

64111625  
610645

ADLN - Perpustakaan Unair

# **BIOKONVERSI SAMPAH PASAR MENJADI BIOGAS DENGAN MENGGUNAKAN *STARTER FESES SAPI***

## **SKRIPSI**

64111625  
610645

### **SENO AJI**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA  
2006**

**UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA**

# **BIOKONVERSI SAMPAH PASAR MENJADI BIOGAS DENGAN MENGGUNAKAN STARTER FESES SAPI**

**SKRIPSI**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains Bidang Kimia  
Pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Airlangga**

Oleh :

**SENO AJI**  
**NIM. 080212484**

**Tanggal Lulus : 21 Juli 2006**

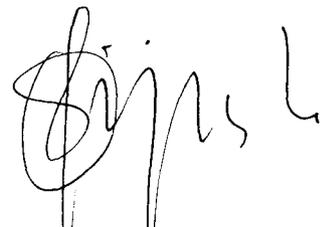
**Disetujui Oleh :**

**Pembimbing I,**



**Dr. Afaf Baktir, MS**  
**NIP. 131 286 710**

**Pembimbing II,**



**Drs. Sofijan Hadi, M.Kes**  
**NIP. 132 009 466**

## LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : **BIOKONVERSI SAMPAH PASAR MENJADI BIOGAS  
MENGUNAKAN STARTER FESES SAPI**

Penyusun : **Seno Aji**

NIM : **080212484**

Pembimbing I : **Dr. Afaf Baktir, MS**

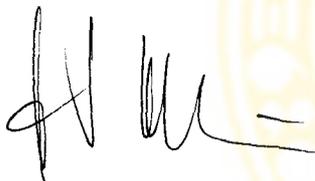
Pembimbing II : **Drs. Sofijan Hadi, M.Kes**

Tanggal Ujian : **21 Juli 2006**

Disetujui Oleh :

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Afaf Baktir, MS  
NIP. 131 286 710



Drs. Sofijan Hadi, M.Kes  
NIP. 132 009 466

Mengetahui,

Ketua Jurusan Kimia

FMIPA Universitas Airlangga



Dra. Tjitjik Srié Tjahjandarie, Ph.D

NIP. 131 801 617

## **PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI**

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga. Diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seijin penulis dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah.

**Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.**



## KATA – KATA MUTIARA

*Kejarlah apa yang bermanfaat untukmu, dan mintalah pertolongan kepada Allah. Jangan mudah menyerah dan jangan pernah berkata, “ kalau saja aku melakukan yang begini pasti akan jadi begini.’ Tapi katakanlah Allah telah mentakdirkan, dan apa yang Dia kehendaki pasti akan dia lakukan”. (hadist nabi)*

*Orang yang memiliki kesempatan untuk membaca adalah orang yang bahagia karena dia bisa memetik bunga dari taman alam semesta, bisa berkeliling mengitari keajaiban dunia dan bisa melipat waktu dan tempat.*

*Kegembiraan karena ilmu itu akan abadi, kemuliaan karena ilmu akan lestari, dan ketenaran karena ilmu akan kekal. Sedangkan kegembiraan karena harta akan mudah sirna, kemuliaan yang disebabkan harta akan mengarah pada kehancuran dan ketenaran karena harta akan memudar.*

*Iman, kesehatan, kekayaan, kebebasan, rasa aman, semangat muda, dan ilmu adalah sari dari semua yang diinginkan oleh orang-orang yang berpikir. Namun hanya sedikit yang mampu mendapatkannya sekaligus.*

*Ilmu itu teman akrab dalam kesepian, sahabat dalam keterasingan, pengawas dalam kesendirian, penunjuk jalan ke arah yang benar, penolong di saat sulit dan simpanan setelah kematian.*

*Yang lebih indah dari istana dan rumah mewah adalah buku, yang bisa menjernihkan pemahaman, yang membuat hati menjadi gembira, yang membuat jiwa menjadi teduh, yang membuat hati menjadi lapang, dan yang membuat pikiran berkembang.*

