 Prinsip Proses

Pada dasarnya bahan-bahan organik yang berada di alam yang di biarkan begitu saja akan terdekomposisi dengan sendirinya. Bila pada saat terdekomposisi itu oksigen menipis maka proses dekomposisi atau penguraian itu akan beralih menjadi proses anaerobic digestion atau anaerobic composting, sebagai contoh adalah produksi metan pada dasar danau atau sungai, tumpukan sampah yang rapat, dan juga perut binatang. Proses penguraian anaerobik ini memiliki faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan dan volume gas yang dihasilkan, bila kita mengubah-ubah faktor-faktor tersebut dan membuat kondisinya semakin ideal, maka proses terbentuknya biogas dapat dipercepat dan volumenya dapat diperbesar.

Proses penguraian anaerobik berlangsung dalam 4 tahap sebagai berikut :

- a) *Proses hidrolisa*, yaitu dekomposisi bahan organik polimer menjadi bahan organik monomer yang mudah larut dilakukan oleh sekelompok bakteri fakultatif. Pada proses hidrolisa, lemak diuraikan oleh enzim lipase yang diproduksi oleh *lipolytic bacteria*. Sementara karbohidrat diuraikan oleh enzim selulase yang diproduksi oleh *cellulotic bacteria*, dan protein diuraikan oleh enzim protease yang diproduksi oleh *proteolytic bacteria*, menjadi monomer yang mudah larut. Pada proses hidrolisa ini dihasilkan pula asam amino, *volatile acid*, gliserol, dan lain-lain.
- b) *Proses acidogenesis*, yaitu dekomposisi monomer organik menjadi asam-asam organik (asam lemak) dan alkohol. Pada proses

acidogenesis, monomer organik diuraikan lebih lanjut *acidogenic bacteria* menjadi asam-asam organik seperti asam format, serar, butirrat, propionat, valeriat, serta dihasilkan juga CO₂, H₂, dan methanol.

- c) *Proses Acetogenesis*, yaitu perubahan asam organik dan alkohol menjadi asam asetat. Pada proses ini senyawa asam organik dan metanol diuraikan *acetogenic bacteria* menjadi asam format, asetat, metanol, CO₂, H₂.
- d) *Proses Metanogenesis*, yaitu perubahan dari asam asetat menjadi metan. Pada proses ini asam asetat diuraikan oleh *metanogenic bacteria* menjadi CH₄, CO₂, dan H₂O. pembentukan metan sebagian besar (70%) berasal dari asam asetat, sisanya dari asam format, CO₂, dan H₂.

2.3.2 Faktor yang Berpengaruh

Untuk dapat memproses sampah organik dengan proses anaerobik digestion dengan baik, dan agar dapat menghasilkan biogas dengan cepat dan banyak, maka kita harus mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi produktivitas serta kualitas biogas yang dihasilkan. Menurut Sudrajat (2007:44) faktor-faktor tersebut adalah :

a) Jenis dan Komposisi bahan

Pada proses penguraian anaerobik, bahan baku bisa berbagai macam, namun yang ideal adalah yang mudah terdegradasi dan sebisa mungkin diusahakan jenis bahan baku tidak begitu bervariasi untuk menghindarkan *shock* bagi mikroba.

Kriteria penting untuk menilai kelayakan bahan baku pada penguraian anaerobik adalah nilai perbandingan C/N/P. perbandingan yang ideal adalah 150 : 5 : 1 (Sudrajat, 2006:44). Karbon diperlukan oleh bakteri untuk tenaga, sedangkan nitrogen

membangun protein sel. Kebutuhan P berkaitan dengan suplai N dan jarang menimbulkan masalah dalam anaerobik. Bila perbandingan dari substrat kurang bagus maka perlu dicampur dengan bahan lain sehingga perbandingan C/N/P mendekati nilai ideal yaitu 150 : 5 : 1. Sedangkan menurut Dipo Yuwono : 2005 pada proses anaerobik untuk pempuatan kompos yang optimal dibutuhkan ratio C:N 25:1 hingga 30:1

Menurut Sri Wahyuni:2008, apabila rasio C:N sangat tinggi, nitrogen akan dikonsumsi sangat cepat oleh bakteri metan sampai batas persyaratan protein dan tak lama bereaksi kearah kiri pada kandungan karbon pada bahan. Sebagai akibatnya, produksi metan akan menjadi rendah. Sebaliknya apabila rasio C:N sangat rendah, nitrogen akan bebas berakumulasi dalam bentuk amoniak (NH_4). NH_4 akan meningkatkan derajat pH bahan dalam digester. pH lebih tinggi dari 8,5 akan mulai menunjukkan akibat racun pada populasi bakteri metan.

Perhitungan nilai C/N/P ini dapat didasarkan menggunakan perhitungan berat ataupun perhitungan volume bahan organik yang akan digunakan.

b) Padatan tak stabil

Menurut Sri Wahyuni:2008, potensi produksi biogas dari bahan-bahan organik dapat dikalkulasi berdasarkan kandungan padatan tak stabil. Semakin tinggi kandungan padatan tak stabil dalam satu unit volume dari kotoran sapi segar akan menghasilkan produksi gas yang lebih banyak. Padatan tak stabil didefinisikan sebagai berat padatan yang terbakar habis pada suhu 538°C .

c) Suhu

Pada penguraian anaerobik, proses dapat berlangsung bahkan dalam variasi suhu yang ekstrem yaitu antara $5-75^\circ\text{C}$. aktivitas

mikrobanya meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Namun umumnya bakteri aktif pada suhu mesofilik, yaitu pada suhu 30-35°C. sebagian lagi aktif pada selang suhu termofilik, yaitu antara 50-55°C. Namun, *methanogenic bacteria* yang bekerja pada suhu termofilik hanya sedikit. *Methanogenic bacteria* dalam keadaan tidak aktif pada kondisi ekstrem tinggi maupun rendah. Suhu optimum adalah 35°C. ketika suhu turun hingga 10°C produksi gas menjadi berhenti. Produksi gas sangat bagus yaitu pada kisaran mesofilik 30-35°C.

d) Kadar air

Proses anaerobik digestion membutuhkan kadar air yang tinggi, yaitu 50% keatas. Kadar air yang banyak pada proses anaerobik dibutuhkan bakteri untuk membentuk senyawa-senyawa gas dan beraneka macam asam organik sehingga proses terjadi lebih cepat. Secara fisik, kadar air juga akan memudahkan proses penghancuran bahan organik dan mengurangi bau. Kadar air yang tinggi juga akan memudahkan bakteri untuk bergerak dan melingkupi hampir seluruh permukaan bahan organik.

e) Derajat Keasaman (pH)

Terdapat perbedaan pH yang mencolok antara *acidogenic bacteria* dengan *metanogenic bacteria*. *Acidogenic bacteria* membutuhkan pH antara 4,5-7 dan bekerja optimum pada pH 6-7. Sementara itu, *methanogenic bacteria* bekerja pada kisaran pH 6,2-7,8 dan bekerja optimum pada kisaran pH yang sangat sempit antara 7,0-7,2 (Sudrajat:2006). Sedangkan menurut Sri Wahyuni : 2005 produksi biogas secara optimum dapat dicapai bila nilai pH dari campuran input di dalam digetset berada pada kisaran 6 dan 7. Derajat keasaman (pH) juga merupakan fungsi waktu di dalam digetser tersebut.pada tahap awal proses fermentasi, asam organik dalam jumlah besar diproduksi oleh bakteri pembentuk asam, pH

Universitas Indonesia

dalam digester dapat mencapai di bawah 5. Kejadian ini cenderung menghentikn proses fermentasi. Bakteri-bakteri methanogenic sangat peka terhadap pH dan tidak bertahan hidup di bawah pH 6.6. kemudian proses pencernaan berlangsung, konsentrasi NH_4 bertambah, pencernaan nitrogen dapat meningkatkan nilai pH di atas 8. Ketika produksi metana dalam keadaan stabil, kisaran nilai pH adalah 7,2—8,2.

Banyak kegagalan penguraian terjadi karena proses hidrolisa dan acidogenesis menghasilkan asam-asam organik yang cukup banyak, sedangkan kemampuan *methanogenic bacteria* dalam mengkonversi asam organik tersebut sangat lambat sehingga pH menjadi rendah (asam). Rendahnya pH ini menyebabkan *methanogenic bacteria* menjadi kurang aktif, sedangkan *organic acid* terus menerus diproduksi dan akhirnya produksi biogas atau anaerobik digestion berakhir sebelum waktunya.

f) Toksisitas

Ion mineral, logam berat, dan deterjen adalah beberapa material racun yang mempengaruhi pertumbuhan normal bakteri patogen di dalam digester. Ion mineral dalam jumlah kecil (sodium, potasium, kalsium, amonium dan belerang) juga merangsang pertumbuhan bakteri. Namun, bila ion-ion ini dalam konsentrasi yang tinggi akan berakibat meracuni. Sebagai contoh, NH_4 pada konsentrasi 50 hingga 200 mg/liter dapat merangsang pertumbuhan mikroba, namun, bila konsentrasinya diatas 1500 mg/liter akan mengakibatkan keracunan.

Logam berat seperti Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Hg, Mo, Ti, Zn, dan Se, sebagian akan terseleksi sebelum masuk ke dalam reaktor, sebagian lagi akan mengendap dalam sel mikroba dan potensial membahayakan lingkungan.

Ion alkali seperti Na, K, Mg, Ca juga akan menghambat proses anaerobik, kecuali pada tahapan proses methanogenesis. Yang lebih berbahaya adalah bahan kimia organik seperti klor yang terikat pada serat, keberadaan ion *cyanide*, dan keberadaan ion sulfat. Ion sulfat akan menyebabkan bakteri pengonsumsi sulfat akan mengalahkan dominasi *methanogenic bacteria* pada akhir proses anaerobic digestion.

Tabel 2.10 . Beberapa ambang batas racun sebagai zat penghambat proses Anaerobik Digestion

Zat Penghambat	Konsentrasi
Sulfat (SO_4^{-2})	5,000 ppm
Sodium Klorida atau garam (NaCl)	40,000 ppm
Tembaga (Cu^{+2})	0,05 mg/liter
Khrom (Cr^{+3})	100 mg/liter
Nikel (Ni^{+3})	200 mg/liter
Sodium (Na^+)	200 - 500 mg/liter
Potasium (K^+)	3,500 - 5,000 mg/liter
Kalsium (Ca^{+2})	2,500 - 4,500 mg/liter
Magnesium (Mg^{+2})	1,000 - 1,500 mg/liter
Mangan (Mn^{+2})	diatas 1,500 mg/liter

Sumber : Biogas book, 2008

2.3.3 Jenis Proses

Ada 3 jenis proses yang dikenal pada proses anaerobik digestion, yaitu proses konvensional (*conventional digestion*), dan proses 2 tahap (*two-phase digestion*), dan proses kering (*dry anaerobic digestion*).

- a. Proses konvensional
- b. Proses 2 tahap
- c. Proses kering

2.4 SAMPAH PEKARANGAN DAN SAMPAH DAPUR

Berdasarkan teori yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa sampah pekarangan atau pertanian tersusun dari 95% sampah organik dari daun-daunan.

Di lingkungan universitas Indonesia teori ini sangat cocok karena memang sebagian besar lingkungan Universitas Indonesia masih terdapat banyak sekali pohon-pohon yang rindang baik sebagai hiasan pembatas jalan atau marka maupun sebagai hutan yang terdapat di pinggir jalan-jalan utama. Sedangkan sampah dapur di lingkungan Universitas Indonesia yang berasal dari limbah kantin sebagian besar tersusun dari sisa makanan seperti nasi, sisa sayur, tulang-belulang, dan lain-lain tidak memiliki nilai persentase sampah organik yang jelas karena sangat berbeda tiap tempat.

Dalam terbentuknya biogas dalam proses anaerob digestion ini ada beberapa hal yang mempengaruhi prosesnya, baik secara volume maupun kecepatan, salah satunya adalah jenis dan komposisi sampah organik yang langsung mempengaruhi konfigurasi C/N/P.

Walaupun Anaerobik Digestion dapat memproses sampah pekarangan menjadi biogas, namun semakin banyak komposisi sampah pekarangan akan mengurangi produksi biogas yang terbentuk, karena zat lignin yang banyak terdapat dalam material kayu tidak dapat terurai tanpa ada oksigen, berdasarkan Sri Wahyuni : 2008, setiap 1 kg jerami padi yang termasuk sampah sisa pertanian yang tidak jauh berbeda dengan sampah pekarangan mampu menghasilkan 0,2-0,38 m³ biogas

Sedangkan sampah dapur yang tersusun dari sisa-sisa makanan seperti nasi, sayur, tulang-belulang, dan lain-lain, tidak memiliki patokan nilai C/N/P yang pasti karena sangat berbeda-beda komposisinya. Berdasarkan Sri Wahyuni : 2008, dari 5 ton sampah organik yang dicampur air dengan perbandingan 1:1 maka setiap hari dapat menghasilkan 0,9-1,8 m³ biogas, dan menghasilkan sekitar 2 ton pupuk organik padat.

Berikut adalah tabel perbandingan rasio C/N dalam beberapa bahan organik:

Tabel 2.11. Daftar rasio C/N dalam beberapa bahan organik

Nama Bahan Organik	Rasio C/N
Urin	0.8 : 1
Darah	3 : 1
Buangan Potongan Hewan	2 : 1
Tinja	6 : 1 hingga 10 : 1
Lumpur aktif	6 : 1
Sampah sayur-sayuran	12 : 1 hingga 20 : 1
Sampah dapur campur	15 : 1
Pupuk Hijau	14 : 1
Ganggang laut	19 : 1
Kulit Kentang	25 : 1
Jerami gandum	40 : 1 hingga 125 : 1
Jerami Padi	50 : 1 hingga 70 : 1
Jerami jagung	100 : 1
serbuk gergaji	500 : 1
Kertas koran	50 : 1 hingga 200 : 1
Kayu	200 : 1 hingga 400 : 1
Kertas	150 : 1 hingga 200 : 1
Daun-daunan (segar)	10 : 1 hingga 40 : 1
Daun-daunan (kering)	50 : 1 hingga 60 : 1
Daun dadap muda	11 : 1
Daun tephrosia	11 : 1
Kulit kopi	15 : 1 hingga 20 : 1
Batang pohon pangkasan,cabang	15 : 1 hingga 60 : 1
Pangkasan teh	15 : 1 hingga 17 : 1
Bungkil biji kapuk	10 : 1 hingga 12 : 1
Bungkil kacang tanah	7 : 1
Kotoran sapi	20 : 1
Kotoran ayam	10 : 1
Kotoran kuda	25 : 1
Cemara, buah/jarum	60 : 1 hingga 110 : 1
Kopi bubuk endapan	20 : 1
Apel, buah	21 : 1
Kulit kayu	100 : 1 hingga 130 : 1
Sampah buar-buahan	35 : 1
Rumput-rumputan potongan/liar (segar)	12 : 1 hingga 25 : 1
Jagung, bonggol	60 : 1
Kacang-kacangan	15 : 1

Sumber : Buku Kompos, Penebar Swadaya, 2005

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini berupa penelitian experimental untuk mendapatkan identifikasi awal terbentuknya gas pada dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur.

3.1. TAHAPAN PENELITIAN

Sebelum melaksanakan Penelitian ada beberapa hal yang terlebih dahulu harus di persiapkan, baik hal-hal teknis dan non teknis. Hal ini diperlukan agar penelitian dapat berjalan dengan lancar dan sistematis.

3.1.1. Menyiapkan Bahan Baku Penelitian

Bahan baku yang akan kita gunakan serta pembatasannya adalah sebagai berikut :

a. Sampah Pekarangan

Sampah yang digunakan sebagai bahan baku adalah sampah yang didapatkan dari sampah daun yang berguguran di sekitar lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Sampah daun yang terdapat di fakultas teknik Universitas Indonesia secara umum memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Sampah daun sebagian besar berasal dari pohon dikotil
- Sampah diambil pada sore hari sekitar pukul 17.00
- Sampah daun yang dimaksud adalah sampah yang masih basah atau masih berwarna hijau (masih segar/baru dipotong).

b. Sampah Dapur

Sampah dapur yang digunakan disini adalah sampah yang diambil dari sisa-sisa pengolahan makanan di kantin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Sampah dapur yang digunakan dispesifikkan dengan batasan sebagai berikut :

- Sampah dapur diambil pada sore hari
- Sampah berasal dari sisa-sisa makanan dan sisa-sisa olahan makanan di kantin Teknik Universitas Indonesia
- Sampah yang diambil adalah sampah yang dibuang sejak pagi hari, di hari yang sama dengan hari pengumpulan.

c. Bakteri yang digunakan

Bakteri yang digunakan adalah bakteri EM4. Fungsinya adalah sebagai pupuk dasar atau pupuk tambahan untuk meningkatkan produksi tanaman. Cara membuat larutan bakteri EM4 yang diinginkan adalah dengan melarutkan Bakteri EM4 ke dalam air bersih. Untuk satu liter air bersih dibutuhkan bakteri sebanyak satu tutup botol kemasan bakteri tersebut (kurang lebih 10 ml)

3.1.2. Menyiapkan Peralatan yang Dibutuhkan

Dalam melakukan penelitian experimental ini dibutuhkan alat alat yang menunjang penelitian, beberapa telah tersedia dan beberapa alat harus dibuat sendiri, alat-alat tersebut antara lain :

a. Alat penampung material organic semi kedap udara

Alat yang digunakan sebagai reaktor adalah plastic transparan dan flexible yang berukuran volume 2 kg atau 2 liter. Plastic flexible digunakan karena mudah untuk di bentuk sehingga memungkinkan untuk membuat reactor yang kedap udara. Namun

Universitas Indonesia

sifat plastic flexible ini dapat meloloskan udara dalam jumlah kecil, hal ini dapat terlihat apabila kita meniup plastic hingga penuh lalu kita diamkan selama 1 hari saja, akan terlihat penurunan volume udara didalamnya. Ini berarti plastic flexible dapat meloloskan udara dalam jumlah kecil, sehingga cocok dengan kondisi yang diinginkan yaitu kondisi fakultatif.

b. Alat pengukur pertambahan volume gas

Alat yang digunakan dalam mengukur pertambahan gas adalah alat ukur sederhana yang dapat dibuat sendiri. Alat tersebut terdiri dari bagian-bagian berikut :

- Tabung penampung gas

Tabung ini berupa tabung transparan yang berbentuk silinder memanjang, dipasang pada bangunan penopang dengan posisi kepala tempat keluar masuk udara di bawah, jumlahnya adalah sebanyak jumlah sample dan harus memiliki ukuran yang sama. Dapat digunakan botol bekas syrup dengan merk yang sama. Dalam penelitian ini direncanakan menggunakan botol 'syrup marjan' dengan volume kurang lebih 0,8 liter.

- Selang penyalur gas

Untuk menyalurkan gas dari reactor menuju ke tabung penampung gas kita dapat menggunakan selang 0,5 inch, salah satu ujungnya dimasukkan kedalam reactor dan kemudian diikat rapat, ujung lainnya dimasukkan ke dalam tabung pengumpul gas yang telah terisi penuh dengan air, panjangnya kurang lebih 1 meter untuk setiap satu sample.

- Penampung limpasan air

Untuk menampung limpasan air yang terbuang setiap masuknya gas ke dalam tabung pengumpul dan juga untuk menahan udara tidak masuk ke dalam tabung pengumpul gas kita dapat menggunakan potongan talang air yang diletakkan di bawah tabung pengumpul dengan kondisi terisi air hingga kepala tabung pengumpul dalam kondisi tercelup sebagian.

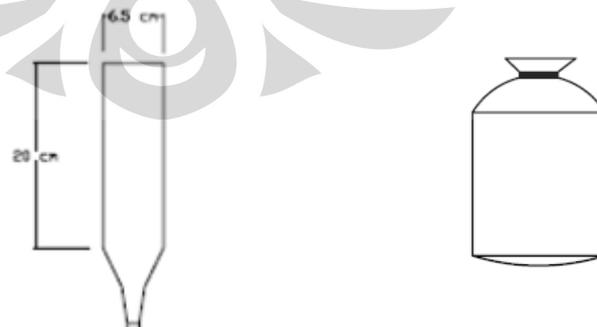
- Struktur penopang

Dapat digunakan papan yang dibentuk sedemikian rupa sehingga mampu menopang tabung pengumpul gas secara tegak dan kokoh.

- Penggaris 40cm

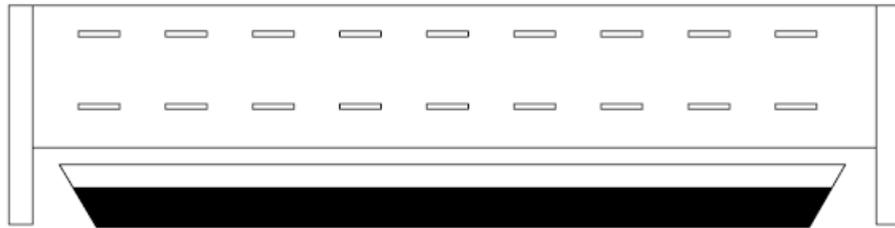
Untuk mengukur pertambahan volume gas hanya perlu mengukur panjang penurunan permukaan air di dalam tabung pengumpul yang pasti akan turun seiring dengan umlah udara yang masuk. Pengukuran ini cukup dilakukan menggunakan penggaris biasa dengan panjang 40cm.

Gambar 3.1. Bagian-bagian Alat Pengukur Volume Gas



Tabung pengumpul gas

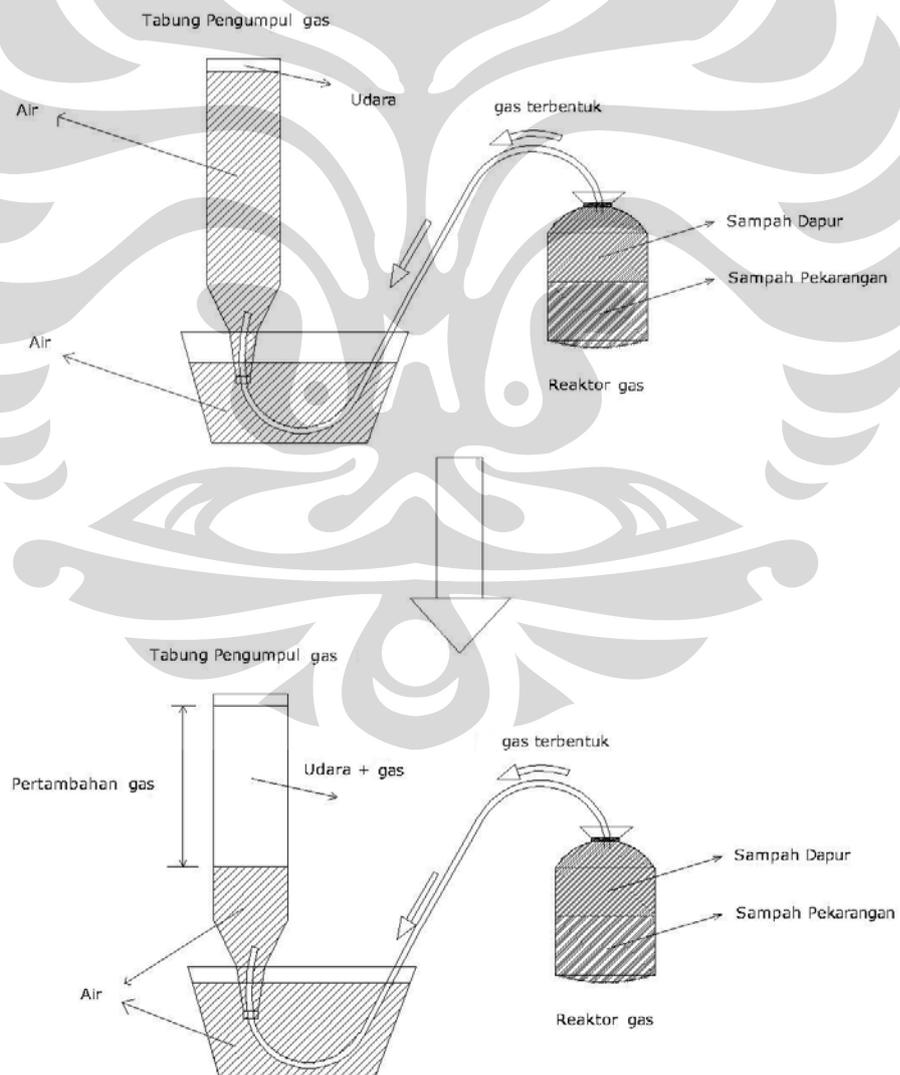
Reaktor dekomposisi fakultatif



Struktur Penopang dan Pelimpas air

Cara kerjanya dapat diilustrasikan sebagai berikut :

Gambar 3.2. Ilustrasi cara kerja alat pengukur pertambahan gas



Universitas Indonesia

c. Alat pencacah sampah organik

Sampah yang digunakan akan di cacah terlebih dahulu untuk memperkecil ukuran sampah dapur dan sampah pekarangan, agar ukuran sampah dapat homogen satu sample dengan sample yang lainnya. Alat yang digunakan adalah alat yang sederhana seperti parang atau pisau besar..

d. Alat penimbang

Untuk menimbang bahan baku yang digunakan berupa sampah pekarangan dan sampah dapur dibutuhkan timbangan yang akurat.