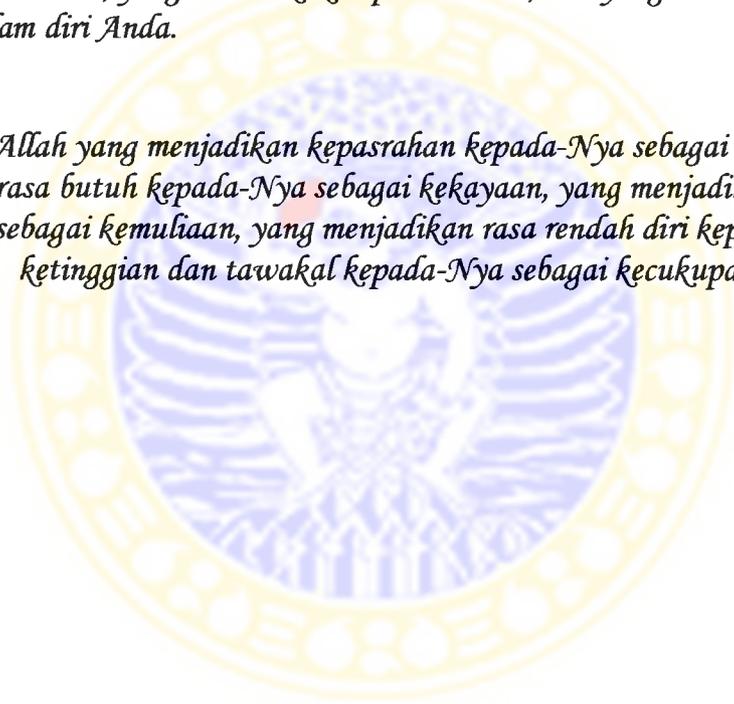
*Ilmu itu akan membuat hati menjadi lapang, meluaskan cara pandang, membukakan cakrawala sehingga jiwa dapat keluar dari berbagai keresahan, kegundahan, dan kesedihan.*

*Jika tali telah menegang kencang maka itu tandanya akan putus. Jika malam telah sangat pekat maka kegelapan itu akan segera pergi. Jika sebuah masalah sudah sangat menghimpit maka itu tandanya akan segera muncul jalan keluar. Dan, sesungguhnya satu kesulitan itu tidak akan pernah mengalahkan dua kemudahan.*

*Kebaikan yang terdapat dalam apa yang Anda benci lebih banyak dari pada yang terdapat dalam yang Anda sukai, karena Anda tidak mengetahui akibat yang akan terjadi. Betapa banyak kenikmatan yang tersembunyi dalam kesulitan dan betapa banyak kebaikan yang tersembunyi di balik baju keburukan.*

*Sebaik-baiknya hari adalah hari yang memberikan tambahan kesabaran kepada Anda, yang memberikan ilmu kepada Anda, yang mencegah agar tidak semakin tenggelam dalam dosa, yang membukakan pemahaman, dan yang memberikan tekad yang kuat dalam diri Anda.*

*Maha suci Allah yang menjadikan kepasrahan kepada-Nya sebagai kekuatan, yang menjadikan rasa butuh kepada-Nya sebagai kekayaan, yang menjadikan permohonan kepada-Nya sebagai kemuliaan, yang menjadikan rasa rendah diri kepada-Nya sebagai ketinggian dan tawakal kepada-Nya sebagai kecukupan.*



## *UCAPAN TERIMA KASIH*

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penyusun sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu baik moral maupun material dalam penyusun skripsi ini, yaitu:

1. Ketua Jurusan Kimia Universitas Airlangga, Dra. Tjitjik Srie Tjahjandarie, Ph.D
2. Dr. Afaf Baktir, MS dan Drs. Sofijan Hadi, M.Kes selaku pembimbing skripsi dan atas kesempatan berkerja sama yang telah diberikan untuk melaksanakan proyek DUE LIKE BATCH III (periode tahun terakhir) sehingga dapat digunakan sebagai bahan skripsi.
3. Dra. Usreg Sri Handayani, M.Si dan Dra. Aning Purwaningsih, M.Si. selaku dosen penguji skripsi atas saran dan kritiknya dalam penyempurnaan penulisan naskah skripsi ini.
4. Drs. Hamami, M.Si selaku dosen wali, dan seluruh staf pengajar dan laboran di lingkungan jurusan kimia universitas Airlangga yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.
5. Dr. Liang Kasper dan Drs. Warsito dari Kebun Binatang Surabaya atas kerjasamanya dan masukannya dalam pelaksanaan teknis skripsi ini di lapangan.
6. Drs. Waluyo Jati, M.Kes dari Poltekkes Surabaya Jurusan Kesehatan Lingkungan atas kerjasama dan masukannya dalam pelaksanaan teknis skripsi ini di lapangan.

7. Papa, Mama dan adik-adik ku (Momot Adi Luhung dan Irene Junita) terima kasih atas dukungan yang telah diberikan.
8. Kelompok biogas Unair (Amelia F dan Shanti H) dan Marlita ('01) Jurusan Biologi Unesa (thank's for biogas reference).
9. Semua Teman-teman Jurusan Kimia Universitas Airlangga angkatan 2002 s.d. angkatan 2005 yang telah mendukung tenaga maupun pikiran (Gin@rto' 04 thank's for the computer).
10. Bpk. Muhaimin (beserta keluarga) dan teman-teman akhir pekan-ku, terima kasih atas dukungan spiritual yang telah diberikan, semoga Allah mempertemukan kita kembali di surga-NYA, amin.
11. Teman-teman spesial-ku di saat senang dan sedih: Haniefa Taufik (beserta keluarga), Fitri Maulani (Math UA '03) dan Yosi Nindita (kimia ITB '01).
12. Sahabat-sahabat IKAHIMKI (Ikatan Himpunan Mahasiswa Kimia Indonesia) baik yang pusat (BPP) maupun wilayah (BAPEWIL I,II,III,IV dan V) periode 2004-2006, terima kasih atas kerjasama dan pengalaman organisasinya. (Jayalah selalu IKAHIMKI...)
13. Sahabat-sahabat DLM-KM dan BEM-KM Universitas Airlangga Periode 2005-2006, semoga apa yang kita lakukan untuk almamater Airlangga memberikan perubahan kearah yang lebih baik.
14. Tempat berteduh-ku selama 4 tahun menuntut ilmu di Surabaya, Mak Lampir family (kost-ku) thank's for all.
15. Dan semua pihak yang turut membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT, dengan segala rahmat dan hidayah-Nya yang masih diberikan hingga saat ini. Shalawat serta salam semoga tercurah selalu kepada junjungan nabi Muhammad S.A.W., keluarga beliau dan sahabat beliau atas risalah kebenaran dari Allah yang telah mereka sebarkan di dunia. Rasa syukur yang sangat besar kepada Allah S.W.T atas petunjuknya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul "*Biokonversi Sampah Pasar Menjadi Biogas dengan Menggunakan Starter Feses Sapi*".

Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga. Semoga skripsi memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan menjadi salah satu solusi masalah terhadap kelangkaan energi terbarukan di Indonesia seperti salah satu kata-kata bijak " setiap masalah memiliki potensi untuk memperbaiki diri".

Surabaya, Juli 2006  
Penyusun,

Seno Aji

**Seno Aji, 2006, Biokonversi Sampah Pasar Menjadi Biogas Dengan Menggunakan Starter Feses Sapi. Skripsi dibawah bimbingan Dr. Afaf Baktir, MS dan Drs. Sofijan Hadi, M.Kes. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga.**