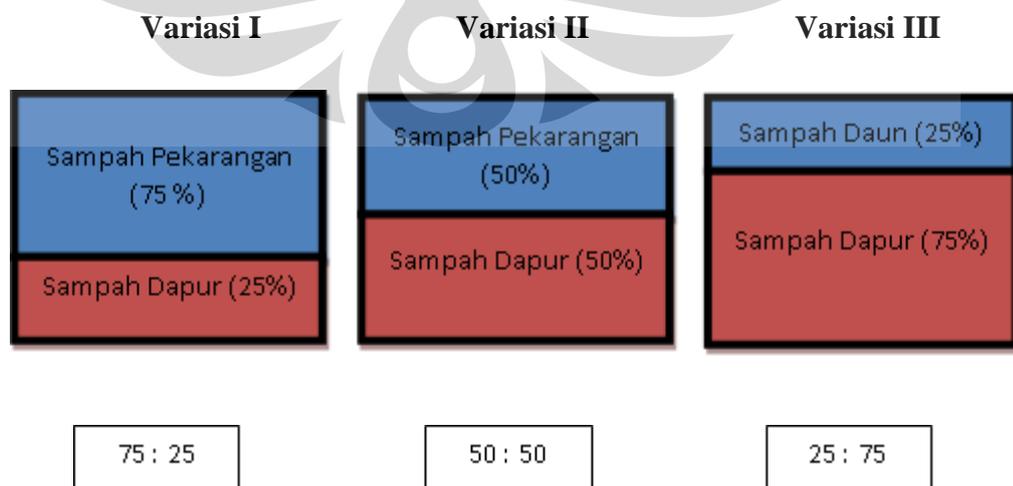
3.1.3. Memulai Pelaksanaan Penelitian

Setelah persiapan dilakukan maka penelitian dapat dilaksanakan

3.2. VARIASI KOMPOSISI YANG DITELITI

Eksperimen yang akan di lakukan adalah untuk mendapatkan volume gas yang terbentuk melalui proses dekomposisi fakultatif dengan mengubah-ubah variasi komposisi bahan baku dan juga menambahkan bakteri, variasi komposisi dalam penelitian eksperimental ini adalah sebagai berikut :

Gambar 3.3. Ilustrasi variasi komposisi sampah pekarangan dan sampah dapur



Universitas Indonesia

Perbandingan Komposisi sampah pekarangan dan sampah dapur adalah dalam persentase berat. Perbandingan komposisi berat tersebut diatas adalah dengan memperhitungkan variasi ketersediaan sampah dapur dan sampah pekarangan yang ada di masyarakat terutama di lingkungan Universitas Indonesia.

Dalam percobaan ini akan di gunakan variasi komposisi dalam perbandingan berat sebagai berikut :

Tabel 3.1. Tabel komposisi berat bahan baku dekomposisi fakultatif

Perbandingan Sampah (Pekarangan : Dapur)		Berat Bahan Baku Gas				
		Sampah Pekarangan	Sampah Dapur	Air	Larutan Bakteri	Berat Total
Tanpa Bakteri	75 : 25	375 gr	125 gr	500 gr	0	1 kg
	50 : 50	250 gr	250 gr	500 gr	0	1 kg
	25 : 75	125 gr	375 gr	500 gr	0	1 kg
Dengan Bakteri	75 : 25	375 gr	125 gr	400 gr	100 gr	1 kg
	50 : 50	250 gr	250 gr	400 gr	100 gr	1 kg
	25 : 75	125 gr	375 gr	400 gr	100 gr	1 kg

3.3. PELAKSANAAN PENELITIAN

Setelah melakukan persiapan penelitian dan menentukan variasi komposisi yang akan diteliti dalam percobaan experimental ini, maka pelaksanaan penelitian dapat dilakukan.

3.3.1. Pengumpulan Data

Telah diketahui dalam kajian teori bahwa ada beberapa faktor yang menentukan perubahan volume dan kecepatan terbentuknya gas. Data yang dikumpulkan akan ditekankan pada factor-fator tersebut setelah dilakukan pembatasan-pembatasan, data-data yang akan di kumpulkan antara lain :

- Volume gas yang terbentuk

- Waktu pencatatan data (setiap 12 jam)
- Sebagai data tambahan akan di catat pula suhu ruangan reaktor berada

Faktor-faktor yang mempengaruhi volume dan kecepatan terbentuknya gas, namun tidak akan diteliti dalam percobaan experimental ini antara lain :

- Dalam penelitian ini pH tidak di teliti
- Dalam penelitian ini ratio kandungan unsur Carbon:Nitrogen:Phosphor tidak di teliti
- Ukuran pertikel dalam setiap variasi dianggap sama.

3.3.2. Analisa Data

a. Pencatatan data/data awal

Data yang telah di kumpulkan kemudian di catat kedalam beberapa tabel sesuai dengan dengan jenis variasi komposisinya, total akan ada 2 tabel untuk mewakili dua variasi tanpa penambahan bakteri dan variasi dengan penambahan bakteri. Dalam tiap tabel akan ada informasi mengenai tiga jenis variasi komposisi yang ada. Tabel itu akan seperti di bawah ini, hanya saja hari penelitiannya akan disesuaikan.

Tabel 3.2. Tabel Pencatatan data yang telah terkumpul

Tanggal	Jam	Tanpa Bakteri (Daun : Dapur)								
		Variasi 1 (75 : 25)			Variasi 2 (50 :50)			Variasi 3 (25 : 75)		
	9:00									
	21:00									
	9:00									
	21:00									
	9:00									
	21:00									

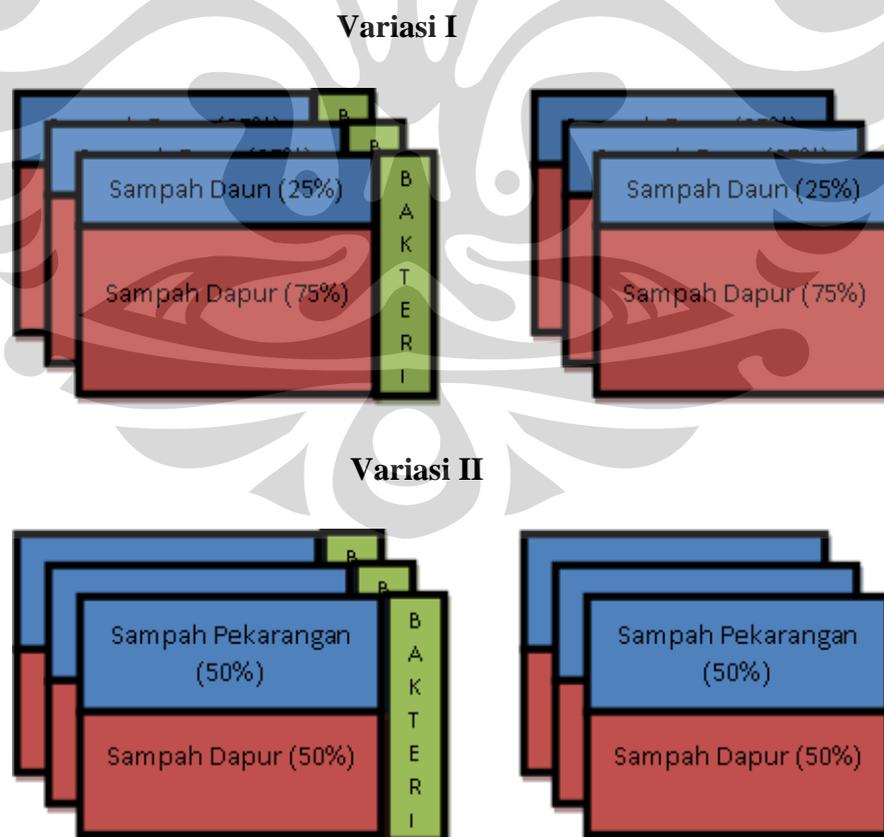
Tanggal	Jam	Dengan Penambahan Bakteri (Daun : Dapur)								
		Variasi 1 (75 : 25)			Variasi 2 (50 :50)			Variasi 3 (25 : 75)		

	9:00									
	21:00									
	9:00									
	21:00									
	9:00									
	21:00									

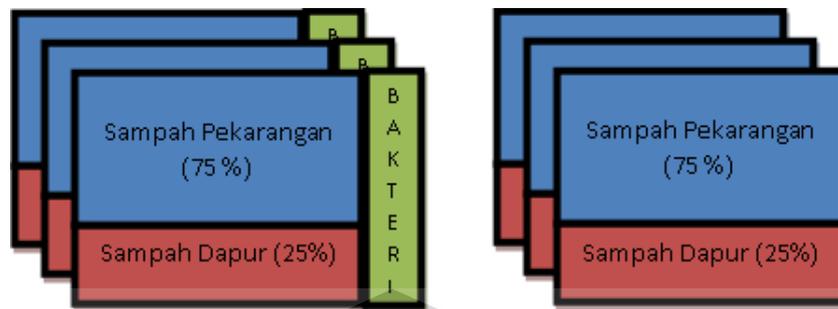
Pencatatan awal akan didapat dalam satuan cm, untuk mendapatkan volume perlu dikalikan dengan luas tabung dengan rumus $\frac{1}{4} \pi D^2$, yaitu sebesar $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,5^2 = 33,166 \text{ cm}^2$.

Total akan ada sebanyak 18 sample yang akan diteliti meliputi 3 jenis variasi komposisi, ada dua perlakuan yaitu tanpa penambahan bakteri dan dengan penambahan bakteri, masing-masing variasi akan diwakili oleh 3 buah sample, dapat dilihat dari ilustrasi berikut :

Gambar 3.4. Ilustrasi sample setiap variasi komposisi tanpa penambahan bakteri dan dengan penambahan bakteri



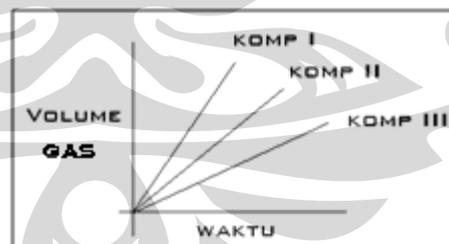
Variasi III



b. Pengolahan data

Setelah seluruh data dicatat, dilakukan sedikit pengolahan data. Dari masing-masing variasi komposisi terdapat 3 buah sample, sehingga untuk mendapatkan gambaran secara umum perlu dicari nilai rata-ratanya terlebih dahulu. Lalu kemudian dibuat grafik. Dari data yang didapat tersebut juga akan di tampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara volume gas dengan waktu seperti ilustrasi berikut :

Gambar 3.5. Ilustrasi grafik hubungan volume gas dan waktu

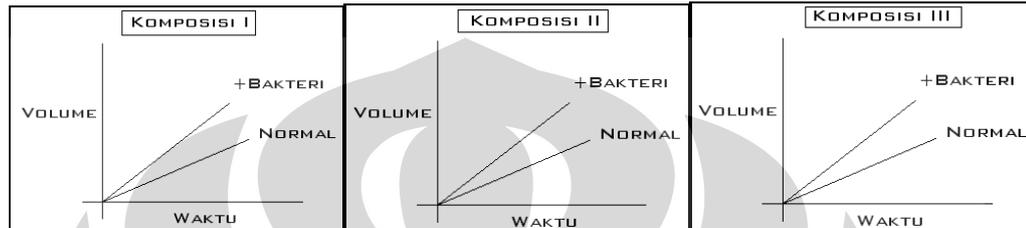


c. Perbandingan data

Setelah semua data di catat dan diolah, didapatkan data mengenai perkembangan volume dan kecepatan dari setiap variasi tanpa ditambahkan bakteri maupun yang telah ditambahkan bakteri.

Dari data tersebut dapat kita bandingkan antara volume yang terbentuk dari variasi komposisi tanpa penambahan bakteri dengan yang ditambahkan bakteri, seperti grafis ilustrasi berikut:

Gambar 3.6 Ilustrasi grafik perbandingan volume terbentuknya gas dan waktu dari tiap komposisi



3.3.3. Hasil Penelitian atau Kesimpulan

Setelah data dicatat, di olah, dan di bandingkan, akan di dapatkan gambaran yang jelas mengenai hasil percobaan experimental ini. Dan berdasarkan perbandingan tersebut juga kesimpulan dapat kita ambil sebagai hasil akhir dari penelitian ini.

Dari kesimpulan yang didapatkan, diharapkan penelitian ini akan dapat di terapkan secara langsung di masyarakat terutama di lingkungan Universitas Indonesia.

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1 PERSIAPAN PENELITIAN

Persiapan yang dilakukan sebelum melaksanakan penelitian meliputi pengadaan peralatan dan pengadaan bahan baku penelitian.