---

### ABSTRAK

Sampah pasar merupakan bahan organik yang berpotensi sebagai sumber bahan baku untuk produksi energi alternatif yaitu biogas. Biogas merupakan campuran gas-gas metan, karbon dioksida, nitrogen, hidrogen, oksigen, dan hidrogen sulfida. Komposisi terbesar dari biogas adalah metan, yaitu sebanyak 54 – 70 %. Selain dari sampah pasar produksi biogas dapat menggunakan feses hewan dan limbah pabrik yang memiliki kandungan bahan organik tinggi. Penelitian ini bertujuan : (1) membuat biakan *starter* dari feses sapi, (2) mengetahui pengaruh sampah pasar terhadap profil produksi biogas menggunakan *starter* feses sapi. Reaktor untuk pembuatan biakan *starter* maupun produksi biogas menggunakan model *fixed dome* terbuat dari bahan plastik polietilen sedangkan proses fermentasi menggunakan sistem *batch* pada suhu ruangan (28 °C). Pembuatan biakan *starter* dilakukan dengan mencampurkan feses sapi dan air dengan perbandingan volume (1:1). Sedangkan untuk produksi biogas dilakukan dengan mencampurkan sampah pasar, *starter*, dan air dengan perbandingan volume (1:1:1). Data hasil penelitian adalah (1) kondisi biakan *starter* yang paling aktif pada inkubasi hari ke 36, (2) sampah pasar berpengaruh terhadap kemampuan *starter* feses sapi dalam produksi biogas, yaitu waktu *start-up* produksi biogas membutuhkan waktu yang lebih lama.

Kata kunci : biogas, *starter*, feses sapi, sampah pasar.

**Seno Aji, 2006, The Bioconversion Of Market Garbage becomes Biogas Using Cow Manure As The Starter. The Script is under Guidance of Dr. Afaf Baktir, MS and Drs. Sofijan Hadi, M.Kes., Department Of Chemistry, Mathematic and Natural Science Faculty. Airlangga University, Surabaya.**

---

### ABSTRACT

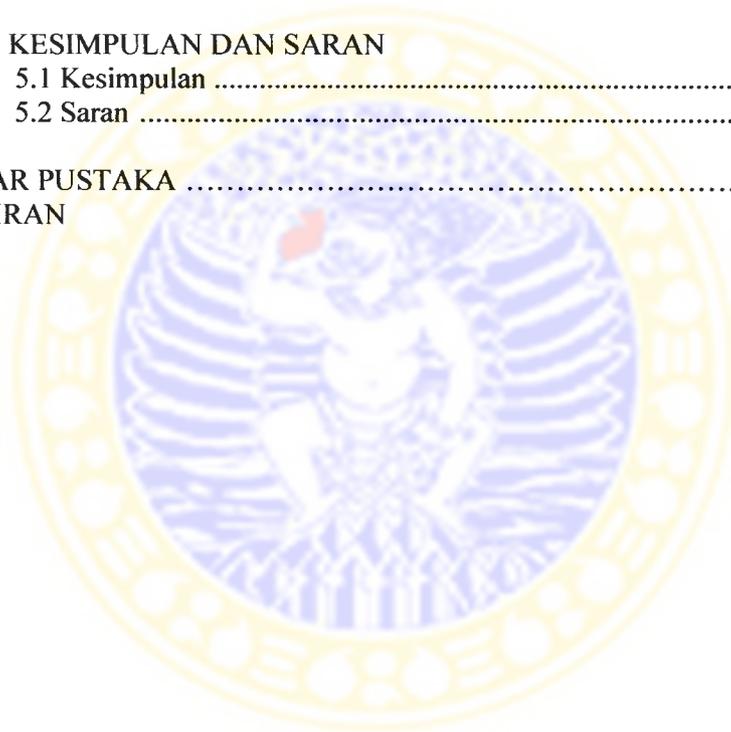
Market garbage has potency as the source of biomass that could be changed becomes alternative energy called biogas. Biogas is consisting of methane, carbondioxyde, nitrogen, hydrogen, oxygen, and hydrogensulphide, where the biggest component is methane (45 – 70 %). Besides market garbage, production of biogas can be done by using animal manure and factory waste that contain higher organic substance. The purposes of this research were: (1) production starter from cow manure and (2) to know the effect of marker garbage to profile of biogas production which biogas is still produced using cow manure starter. Either reactor for making starter or for biogas production used fixed dome type from polyethylene plastic while fermentation process used batch system at room temperature (28 °C). Starter production was done by using mixture of cow manure and water with volume ratio (1:1). While biogas production was done by using mixture of market garbage, starter, and water with volume ratio (1:1:1). The results showed that (1) the active condition of starter was resulted in 36 day's of incubation (2) market garbage caused production biogas from cow manure starter need time for start-up biogas production more longer.