4.1.1 Pengadaan Peralatan dan Perlengkapan

Deskripsi peralatan dan perlengkapan yang perlu dipersiapkan terlebih dahulu antara lain sebagai berikut :

a. Reaktor gas

Dalam penelitian ini dibutuhkan reaktor gas yang memiliki bentuk yang flexible agar dapat di press sehingga tidak terdapat udara atau oksigen bebas lagi di dalamnya. Ukuran yang dibutuhkan adalah minimal mampu menampung 500gr sampah dan 500gr air. Pilihan yang paling tepat adalah menggunakan reaktor yang terbuat dari plastik flexible. Dan agar lebih kuat digunakan 2 plastik sekaligus (double)

Gambar 4.1 Reaktor Gas



b. Alat pengukur volume gas

Alat ukur yang digunakan adalah alat ukur sederhana yang dibuat sendiri dengan menggunakan bahan-bahan sebagai berikut :

- Tabung penampung gas
- Selang penyalur gas
- Penampung limpasan air
- Struktur penopang
- Penggaris 40 cm

Gambar 4.2 Bahan Penyusun alat ukur sederhana



Lalu kemudian bahan-bahan tersebut di bentuk menjadi seperti berikut :

Gambar 4.3 Reaktor dan pengukur gas



c. Alat pencacah sampah organik

Untuk mencacah sampah organik menjadi bentuk yang lebih kecil dan homogen maka dapat digunakan parang seperti berikut :

Gambar 4.4 Parang pencacah



d. Alat penimbang

Untuk menimbang sampah organik dan air dapat digunakan timbangan seperti berikut :

Gambar 4.5 Timbangan



4.1.2 Pengadaan Bahan Baku

Deskripsi bahan baku yang dipersiapkan antara lain sebagai berikut:

a. Sampah Pekarangan

Sampah pekarangan yang digunakan adalah sampah dedaunan yang baru dipotong dari pohon dan masih segar dan didapat dari lingkungan Universitas Indonesia. Dedaunan yang digunakan dalam percobaan ini adalah daun mangga, karena pada saat penelitian dilakukan bahan baku yang banyak tersedia adalah potongan daun pohon mangga

Dari sampah daun mangga yang tersedia kemudian dicacah hingga memiliki ukuran sekitar 1,5 x 5 cm. proses pelaksanaannya dapat dilihat dari foto berikut :

Universitas Indonesia

Gambar 4.6 Sampah pekarangan



b. Sampah Dapur

Sampah dapur yang digunakan adalah sampah dapur yang dikumpulkan dari sisa bahan olahan dan sisa makanan yang tidak habis dari kantin Teknik Universitas Indonesia. Sampah tersebut dikumpulkan sejak pagi hari dan diambil pada sore hari,. Kemudian sampah tersebut diolah menjadi gas pada hari berikutnya, jadi sampah tersebut dibiarkan selama satu malam dalam kondisi diusahakan kering.

Universitas Indonesia

Sampah dapur yang telah dikumpulkan memiliki komposisi sebagai berikut :

- Sisa nasi dan nasi goreng
- Sisa tulang ayam (tulang keras dan tulang rawan)
- Sisa tulang ikan dan daging beserta tulangnya
- Sisa sayur (selada, sawi, bayam, kubis, sereh, tomat)
- Sisa buah dan kulitnya (pepaya, pisang, nangka, jeruk, dll)
- Sisa lauk pauk (tahu, tempe, gorengan)
- Tusuk sate, sampah plastic, stayrofoam, dll

Perbandingan komposisinya sangat sulit ditentukan karena pada saat sampah dikumpulkan sampah sudah dalam keadaan bercampur satu sama lain.

Namun pada saat memasukkan sampah dapur ke dalam reactor/digester diusahakan sampah dapur dimasukkan dengan komposisi yang sama, minimal yang diusahakan untuk dimasukkan adalah sisa nasi, sisa sayur-mayur, dan sisa lauk seperti ayam dan daging. Sedangkan sampah dapur seperti tulang ikan, tulang kambing atau sapi, kulit kerang, sampah plastic, stayrofoam, dan lain-lain yang sukar diurai diusahakan tidak dimasukkan. Hal ini dilakukan agar setiap sample memiliki relevansi ketika harus dibandingkan baik volume gas yang dihasilkan maupun kecepatan produksi gas.

Sampah dapur memiliki berat jenis yang lebih besar dibandingkan dengan sampah pekarangan, sehingga besar volume sample dengan variasi komposisi sampah dapur yang lebih banyak akan menghasilkan volume bahan yang relative lebih sedikit dibandingkan sample pada variasi komposisi dengan sampah dapur yang lebih sedikit.

Berikut gambar-gambar sampah yang dikumpulkan dari kantin Fakultas Teknik Universitas Indonesia:

Gambar 4.7 Sampah Dapur



c. Bakteri EM4

Bakteri yang digunakan adalah bakteri EM4 yang dibeli di toko yang khusus menyediakan alat kimia dan organik untuk pertanian, dengan harga Rp. 21.000,- untuk setiap satu liternya.

Di kemasan terluar tertera data komposisi dari bakteri EM4, dan kegunaan, serta aturan pakainya. Berikut adalah informasi yang tercantum pada kemasan terluar dari EM4 tersebut :

Tabel 4.1. Komposisi bakteri EM 4

KOMPOSISI BAKTERI EM 4	
BAHAN	KANDUNGAN
Lactobacillus	8.7×10^5
Bakteri Pelarut Fostat	7.5×10^6
Yeast / Ragi	8.5×10^6
Actunomycetes	+
Bakteri Fotosintetik	+
Calcium (Ca)	1.675 ppm
Magnesium (Mg)	597 ppm
Besi (Fe)	5.54 ppm
Aluminium (Al)	0.1 ppm
Zinc (Zn)	1.90 ppm
Cooper (Cu)	0.01 ppm
Mangan (Mn)	3.29 ppm
Sodium (Na)	363 ppm
Boron (B)	20 ppm
Nitrogen (N)	0.07 ppm
Nickel (Ni)	0.92 ppm
Kalium (K)	7.675 ppm
Phosphor (P)	3.22 ppm
Chlorida (Cl)	414.35 ppm
C Organik (C)	27.05 ppm
Ph	3.9 ppm

Lab.fak MIPA IPB Bogor, 2006

Lab.EMRO INC, JAPAN 2007

Kegunaan : memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Meningkatkan produksi tanaman dan menjaga kestabilan produksi. Memfermentasi dan mendekomposisi bahan organik tanah dengan cepat (bokashi). Menyediakan unsure hara yang dibutuhkan tanaman. Menyehatkan tanaman.

Aturan pakai : dosis 10 cc/liter air

Berikut adalah gambar kemasan dan isi dari bakteri EM4 yang dijual di pasaran :

Gambar 4.8 Bakteri EM4



4.2 PELAKSANAAN PENELITIAN

Pada pelaksanaan ini dilakukan terdapat beberapa hal yang terjadi yang mungkin dirasa penting, hal-hal tersebut memiliki kemungkinan untuk berguna dalam analisis sehingga dirasa penting untuk ditampilkan pada bab ini.

Salah satunya adalah terbentuknya cairan pada proses dekomposisi fakultatif ini, saat hari ke-23 sample-sample ini telah berhenti menghasilkan gas, sebagai gantinya terbentuk cairan yang diduga cairan asam.

Gambar 4.9 Dugaan Terbentuknya cairan asam



Untuk membantu mempercepat proses-proses yang terjadi dalam dekomposisi fakultatif maka sampah perlu di aduk-aduk, dalam hal ini yang memungkinkan adalah membalik dan menekan-nekan sampah organik dalam reactor. Hal ini juga membantu mengeluarkan gas yang terperangkap di dalam reaktor.

BAB V

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

5.1 PENGUMPULAN DATA

Setelah dilakukan penelitian selama 30 hari didapat data berupa :

- Data suhu ruangan

Pada saat awal pelaksanaan percobaan, dilakukan pencatatan data suhu, didapatkan suhunya 36°C

- Data volume gas setiap 12 jam

Dari penelitian telah didapat volume dari setiap variasi dengan tanpa penambahan bakteri (lampiran 1) dan dengan penambahan bakteri (lampiran 2).

5.2 PENGOLAHAN DAN ANALISA

Untuk Mengolah data menjadi grafik kita harus terlebih dahulu mengambil nilai rata-rata dari volume gas dan kecepatan rata-rata terbentuknya gas pada setiap variasi. Nilai volume rata-rata dan kecepatan rata-rata juga dapat dilihat di lampiran. Volume rata-rata pada variasi komposisi tanpa menggunakan penambahan bakteri dapat dilihat pada lampiran 3, sedangkan Volume rata-rata pada variasi komposisi dengan menggunakan bakteri dapat dilihat pada lampiran 4.

Dari data olahan di atas kita dapat membuat beberapa grafik perbandingan yang akan menunjukkan hubungan volume dan waktu antara tiap variasi komposisi, baik pada variasi komposisi dengan penambahan bakteri maupun dengan variasi komposisi tanpa penambahan bakteri.

Grafik perbandingan volume antara tiap komposisi pada variasi tanpa menggunakan tambahan bakteri dapat dilihat pada *grafik 5.1*. Grafik perbandingan

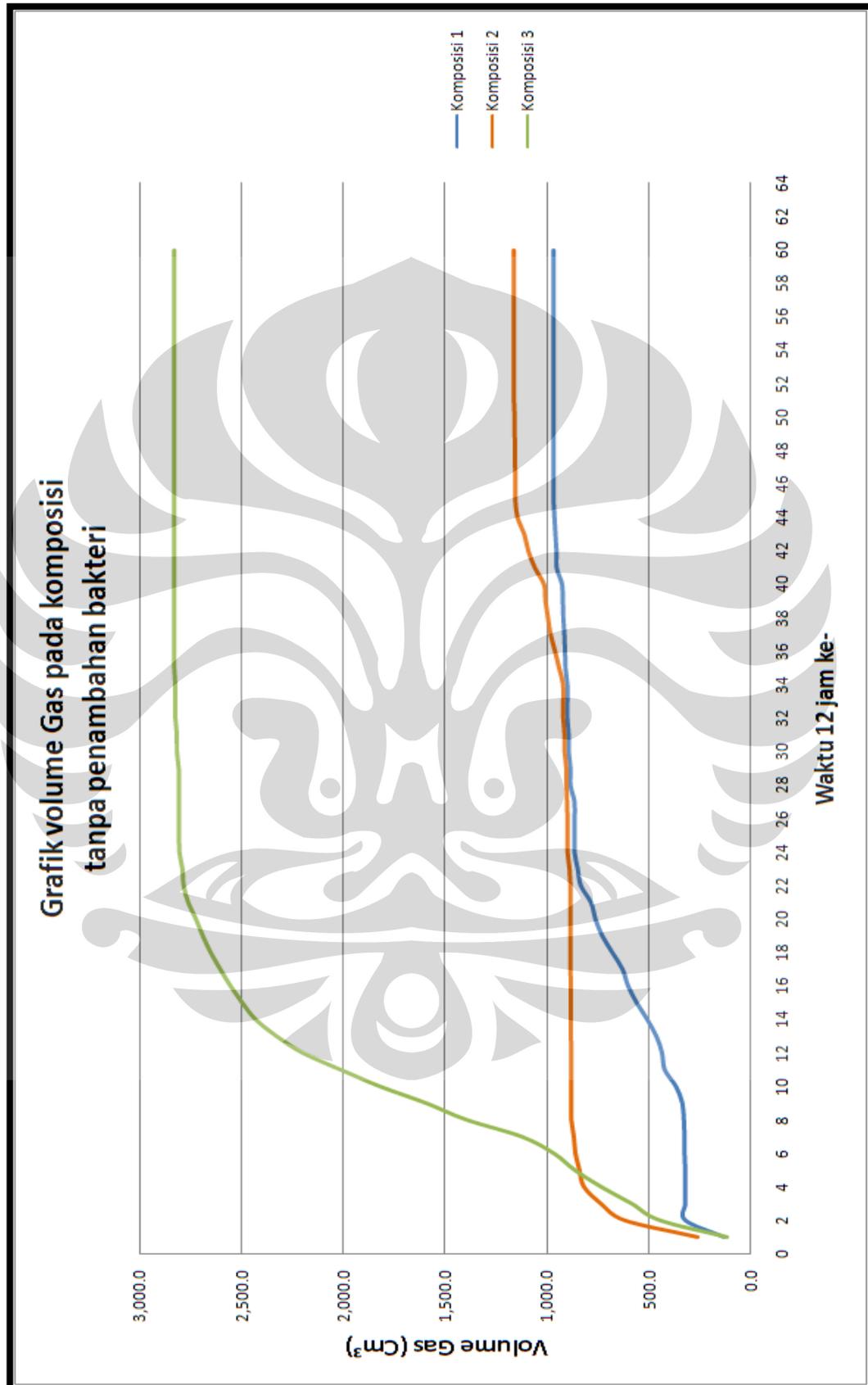
volume antara tiap komposisi pada variasi dengan menggunakan penambahan bakteri dapat dilihat pada *grafik 5.2*.

Untuk membandingkan volume masing-masing komposisi antara variasi tanpa menggunakan tambahan bakteri dengan masing-masing komposisi pada variasi menggunakan penambahan bakteri kita dapat membuat grafik perbandingan tersendiri pada tiap variasi komposisi yang sama. Sehingga akan terlihat secara langsung efek dari penambahan bakteri pada percobaan ini untuk tiap variasi komposisi.

Grafik perbandingan volume pada komposisi 1 antara yang tidak menggunakan penambahan bakteri dengan yang menggunakan penambahan bakteri dapat lihat pada *grafik 5.3*. Grafik perbandingan volume pada komposisi 2 antara yang tidak menggunakan penambahan bakteri dengan yang menggunakan penambahan bakteri dapat lihat pada *grafik 5.4*. Grafik perbandingan volume pada komposisi 3 antara yang tidak menggunakan penambahan bakteri dengan yang menggunakan penambahan bakteri dapat lihat pada *grafik 5.5*.

Berikut grafik-grafik tersebut akan ditampilkan diikuti dengan interpretasi dan analisa dari setiap grafik :

Grafik 5.1 Grafik hubungan volume dengan waktu pada ketiga variasi komposisi tanpa penambahan bakteri



Grafik 5.1 diatas menggambarkan perbandingan volume dari setiap komposisi sampah dapur dan sampah pekarangan tanpa menggunakan tambahan bakteri EM4. Grafik volume komposisi 1 dengan perbandingan 75% sampah pekarangan dan 25 % sampah dapur ditunjukkan dengan grafik berwarna biru. Grafik volume komposisi 2 dengan perbandingan 50% sampah pekarangan dan 50% sampah dapur ditunjukkan dengan grafik berwarna merah. Sedangkan grafik volume komposisi 3 dengan perbandingan 25% sampah pekarangan dan 75% sampah dapur ditunjukkan dengan grafik berwarna hijau.

Dari grafik 5.1 tersebut didapat bahwa volume yang dihasilkan pada variasi komposisi ke-3 adalah komposisi yang menghasilkan volume akhir paling besar. Volume yang dihasilkan komposisi ini sebesar $2,831 \text{ cm}^3$ atau sebesar 2,8 liter, jauh lebih besar dibandingkan dengan volume yang dihasilkan oleh komposisi ke-2 yang menghasilkan volume gas terbanyak kedua dengan $1,164 \text{ cm}^3$ atau 1,1 liter, lalu kemudian diikuti oleh komposisi ke-1 sebanyak 967 cm^3 atau sekitar 0,9 liter gas.

Hal ini berarti pada Dekomposisi fakultatif tanpa digunakan bakteri EM4 sebagai tambahan, variasi komposisi dengan kandungan sampah dapur terbesar menghasilkan gas yang terbanyak, lalu diikuti oleh komposisi 2 dengan kandungan sampah dapur terbesar ke dua, lalu variasi komposisi dengan kandungan sampah dapur paling sedikit yang menghasilkan gas paling sedikit.

Sesuai dengan literatur semakin tinggi kandungan kayu atau lignin yang terkandung dalam bahan organik akan semakin susah terurai karena membutuhkan oksigen untuk proses penguraian, sampah organik berupa sampah dapur adalah yang paling mudah terurai (memiliki biodegradeable factor 0.82 dari skala 1) dibandingkan dengan sampah pekarangan (memiliki biodegradeable 0.72 dari skala 1) berdasarkan teori yang ada.

Hasil percobaan dengan menggunakan ketiga komposisi tersebut dan tanpa diberikan tambahan bakteri dapat dijadikan sebagai acuan standard volume gas yang terbentuk dalam proses dekomposisi fakultatif pada percobaan ini.

Nantinya akan terlihat efek dari penambahan bakteri terhadap proses dekomposisi fakultatif dengan ketiga variasi komposisi tersebut terhadap volume total yang dihasilkan.

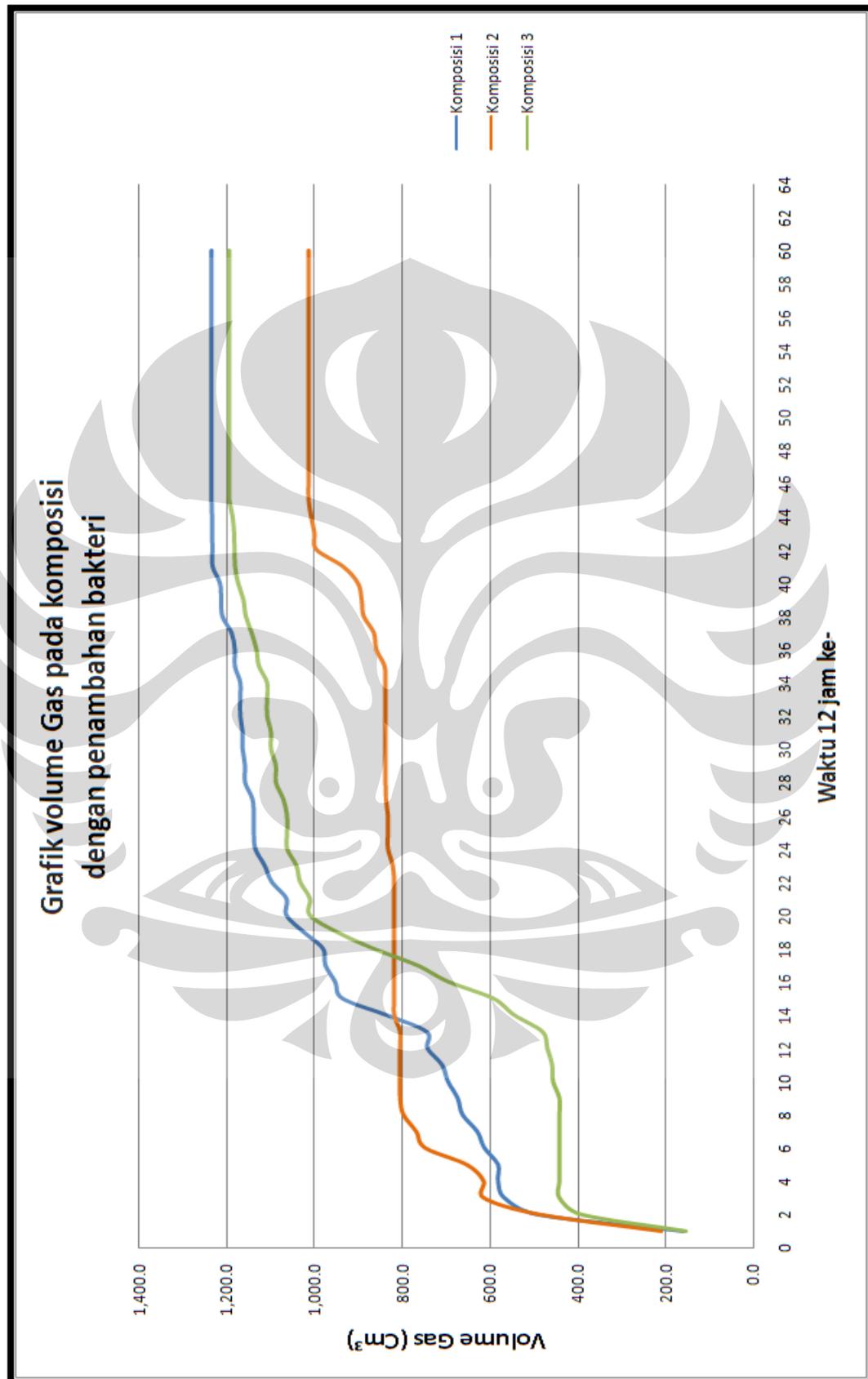
Penelitian ini dilakukan pada suhu ruangan sebesar 36°C, dan ditaruh diatas kayu untuk mencegah suhu dingin dari tanah pada siang dan malam hari. Ruangan tempat dilakukannya penelitian ini tertutup rapat dari sinar matahari dan memiliki akses udara (seperti jendela, lubang angin,dll) yang terbatas.

Pencatatan dilakukan setiap 12 jam sejak sampah pekarangan dan sampah dapur dimasukkan ke dalam reaktor dan diberi air serta bakteri (untuk komposisi yang menggunakan bakteri), pencatatan pertama dilakukan pada pukul 9.00 pagi tanggal 17 mei 2009, pencatatan kedua dilakukan pada pukul 21.00 tanggal yang sama.

Ukuran partikel sampah daun diusahakan sama untuk setiap sampelnya, sehingga mempertahankan relevansinya antara satu sample dengan sample yang lain. Tapi sampah dapur yang digunakan terdiri dari jenis sampah yang beragam dan telah tercampur-baur satu dengan lainnya, sehingga mengakibatkan susah ketika harus memasukkan sampah dapur kedalam reaktor dengan komposisi yang sama, jadi dengan berat sampah dapur yang sama belum tentu memiliki komposisi yang sama satu sample dengan sample yang lainnya, sehingga nilai C:N memiliki kemungkinan untuk berbeda, namun pada pelaksanaannya diusahakan untuk membuat komposisi yang sama.

Fakta yang didapat dari grafik 5.1 diatas adalah semakin besar kandungan sampah pekarangan maka volume gas yang dihasilkan melalui proses dekomposisi fakultatif tanpa pemberian bakteri akan semakin kecil, dan semakin besar kandungan sampah dapur maka volume gas yang dihasilkan melalui proses dekomposisi fakultatif tanpa pemberian bakteri akan semakin besar.

Grafik 5.2. Grafik hubungan volume dengan waktu pada ketiga variasi komposisi dengan penambahan bakteri



Grafik 5.2 diatas menggambarkan perbandingan volume dari setiap komposisi sampah dapur dan sampah pekarangan dengan menggunakan tambahan bakteri EM4. Grafik volume komposisi 1 dengan perbandingan 75% sampah pekarangan dan 25 % sampah dapur ditunjukkan dengan grafik berwarna biru. Grafik volume komposisi 2 dengan perbandingan 50% sampah pekarangan dan 50% sampah dapur ditunjukkan dengan grafik berwarna merah. Sedangkan grafik volume komposisi 3 dengan perbandingan 25% sampah pekarangan dan 75% sampah dapur ditunjukkan dengan grafik berwarna hijau.

Dari grafik 5.2 tersebut didapat bahwa komposisi 1 menghasilkan volume gas terbanyak dengan $1,232 \text{ cm}^3$ atau 1,2 liter gas, kemudian diikuti komposisi 3 sebagai penghasil volume gas terbanyak kedua dengan $1,194 \text{ cm}^3$ atau 1,1 liter gas, baru setelah itu diikuti komposisi 2 sebagai penghasil volume gas terbanyak ketiga dengan $1,012 \text{ cm}^3$ atau 1 liter gas.

Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan bakteri EM4, maka komposisi dengan kandungan sampah pekarangan terbesar yang menghasilkan volume gas terbesar, yaitu komposisi 1 dengan kandungan sampah pekarangan sebesar 75%. Lalu kemudian diikuti oleh komposisi 3 dengan kandungan sampah pekarangan 25% sebagai penghasil gas terbanyak kedua, dan terakhir sebagai penghasil volume gas paling sedikit adalah komposisi 2 dengan kandungan sampah dapur 50% dan sampah pekarangan 50%.

Bila dalam kondisi tanpa diberi bakteri, sesuai dengan percobaan yang dilakukan dan ditunjukkan dalam grafik 5.1 yang juga sesuai dengan literatur yang ada, volume gas terbanyak dihasilkan oleh komposisi 3 yang memiliki kandungan sampah dapur terbanyak lalu diikuti dengan komposisi 2 dengan kandungan sampah dapur terbanyak ke-2, lalu diikuti komposisi 3. Namun setelah diberi bakteri, komposisi yang menghasilkan volume terbanyak adalah komposisi 1, kemudian diikuti dengan komposisi 3, lalu komposisi 2, terlihat jelas bahwa pemberian bakteri ternyata memang memberi pengaruh terhadap terbentuknya jumlah volume gas total yang terbentuk.

Sebelumnya belum pernah ada penelitian atau data-data mengenai penggunaan bakteri EM4 ini dalam proses dekomposisi fakultatif, sehingga belum ada literatur yang menyebutkan hubungan secara langsung pemberian bakteri EM4 terhadap terbentuknya gas dalam proses anaerobik fakultatif ini. Penggunaan bakteri EM4 ini lebih dikarenakan bakteri ini yang paling mudah didapat di masyarakat dan harganya relatif murah.