Key words: biogas, starter, cow manure, market garbage

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Umum Sampah .....	7
2.2 Pemanfaatan Limbah Ternak .....	8
2.3 Biogas .....	9
2.3.1 Komposisi biogas .....	9
2.3.2 Proses pembentukan biogas .....	10
2.3.3 Bakteri-bakteri yang berperan dalam pembentukan biogas ..	15
2.3.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan biogas ..	15
2.4 <i>Starter</i> .....	19
2.5 Reaktor Biogas .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	22
3.2 Sampel .....	22
3.3 Bahan dan Alat Penelitian .....	22
3.3.1 Bahan penelitian .....	22
3.3.2 Alat penelitian .....	23
3.4 Variabel Penelitian .....	23
3.5 Definisi Operasional Variabel Penelitian .....	23
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	24
3.7 Prosedur Penelitian .....	25
3.7.1 Pembuatan perangkat reaktor .....	25
3.7.2 Pembuatan biakan <i>starter</i> .....	25
3.7.3 Konversi biomassa menjadi biogas .....	26
3.7.4 Analisis parameter .....	27
3.7.4.1 <i>Total solid</i> (TS) .....	27

3.7.4.2 Rasio C/N .....	28
3.7.4.3 Pengukuran volume biogas .....	30
3.7.4.4 Uji nyala api.....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pembuatan Biakan <i>Starter</i> .....	31
4.2 Penentuan Total Solid (TS) Feses Sapi dan Biakan <i>Starter</i> .....	32
4.3 Penentuan Rasio C/N dari Feses Sapi dan Biakan <i>Starter</i> .....	34
4.4 Pengukuran Volume Biogas Biakan <i>Starter</i> .....	38
4.5 Penentuan Total Solid (TS) dan Rasio C/N Sampah Pasar .....	40
4.6 Biokonversi Biomassa Menjadi Biogas .....	42
4.7 Pengukuran Volume Biogas Biokonversi Biomassa .....	44
4.8 Pengujian Nyala Api Terhadap Biogas Hasil Biokonversi Biomassa .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	50
5.2 Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	51
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
2.1.	Komposisi biogas .....	10
2.2.	Sifat fisik dan sifat kimia gas metan.....	10
2.3.	Kadar N, rasio C/N dan bahan kering dari beberapa bahan.....	18
4.1.	Nilai total solid (TS) awal feses sapi .....	33
4.2.	Nilai total solid (TS) akhir biakan <i>starter</i> .....	34
4.3.	Kadar karbon (% C) feses sapi .....	35
4.4.	Kadar nitrogen (% N) feses sapi.....	37
4.5.	Kadar karbon (% C) akhir <i>starter</i> .....	38
4.6.	Kadar nitrogen (% N) akhir <i>starter</i> .....	38
4.7.	Volume biogas biakan <i>starter</i> .....	39
4.8.	Nilai total solid (TS) sampah pasar .....	41
4.9.	Kadar karbon (% C) sampah pasar .....	41
4.10.	Kadar nitrogen (% N) sampah pasar.....	41
4.11.	Nilai total solid (TS) awal biokonversi feses sapi.....	42
4.12.	Nilai total solid (TS) awal biokonversi sampah pasar ...	42
4.13.	Nilai total solid (TS) akhir biokonversi feses sapi .....	43
4.14.	Nilai total solid (TS) akhir biokonversi sampah pasar ..	43
4.15.	Rasio C/N masing-masing bahan isian .....	44
4.16.	Volume biogas proses biokonversi biomassa.....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
1.	Proses anaerobik pada senyawa organik .....	14
2.	Pengaruh suhu pada produksi biogas .....	16
3.	Reaktor biogas (a) <i>fixed dome</i> dan (b) <i>floating drum</i> .....	21
4.	Reaktor biogas dari bahan plastik polietilen.....	21
5.	Reaktor biogas.....	25
6.	Seperangkat alat pengukur volume biogas .....	30
7.	Grafik hubungan waktu pengukuran dengan volume biogas	40
8.	Grafik hubungan waktu pengukuran dengan volume biogas dari biomassa feses sapi.....	47
9.	Grafik hubungan waktu pengukuran dengan volume biogas dari biomassa sampah pasar.....	48
10.	Warna biru nyala api dari biogas hasil biokonversi sampah pasar.....	49

## **BAB I**

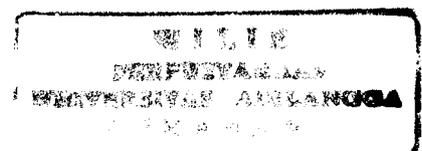
### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Sampah adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang, bersumber dari hasil aktivitas manusia maupun proses alam, dan belum memiliki nilai ekonomis (<http://www.iptek.net.id>). Dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir timbunan keseluruhan sampah di Indonesia mencapai 22,5 juta ton, sehingga membutuhkan lahan yang sangat luas sebagai tempat pembuangan akhir (TPA). Berikut ini adalah data-data sampah per hari yang dihasilkan oleh beberapa kota besar di Indonesia: Jakarta 6,2 ribu ton, Bandung 2,1 ribu ton, Surabaya 1,7 ribu ton, Makassar 0,8 ribu ton. Menurut perkiraan volume sampah perkotaan di Indonesia akan meningkat menjadi lima kali lipat pada tahun 2020 (Chaerudin, 2001).

Tahun 1995 lahan yang digunakan untuk tempat pembuangan akhir (TPA) di Indonesia mencapai 675 ha, pada tahun 2020 diperkirakan meningkat menjadi 1.610 ha. Menurut data BPS pada tahun 2001 timbunan sampah yang diangkut hanya 18,03%, selebihnya: 10,46% tertimbun, 3,51% dibuat menjadi kompos, 43,7% dibakar, 24,4% dibuang ke sungai dan perkarangan kosong. Dari persentase tersebut jelas bahwa masih besar jumlah sampah yang belum diproses dan diangkut sehingga mempunyai andil besar sebagai sumber pencemaran tanah, air, dan udara. Selain itu juga merupakan sumber untuk berkembangnya wabah penyakit.

Surabaya merupakan salah satu kota yang memiliki permasalahan dalam penanganan masalah sampah, karena dibutuhkan biaya yang sangat mahal untuk



penanganan sampah yang baik. Sebagai contoh 13 oktober 2004 lalu, tempat pembuangan akhir (TPA) Keputih telah ditutup oleh warga sebagai akibat penanganan TPA yang tidak baik sehingga meresahkan warga. Begitu pula TPA Benowo dengan luas wilayah 26 ha yang dirancang dengan sistem *sanitary landfill*. TPA ini tidak dapat berjalan dengan baik karena sistem operasional pelaksanaan yang sulit dilakukan (<http://www.kompas.com>). Data-data sampah di wilayah Surabaya adalah sebagai berikut: sampah domestik 72%, sampah pasar 12,3%, sampah industri 9,35%, sampah perkotaan 0,33%, sampah sapuan jalan 0,86%, sampah fasilitas umum 0,86% dan sampah toko atau hotel 3,3% (Tchobanoglous, 1993).