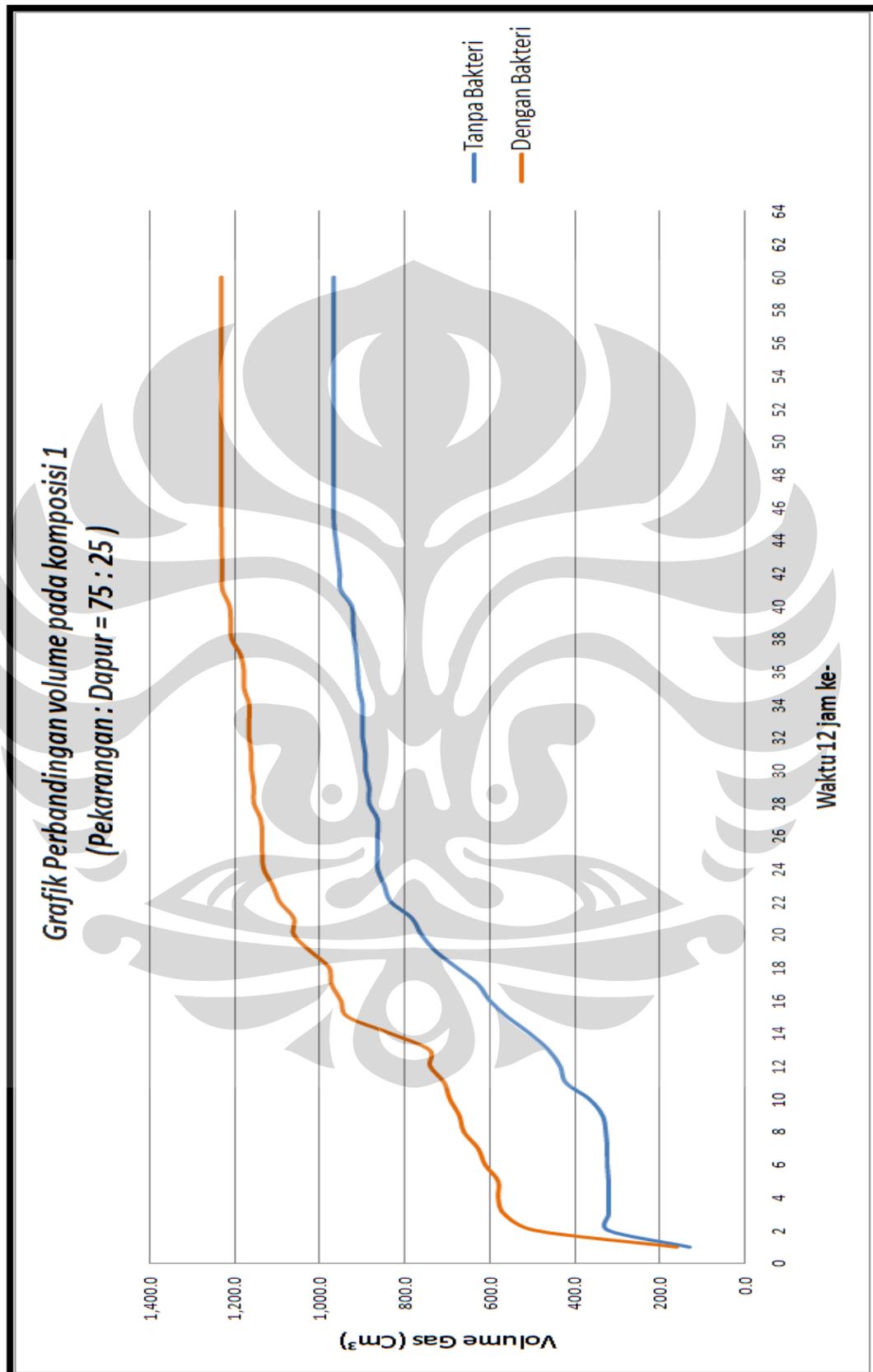
Selama penelitian tidak terjadi hal-hal yang mengganggu secara langsung, dalam pelaksanaannya hanya ada beberapa hal yang mungkin mengakibatkan sedikit pengaruh terhadap hasil yang didapat.

Yang pertama adalah adanya potensi kebocoran pada reaktor yang terbuat dari plastik flexible, terutama pada sambungan antara selang dan reaktor karena reaktor dihubungkan dengan selang dan hanya diikat oleh karet. Oleh karena itu penelitian ini disebut memiliki kondisi fakultatif, karena tidak ada jaminan bahwa reaktor atau alat yang digunakan adalah dekomposisi.

Yang kedua adalah adanya kemungkinan kesalahan pengukuran ketika mengukur pertambahan volume gas yang ditunjukkan dengan turunnya permukaan air pada botol pengumpul gas. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan penggaris standard, sehingga memungkinkan ada kesalahan manusia (human error) ketika mengukur penurunan permukaan air dalam botol pengumpul.

Yang ketiga dalam metode dekomposisi fakultative gas terbentuk akibat proses biologi yang berlangsung terhadap seluruh permukaan bahan baku yang berupa sampah pekarangan dan sampah dapur. Hal ini memungkinkan terperangkapnya gas di dalam reaktor gas, terutama gas pada bagian tengah dari reaktor yang memiliki kesulitan untuk mencari jalan ke selang pengumpul. Dalam pelaksanaannya untuk mengurangi resiko terperangkapnya gas di dalam reaktor dilakukan pemijatan ringan terhadap reaktor, sehingga gas yang terperangkap di dalam reaktor dapat keluar melalui selang menuju ke botol pengumpul. Namun tetap ada kemungkinan untuk terperangkapnya gas.

Grafik 5.3. Grafik Perbandingan volume pada komposisi 1
(Pekarangan : Dapur = 75 : 25)



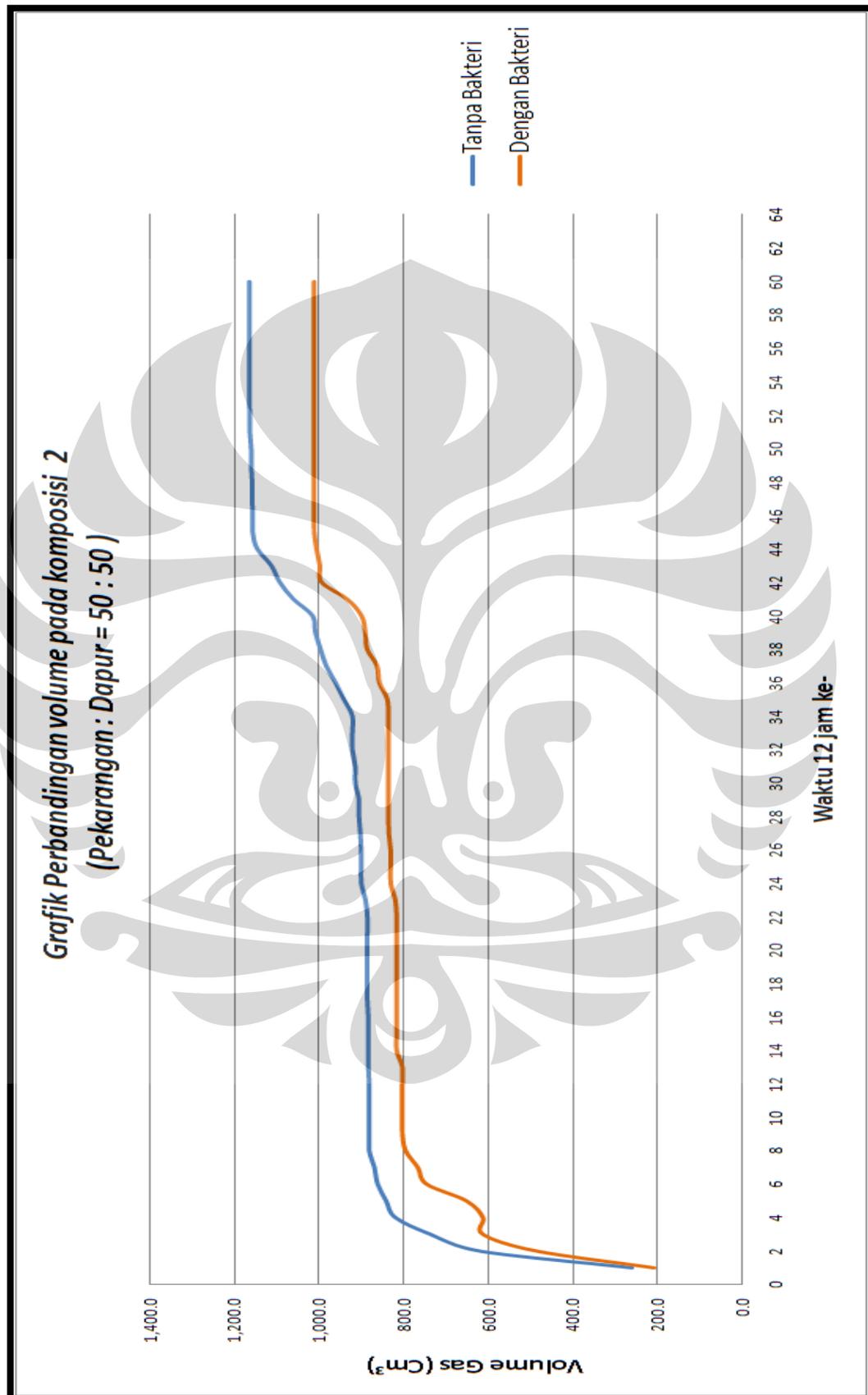
Grafik 5.3 diatas menggambarkan perbandingan volume dari komposisi sampah pekarangan dan sampah dapur yang sama, yaitu komposisi 75% sampah pekarangan dan 25% sampah dapur. Grafik garis yang ditunjukkan dengan warna garis biru adalah grafik volume komposisi 1 tanpa menggunakan bakteri EM4, sedangkan grafik garis yang ditunjukkan dengan warna garis merah adalah grafik volume komposisi 1 dengan menggunakan bakteri EM4.

Dapat terlihat pada grafik 5.3 tersebut bahwa komposisi yang menggunakan tambahan bakteri memiliki volume gas akhir yang lebih besar dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan bakteri EM4. Volume akhir yang dihasilkan oleh komposisi tanpa penambahan bakteri adalah 967 cm^3 atau sekitar 0,9 liter gas dan volume akhir gas yang dihasilkan oleh komposisi yang diberi penambahan bakteri EM4 adalah $1,232 \text{ cm}^3$ atau sekitar 1,2 liter gas. Ini artinya bahwa dengan pemberian bakteri EM4 terhadap komposisi 1, ternyata volume akhir dari gas yang dihasilkan menjadi lebih banyak sekitar 1,2x nya.

Sehingga hal ini dapat diartikan bahwa penggunaan bakteri EM4 pada komposisi 1 yaitu komposisi sampah pekarangan 75% dan sampah dapur 25% adalah cenderung efektif dalam meningkatkan volume gas yang dihasilkan.

Pada komposisi 1 ini, sebesar 75% adalah sampah pekarangan berupa daun mangga yang masih segar (baru dipotong), dan 25% nya adalah sampah dapur.

Grafik 5.4. Grafik Perbandingan volume pada komposisi 2
(Pekarangan : Dapur = 50 : 50)



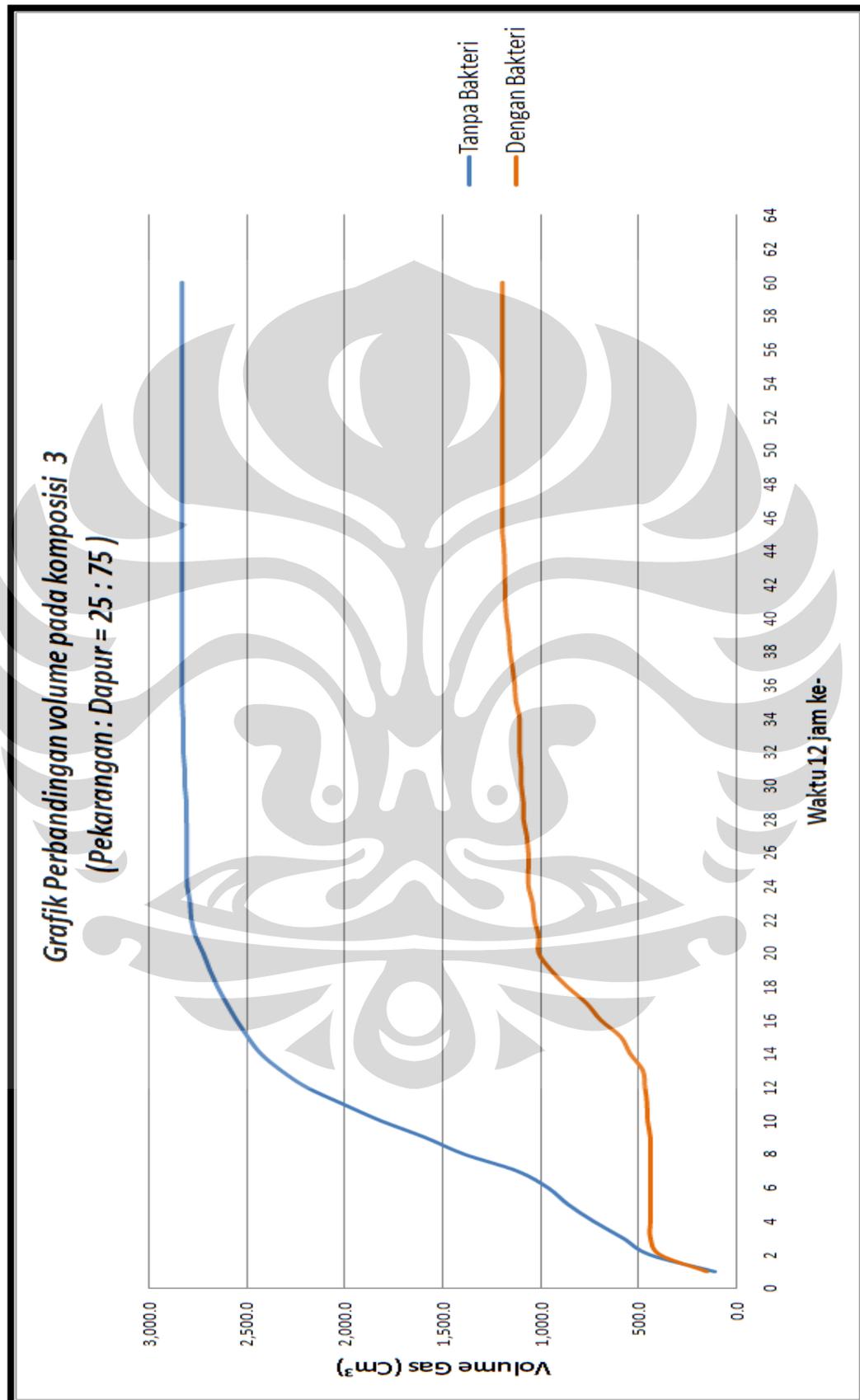
Grafik 5.4 diatas yang menggambarkan perbandingan volume dari komposisi sampah dapur dan sampah pekarangan yang sama namun berbeda dalam penggunaan bakteri, grafik volume komposisi yang tanpa bakteri ditunjukkan dengan garis yang berwarna biru, dan grafik volume dari komposisi yang menggunakan tambahan bakteri EM4 ditunjukkan dengan garis yang berwarna merah. Komposisi 2 ini memiliki komposisi sampah pekarangan 50% dan komposisi sampah dapur 50%.