Sampah perkotaan yang dihasilkan mempunyai karakteristik sebagai sampah organik dengan kandungan bahan organik lebih dari 80%. Sampah perkotaan merupakan biomassa yang sangat berpotensi menjadi sumber energi yang *renewable*. Selama ini pemerintah kota (Pemkot) Surabaya telah menjalankan beberapa metode penanganan sampah antara lain: pengumpulan sampah oleh para pengepul, pembakaran, pendaur-ulangan, penimbunan, dan pengomposan. Namun pada kenyataannya metode-metode tersebut belum dapat menanggulangi masalah sampah di kota Surabaya secara maksimal. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: kurangnya kesadaran masyarakat, jenis sampah yang tidak dapat didaur ulang, serta proses pengomposan yang membutuhkan waktu relatif lama (kurang lebih 6 bulan) dan membutuhkan lahan yang luas. Metode-metode tersebut juga memiliki kelemahan-kelemahan, misalnya menimbulkan polusi udara yang berasal dari proses pembakaran,

ledakan gas metan akibat proses penimbunan sampah seperti yang terjadi pada 22 pebruari 2005 di Luwi Gajah Bandung (<http://www.kompas.com>).

Berdasarkan data dan kejadian-kejadian yang telah dipaparkan perlu pengembangan metode penanganan sampah lain yang lebih baik, terutama sampah perkotaan. Metode tersebut adalah metode anaerob yang akan menghasilkan suatu biogas dan pupuk yang kaya nutrisi. “Biogas adalah suatu hasil dari proses dekomposisi bahan-bahan organik dalam kondisi anaerob yang sebagian besar mengandung gas metan dan karbon dioksida” (Abdul Kadir, 1987 dalam Ristanti, 2001). Biogas yang dihasilkan merupakan gas yang tidak berbau, tidak beracun, tidak menimbulkan asap hitam, serta mudah terbakar dengan warna nyala api biru. Dengan demikian biogas sangat ideal digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar) dengan nilai kalori yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 5000-6.515 kilo kalori per meter kubik. Nilai ini lebih besar 17% dari pada nilai kalori bensin, sedangkan nilai kalori gas metan murni adalah 8.900 kilo kalori per meter kubik (Masjhudi, 2003). Biogas terdiri dari 3 komponen gas yang utama yaitu: gas metan 54%-70%, karbon dioksida 27%-45%, dan nitrogen 3%-5% (Widarto, 1997).

Penelitian Masjhudi (2003) yang menggunakan feses sapi, kuda dan kambing pada suhu 25,8 °C, 33 °C, dan 40,8 °C ditarik kesimpulan bahwa produksi biogas optimum diperoleh dengan menggunakan sapi pada berbagai kondisi suhu. Penelitian lain yang dilakukan oleh Jati (2003) menggunakan berbagai jenis feses hewan yang terdapat di kebun binatang Surabaya pada suhu ruangan memperoleh data produksi biogas tertinggi dihasilkan feses rusa dan yang

terendah feses banteng. Penelitian tersebut menggunakan campuran feses hewan dan air dengan perbandingan volume 1:1.

Berdasarkan laporan penelitian yang telah dipaparkan dapat disimpulkan bahwa feses sapi dapat digunakan untuk produksi biogas. Dalam sistem produksi biogas diperlukan substrat biomassa dan mikroba anaerob yang dapat bersumber dari feses hewan. Pada penelitian Masjhudi baik biomassa maupun mikroba anaerob berasal dari feses sapi. Mengingat ketersediaan sampah di Indonesia, khususnya di Surabaya sangat berlimpah, maka pada penelitian ini akan dicoba menggunakan sampah sebagai sumber biomassa dan sumber mikroba anaerob digunakan feses sapi dari kandang sapi di Fakultas Kedokteran Hewan (FKH) Universitas Airlangga. Pada awal penelitian ini akan dilakukan pembuatan *starter* dalam biodigestor dengan menggunakan campuran feses sapi dan air perbandingan volume 1:1 sesuai dengan metode penelitian yang digunakan oleh Jati pada proses pembentukan biogas. Selanjutnya *starter* tersebut akan digunakan sebagai pemicu dalam mempercepat pembentukan biogas dari sampah pasar yang telah diseleksi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dikemukakan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Dapatkah feses sapi dari kandang sapi di Fakultas Kedokteran Hewan (FKH) Universitas Airlangga diaktivasi menjadi *starter* pada suhu ruangan untuk produksi biogas?
2. Bagaimanakah pengaruh adanya sampah terhadap profil produksi biogas dengan menggunakan *starter* dari feses sapi?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. mengaktivasi feses sapi dari kandang sapi di Fakultas Kedokteran Hewan (FKH) Universitas Airlangga sebagai *starter* pada suhu ruangan untuk menghasilkan biogas.
2. menentukan pengaruh adanya sampah terhadap profil produksi biogas dengan menggunakan *starter* dari feses sapi.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk memperoleh *starter* yang dibuat dari feses sapi untuk mempercepat pembentukan biogas dari sampah pasar. Biogas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai alternatif sumber energi karena memiliki nilai kalori yang cukup tinggi. Selain itu proses produksi biogas ini dapat sebagai jalan keluar dalam menangani masalah tumpukan sampah yang terdapat di kota