Dapat terlihat pada grafik 5.4 tersebut bahwa komposisi yang menggunakan tambahan bakteri memiliki volume akhir yang lebih kecil dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan bakteri EM4. Volume akhir yang dihasilkan oleh komposisi tanpa penambahan bakteri adalah 1.164 cm^3 atau sekitar 1,1 liter gas dan volume akhir gas yang dihasilkan oleh komposisi yang diberi penambahan bakteri EM4 adalah 1.012 cm^3 atau sekitar 1 liter gas. Ini artinya bahwa dengan pemberian bakteri EM4 terhadap komposisi 2, ternyata volume akhir dari gas yang dihasilkan menjadi berkurang menjadi sekitar 0,84x nya.

Sehingga hal ini dapat diartikan bahwa penggunaan bakteri EM4 pada komposisi 2 yaitu komposisi sampah pekarangan 50% dan sampah dapur 50% adalah cenderung tidak efektif dalam meningkatkan volume gas yang dihasilkan pada proses dekomposisi fakultatif, bahkan akan menurunkan produksi volume gas akhir pada proses dekomposisi fakultatif.

Pada komposisi 2 ini, sebesar 50% adalah sampah pekarangan berupa daun mangga yang masih segar (baru dipotong), dan 50% nya adalah sampah dapur.

Grafik 5.5. Grafik Perbandingan volume pada komposisi 3
(Pekarangan : Dapur = 25 : 75)



Grafik 5.5 diatas yang menggambarkan perbandingan volume dari komposisi sampah dapur dan sampah pekarangan yang sama namun berbeda dalam penggunaan bakteri, grafik volume komposisi yang tanpa bakteri ditunjukkan dengan garis yang berwarna biru, dan grafik volume dari komposisi yang menggunakan tambahan bakteri EM4 ditunjukkan dengan garis yang berwarna merah. Komposisi 3 ini memiliki komposisi sampah pekarangan 25% dan komposisi sampah dapur 75%.

Dapat terlihat pada grafik 5.5 tersebut bahwa komposisi yang menggunakan tambahan bakteri memiliki volume akhir yang lebih kecil dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan bakteri EM4. Volume akhir yang dihasilkan oleh komposisi tanpa penambahan bakteri adalah 2.831 cm^3 atau sekitar 2,8 liter gas dan volume akhir gas yang dihasilkan oleh komposisi yang diberi penambahan bakteri EM4 adalah 1.194 cm^3 atau sekitar 1,2 liter gas. Ini artinya bahwa dengan pemberian bakteri EM4 terhadap komposisi 3, volume akhir dari gas yang dihasilkan menjadi berkurang menjadi sekitar 0,42x nya.

Sehingga hal ini dapat diartikan bahwa penggunaan bakteri EM4 pada komposisi 3 yaitu komposisi sampah pekarangan 25% dan sampah dapur 75% adalah cenderung tidak efektif dalam meningkatkan volume gas yang dihasilkan pada proses dekomposisi fakultatif, bahkan akan menurunkan produksi volume gas akhir pada proses dekomposisi fakultatif.

Pada komposisi 2 ini, sebesar 25% adalah sampah pekarangan berupa daun mangga yang masih segar (baru dipotong), dan 75% nya adalah sampah dapur.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian experimental ini antara lain adalah.

- a) Dekomposisi fakultatif campuran sampah pekarangan dan sampah dapur akan menghasilkan gas.
- b) Semakin banyak kandungan sampah pekarangan maka akan semakin sedikit gas yang dihasilkan, sebaliknya semakin banyak kandungan sampah dapur maka akan semakin banyak gas yang dihasilkan.
- c) Penambahan bakteri EM4 akan memberikan pengaruh secara langsung terhadap volume gas yang dihasilkan.

6.2 SARAN

Dari penelitian experimental ini dapat disarankan beberapa hal antara lain :

- a) Penelitian ini sebaiknya dilanjutkan dengan alat dan prosedur yang lebih akurat.
- b) Sebaiknya dilakukan pemeriksaan faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan pembentukan gas (pH, C:N ratio, kandungan air, dll)
- c) Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan mengenai seberapa besar pengaruh penambahan Bakteri EM4 terhadap volume produksi gas dalam dekomposisi fakultatif.
- d) Sebaiknya perlu dilakukan pengukuran komposisi gas yang terbentuk (Co₂, Ch₄, H₂S, O₂, dll).

DAFTAR PUSTAKA

- Tchobanoglous, George, Hillary Thiesen, dan Samurl A. Virgil, *Integrated Solid Waste Management-Engineering Principles and Management Issue* (New York: McGraw-Hill, 1993).
- Sudrajat R., *Mengelola Sampah Kota* (Jakarta : Penebar Swadaya, 2006).
- Wahyuni, Sri, *Biogas* (Jakarta : Penebar Swadaya, 2008).
- Yuwono, Dipo, *Kompos* (Jakarta : Penebar Swadaya, 2005).
- Dickerson, George W. (2004). *Extension Horticulture Specialist : Backyard Compostin*. Diakses 19 Mei 2009, dari New Mexico State University Library.
[Http://www.cache.nmsu.edu/GuideH-110/ebook.html](http://www.cache.nmsu.edu/GuideH-110/ebook.html)
- Simamora, S, Salundik, Wahyuni, Sri dan Sarajudin, *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak dan gas dari Kotoran Ternak* (Jakarta : Agromedia, 2006).
- Miller, G. T. J., *Enviromental Science on Introduction* (California : Wads Worth Publishing Company. 1986).
- Sardjito dan Sapardi, *Baktriologi Umum* (Jakarta: Penerbitan Universitas, 1992).
- Koser, H. S., "European Composting Tour", *Biocycle, Journal of Waste Recycling*, Special International Issue. Composting and Recycling Around the World , vol.29(6). 26-29, 1988.
- Michael Cheshire, "Anaerobic digestion – an opportunity for rural diversification", Greenfinch Ltd (2006) ,
<http://www.rics.org/Environmentalandlandconsultancy/Agribusiness/anaerobicdigestion010906.html>

Lampiran 1. Tabel volume biogas terbentuk setiap 12 jam dari variasi tanpa penambahan bakteri.

Tanggal (2009)	12 jam ke-	Tanpa Bakteri (Daun : Dapur) (Dalam Cm ³)								
		Variasi 1 (75 : 25)			Variasi 2 (50 :50)			Variasi 3 (25 : 75)		
17 mei	1	132.8	132.8	126.1	199.2	282.2	298.8	89.6	166.0	99.6
	2	332.0	348.6	282.2	531.1	680.5	647.3	398.4	647.3	298.8
18 mei	3	332.0	348.6	282.2	713.7	780.1	713.7	431.6	879.7	448.2
	4	332.0	348.6	282.2	879.7	813.3	763.5	431.6	1,112.1	663.9
19 mei	5	332.0	348.6	282.2	946.1	813.3	763.5	431.6	1,211.7	952.7
	6	332.0	348.6	292.1	989.3	813.3	780.1	431.6	1,311.3	1,161.9
20 mei	7	332.0	348.6	292.1	989.3	813.3	803.4	458.1	1,566.9	1,351.1
	8	332.0	348.6	302.1	989.3	823.3	829.9	514.5	1,942.0	1,726.2
21 mei	9	332.0	348.6	325.3	989.3	823.3	829.9	557.7	2,274.0	1,948.6
	10	332.0	348.6	418.3	989.3	823.3	829.9	630.7	2,605.9	2,224.2
22 mei	11	348.6	348.6	567.7	989.3	823.3	829.9	647.3	3,137.1	2,257.4
	12	371.8	348.6	584.3	989.3	823.3	829.9	697.1	3,601.8	2,297.2
23 mei	13	405.0	348.6	634.1	989.3	829.9	829.9	753.6	3,933.8	2,297.2
	14	488.0	348.6	683.8	989.3	829.9	829.9	896.3	4,033.4	2,363.6
24 mei	15	577.6	348.6	750.2	989.3	829.9	829.9	995.9	4,099.8	2,396.8
	16	670.6	381.8	750.2	989.3	829.9	829.9	1,145.3	4,099.8	2,420.0
25 mei	17	737.0	381.8	766.8	989.3	836.6	829.9	1,278.1	4,116.4	2,420.0
	18	853.1	415.0	766.8	989.3	836.6	829.9	1,410.8	4,116.4	2,430.0
26 mei	19	969.3	431.6	783.4	989.3	836.6	829.9	1,510.4	4,133.0	2,430.0
	20	1,052.3	448.2	783.4	989.3	836.6	829.9	1,610.0	4,133.0	2,430.0
27 mei	21	1,085.5	464.8	800.0	989.3	836.6	829.9	1,676.4	4,166.2	2,446.6
	22	1,135.3	531.1	833.2	989.3	836.6	829.9	1,742.8	4,166.2	2,446.6
28 mei	23	1,151.9	547.7	846.5	989.3	849.8	829.9	1,759.4	4,166.2	2,446.6
	24	1,168.5	564.3	859.8	999.2	869.7	829.9	1,792.6	4,172.8	2,453.2
29 mei	25	1,168.5	564.3	859.8	999.2	869.7	829.9	1,792.6	4,172.8	2,456.5
	26	1,168.5	564.3	859.8	999.2	869.7	829.9	1,792.6	4,172.8	2,456.5
30 mei	27	1,168.5	564.3	859.8	999.2	876.4	829.9	1,792.6	4,172.8	2,456.5
	28	1,188.4	604.2	859.8	999.2	886.3	829.9	1,799.2	4,172.8	2,456.5
31 mei	29	1,188.4	604.2	859.8	999.2	886.3	829.9	1,799.2	4,172.8	2,456.5
	30	1,191.8	617.5	869.7	1,005.9	902.9	833.2	1,812.5	4,182.8	2,459.9
1 juni	31	1,191.8	617.5	869.7	1,005.9	902.9	833.2	1,812.5	4,182.8	2,459.9
	32	1,191.8	630.7	876.4	1,009.2	919.5	833.2	1,825.8	4,189.4	2,463.2
2 juni	33	1,191.8	630.7	876.4	1,009.2	919.5	833.2	1,825.8	4,189.4	2,463.2
	34	1,191.8	630.7	876.4	1,009.2	919.5	833.2	1,825.8	4,189.4	2,463.2
3 juni	35	1,201.7	637.4	886.3	1,025.8	952.7	843.2	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	36	1,201.7	637.4	893.0	1,042.4	969.3	869.7	1,842.4	4,189.4	2,463.2

(Lanjutan)

4 juni	37	1,201.7	637.4	902.9	1,075.6	969.3	902.9	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	38	1,201.7	647.3	909.6	1,082.2	979.3	926.2	1,842.4	4,189.4	2,463.2
5 juni	39	1,201.7	654.0	909.6	1,088.8	985.9	949.4	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	40	1,211.7	654.0	909.6	1,095.5	995.9	952.7	1,842.4	4,189.4	2,463.2
6 juni	41	1,218.3	680.5	956.1	1,142.0	1,035.7	1,002.5	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	42	1,218.3	683.8	956.1	1,148.6	1,068.9	1,059.0	1,842.4	4,189.4	2,463.2
7 juni	43	1,221.6	697.1	956.1	1,158.6	1,085.5	1,092.2	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	44	1,224.9	703.8	959.4	1,191.8	1,118.7	1,125.4	1,842.4	4,189.4	2,463.2
8 juni	45	1,231.6	703.8	966.0	1,201.7	1,135.3	1,132.0	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	46	1,231.6	703.8	966.0	1,201.7	1,135.3	1,132.0	1,842.4	4,189.4	2,463.2
9 juni	47	1,231.6	703.8	966.0	1,205.0	1,135.3	1,132.0	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	48	1,231.6	703.8	966.0	1,205.0	1,135.3	1,132.0	1,842.4	4,189.4	2,463.2
10 juni	49	1,231.6	703.8	966.0	1,208.4	1,138.6	1,132.0	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	50	1,231.6	703.8	966.0	1,208.4	1,138.6	1,132.0	1,842.4	4,189.4	2,463.2
11 juni	51	1,231.6	703.8	966.0	1,211.7	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	52	1,231.6	703.8	966.0	1,211.7	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2
12 juni	53	1,231.6	703.8	966.0	1,215.0	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	54	1,231.6	703.8	966.0	1,215.0	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2
13 juni	55	1,231.6	703.8	966.0	1,215.0	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	56	1,231.6	703.8	966.0	1,215.0	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2
14 juni	57	1,231.6	703.8	966.0	1,215.0	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	58	1,231.6	703.8	966.0	1,215.0	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2
15 juni	59	1,231.6	703.8	966.0	1,215.0	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2
	60	1,231.6	703.8	966.0	1,215.0	1,142.0	1,135.3	1,842.4	4,189.4	2,463.2

Lampiran 2. Tabel volume biogas terbentuk setiap 12 jam dari variasi dengan penambahan bakteri.

Tanggal (2009)	12 jam ke-	Dengan Bakteri (Daun : Dapur) (Dalam Cm ³)								
		Variasi 1 (75 : 25)			Variasi 2 (50 :50)			Variasi 3 (25 : 75)		
17 mei	1	215.8	166.0	99.6	232.4	315.4	83.0	199.2	166.0	99.6
	2	580.9	497.9	398.4	580.9	713.7	166.0	531.1	365.2	282.2
18 mei	3	680.5	604.2	415.0	697.1	929.5	215.8	647.3	398.4	282.2
	4	680.5	647.3	415.0	697.1	929.5	215.8	647.3	398.4	282.2
19 mei	5	680.5	647.3	415.0	746.9	946.1	265.6	647.3	398.4	282.2
	6	690.5	730.3	415.0	863.1	995.9	381.8	647.3	398.4	282.2
20 mei	7	690.5	780.1	415.0	893.0	1,029.1	381.8	647.3	398.4	282.2
	8	690.5	879.7	415.0	896.3	1,112.1	381.8	647.3	398.4	282.2
21 mei	9	690.5	912.9	415.0	896.3	1,135.3	381.8	647.3	398.4	282.2
	10	690.5	979.3	415.0	896.3	1,135.3	381.8	647.3	398.4	325.3
22 mei	11	730.3	979.3	415.0	896.3	1,135.3	381.8	647.3	398.4	332.0
	12	746.9	1,045.7	431.6	896.3	1,135.3	381.8	647.3	398.4	365.2
23 mei	13	746.9	1,052.3	431.6	896.3	1,135.3	381.8	647.3	398.4	398.4
	14	879.7	1,112.1	514.5	896.3	1,175.2	381.8	647.3	481.3	507.9
24 mei	15	1,012.5	1,195.1	597.5	896.3	1,175.2	381.8	647.3	514.5	617.5
	16	1,045.7	1,195.1	614.1	896.3	1,175.2	381.8	680.5	564.3	839.9
25 mei	17	1,078.9	1,195.1	647.3	896.3	1,175.2	381.8	713.7	580.9	1,005.9
	18	1,078.9	1,195.1	663.9	896.3	1,175.2	381.8	763.5	630.7	1,205.0
26 mei	19	1,078.9	1,195.1	796.7	896.3	1,175.2	381.8	780.1	630.7	1,437.4
	20	1,078.9	1,211.7	896.3	896.3	1,175.2	381.8	780.1	680.5	1,570.2
27 mei	21	1,078.9	1,211.7	896.3	896.3	1,175.2	381.8	780.1	680.5	1,570.2
	22	1,095.5	1,228.3	962.7	896.3	1,175.2	381.8	813.3	697.1	1,586.8
28 mei	23	1,095.5	1,228.3	1,012.5	896.3	1,185.1	381.8	829.9	707.1	1,586.8
	24	1,102.1	1,234.9	1,062.3	906.3	1,201.7	388.4	863.1	730.3	1,593.4
29 mei	25	1,112.1	1,234.9	1,062.3	906.3	1,201.7	388.4	863.1	730.3	1,593.4
	26	1,112.1	1,234.9	1,062.3	906.3	1,201.7	388.4	863.1	730.3	1,593.4
30 mei	27	1,112.1	1,244.9	1,062.3	906.3	1,211.7	391.7	869.7	746.9	1,596.7
	28	1,112.1	1,244.9	1,112.1	909.6	1,211.7	391.7	886.3	763.5	1,613.3
31 mei	29	1,112.1	1,244.9	1,112.1	909.6	1,211.7	391.7	886.3	763.5	1,613.3
	30	1,112.1	1,244.9	1,128.7	909.6	1,211.7	391.7	899.6	773.5	1,623.3
1 juni	31	1,112.1	1,244.9	1,128.7	909.6	1,211.7	391.7	899.6	773.5	1,623.3
	32	1,112.1	1,244.9	1,145.3	909.6	1,211.7	391.7	912.9	780.1	1,629.9
2 juni	33	1,112.1	1,244.9	1,145.3	909.6	1,211.7	391.7	912.9	780.1	1,629.9
	34	1,112.1	1,244.9	1,145.3	909.6	1,211.7	391.7	912.9	780.1	1,629.9
3 juni	35	1,115.4	1,268.1	1,155.2	909.6	1,218.3	391.7	936.1	813.3	1,629.9
	36	1,115.4	1,268.1	1,155.2	909.6	1,234.9	431.6	952.7	813.3	1,629.9

(Lanjutan)

4 juni	37	1,115.4	1,268.1	1,178.5	909.6	1,234.9	448.2	966.0	820.0	1,643.2
	38	1,128.7	1,284.7	1,211.7	929.5	1,258.1	474.7	985.9	836.6	1,646.5
5 juni	39	1,128.7	1,284.7	1,218.3	932.8	1,261.5	481.3	992.6	846.5	1,646.5
	40	1,128.7	1,284.7	1,228.3	942.8	1,268.1	491.3	1,015.8	853.1	1,653.2
6 juni	41	1,138.6	1,291.3	1,261.5	959.4	1,298.0	547.7	1,025.8	863.1	1,653.2
	42	1,138.6	1,291.3	1,261.5	966.0	1,298.0	720.4	1,029.1	863.1	1,653.2
7 juni	43	1,142.0	1,291.3	1,261.5	972.7	1,298.0	727.0	1,032.4	863.1	1,653.2
	44	1,142.0	1,291.3	1,261.5	989.3	1,301.3	730.3	1,042.4	863.1	1,653.2
8 juni	45	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
	46	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
9 juni	47	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
	48	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
10 juni	49	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
	50	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
11 juni	51	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
	52	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
12 juni	53	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
	54	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
13 juni	55	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
	56	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
14 juni	57	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
	58	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
15 juni	59	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2
	60	1,145.3	1,291.3	1,261.5	992.6	1,311.3	733.6	1,065.6	863.1	1,653.2

Lampiran 3. Tabel volume biogas rata-rata pada setiap variasi tanpa penambahan bakteri.

Tanggal (2009)	12 jam ke-	Tanpa Bakteri (Daun : Dapur) (Dalam cm ³)		
		Variasi 1 (75 : 25)	Variasi 2 (50 : 50)	Variasi 3 (25 : 75)
17 mei	1	130.6	260.0	118.4
	2	320.9	619.7	448.2
18 mei	3	320.9	735.9	586.5
	4	320.9	818.8	735.9
19 mei	5	320.9	841.0	865.3
	6	324.2	860.9	968.2
20 mei	7	324.2	868.6	1,125.4
	8	327.5	880.8	1,394.3
21 mei	9	335.3	880.8	1,593.4
	10	366.3	880.8	1,820.3
22 mei	11	421.6	880.8	2,013.9
	12	434.9	880.8	2,198.7
23 mei	13	462.5	883.0	2,328.2
	14	506.8	883.0	2,431.1
24 mei	15	558.8	883.0	2,497.5
	16	600.9	883.0	2,555.0
25 mei	17	628.5	885.2	2,604.8
	18	678.3	885.2	2,652.4
26 mei	19	728.1	885.2	2,691.1
	20	761.3	885.2	2,724.3
27 mei	21	783.4	885.2	2,763.0
	22	833.2	885.2	2,785.2
28 mei	23	848.7	889.7	2,790.7
	24	864.2	899.6	2,806.2
29 mei	25	864.2	899.6	2,807.3
	26	864.2	899.6	2,807.3
30 mei	27	864.2	901.8	2,807.3
	28	884.1	905.2	2,809.5
31 mei	29	884.1	905.2	2,809.5
	30	893.0	914.0	2,818.4
1 juni	31	893.0	914.0	2,818.4
	32	899.6	920.6	2,826.1
2 juni	33	899.6	920.6	2,826.1
	34	899.6	920.6	2,826.1
3 juni	35	908.5	940.6	2,831.7
	36	910.7	960.5	2,831.7

(Lanjutan)

4 juni	37	914.0	982.6	2,831.7
	38	919.5	995.9	2,831.7
5 juni	39	921.8	1,008.1	2,831.7
	40	925.1	1,014.7	2,831.7
6 juni	41	951.6	1,060.1	2,831.7
	42	952.7	1,092.2	2,831.7
7 juni	43	958.3	1,112.1	2,831.7
	44	962.7	1,145.3	2,831.7
8 juni	45	967.1	1,156.3	2,831.7
	46	967.1	1,156.3	2,831.7
9 juni	47	967.1	1,157.4	2,831.7
	48	967.1	1,157.4	2,831.7
10 juni	49	967.1	1,159.7	2,831.7
	50	967.1	1,159.7	2,831.7
11 juni	51	967.1	1,163.0	2,831.7
	52	967.1	1,163.0	2,831.7
12 juni	53	967.1	1,164.1	2,831.7
	54	967.1	1,164.1	2,831.7
13 juni	55	967.1	1,164.1	2,831.7
	56	967.1	1,164.1	2,831.7
14 juni	57	967.1	1,164.1	2,831.7
	58	967.1	1,164.1	2,831.7
15 juni	59	967.1	1,164.1	2,831.7
	60	967.1	1,164.1	2,831.7

Lampiran 4. Tabel volume biogas rata-rata pada setiap variasi dengan penambahan bakteri.

Tanggal (2009)	12 jam ke-	Dengan Bakteri (Daun : Dapur) (Dalam Cm ³)		
		Variasi 1 (75 : 25)	Variasi 2 (50 : 50)	Variasi 3 (25 : 75)
17 mei	1	160.4	210.2	154.9
	2	492.4	486.9	392.8
18 mei	3	566.6	614.1	442.6
	4	580.9	614.1	442.6
19 mei	5	580.9	652.9	442.6
	6	611.9	746.9	442.6
20 mei	7	628.5	767.9	442.6
	8	661.7	796.7	442.6
21 mei	9	672.8	804.5	442.6
	10	694.9	804.5	457.0
22 mei	11	708.2	804.5	459.2
	12	741.4	804.5	470.3
23 mei	13	743.6	804.5	481.3
	14	835.4	817.7	545.5
24 mei	15	935.0	817.7	593.1
	16	951.6	817.7	694.9
25 mei	17	973.8	817.7	766.8
	18	979.3	817.7	866.4
26 mei	19	1,023.6	817.7	949.4
	20	1,062.3	817.7	1,010.3
27 mei	21	1,062.3	817.7	1,010.3
	22	1,095.5	817.7	1,032.4
28 mei	23	1,112.1	821.1	1,041.3
	24	1,133.1	832.1	1,062.3
29 mei	25	1,136.4	832.1	1,062.3
	26	1,136.4	832.1	1,062.3
30 mei	27	1,139.7	836.6	1,071.1
	28	1,156.3	837.7	1,087.7
31 mei	29	1,156.3	837.7	1,087.7
	30	1,161.9	837.7	1,098.8
1 juni	31	1,161.9	837.7	1,098.8
	32	1,167.4	837.7	1,107.7
2 juni	33	1,167.4	837.7	1,107.7
	34	1,167.4	837.7	1,107.7
3 juni	35	1,179.6	839.9	1,126.5
	36	1,179.6	858.7	1,132.0

(Lanjutan)

4 juni	37	1,187.3	864.2	1,143.1
	38	1,208.4	887.5	1,156.3
5 juni	39	1,210.6	891.9	1,161.9
	40	1,213.9	900.7	1,174.0
6 juni	41	1,230.5	935.0	1,180.7
	42	1,230.5	994.8	1,181.8
7 juni	43	1,231.6	999.2	1,182.9
	44	1,231.6	1,007.0	1,186.2
8 juni	45	1,232.7	1,012.5	1,194.0
	46	1,232.7	1,012.5	1,194.0
9 juni	47	1,232.7	1,012.5	1,194.0
	48	1,232.7	1,012.5	1,194.0
10 juni	49	1,232.7	1,012.5	1,194.0
	50	1,232.7	1,012.5	1,194.0
11 juni	51	1,232.7	1,012.5	1,194.0
	52	1,232.7	1,012.5	1,194.0
12 juni	53	1,232.7	1,012.5	1,194.0
	54	1,232.7	1,012.5	1,194.0
13 juni	55	1,232.7	1,012.5	1,194.0
	56	1,232.7	1,012.5	1,194.0
14 juni	57	1,232.7	1,012.5	1,194.0
	58	1,232.7	1,012.5	1,194.0
15 juni	59	1,232.7	1,012.5	1,194.0
	60	1,232.7	1,012.5	1,194.0