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum Sampah**

Sampah adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil aktivitas manusia maupun proses alam yang belum memiliki nilai ekonomis (<http://www.iptek.net.id>).

Sampah adalah sesuatu yang tidak berguna lagi, dibuang oleh pemiliknya atau pemakai semula (Ristanti, 2001).

Sampah adalah barang atau sesuatu yang tidak dipakai lagi sehingga dibuang (Pratama, 2004).

Berdasarkan asalnya, sampah padat dapat digolongkan sebagai sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik terdiri dari bahan-bahan penyusun tumbuhan dan hewan yang diambil dari alam atau dihasilkan dari kegiatan pertanian, perikanan atau yang lain. Sampah jenis ini dengan mudah diuraikan dalam proses alami. Sampah rumah tangga sebagian besar merupakan bahan organik, yang termasuk sampah organik adalah: sampah dari dapur, sisa tepung, sayuran, kulit buah, dan daun.

Sampah anorganik berasal dari sumber daya alam tak terbarui seperti mineral dan minyak bumi, atau dari proses industri. Beberapa dari bahan ini tidak terdapat di alam seperti plastik dan aluminium. Sebagian zat anorganik secara keseluruhan tidak dapat diuraikan oleh alam, sedang sebagian lainnya hanya dapat diuraikan dalam waktu yang sangat lama. Sampah jenis ini pada tingkat rumah

tangga, misalnya berupa botol, botol plastik, tas plastik, kaleng, kertas, koran, dan karton merupakan perkecualian. Berdasarkan asalnya, kertas, koran, dan karton termasuk sampah organik. Tetapi karena kertas, koran, dan karton dapat didaur ulang seperti sampah anorganik lain (misalnya gelas, kaleng, dan plastik), maka dikelompokkan dalam sampah anorganik.

## **.2.2 Pemanfaatan Limbah Ternak**

Limbah ternak adalah sisa buangan dari suatu kegiatan usaha perternakaan seperti usaha pemeliharaan ternak, rumah potong hewan, pengolahan produk ternak, dll. Limbah tersebut meliputi limbah padat dan limbah cair seperti feses, urine, sisa makanan, embrio, kulit telur, lemak, darah, bulu, kuku, tulang, tanduk, isi rumen, dll. *Manure* yang terdiri dari feses dan urine merupakan limbah ternak yang terbanyak dihasilkan dan sebagian besar *manure* dihasilkan oleh ternak ruminansia seperti sapi, kerbau, kambing, dan domba (Sihombing, 2000 dalam Tarumingkeng, 2003).

Selain menghasilkan feses dan urine, dari proses pencernaan ternak ruminansia menghasilkan gas metan ( $\text{CH}_4$ ) yang cukup tinggi. Di Indonesia, emisi metan per unit pakan atau laju konversi metan lebih besar karena kualitas hijauan pakan yang diberikan rendah. Semakin tinggi jumlah pemberian pakan kualitas rendah, semakin tinggi produksi metan (Suryahadi, 2002 dalam Tarumingkeng, 2003).

Berdasarkan hasil analisis di peroleh bahwa feses sapi mengandung 22,59% sellulosa, 18,32% hemi-sellulosa, 10,20% lignin, 34,72% total karbon organik, 1,26% total nitrogen, 27,56 : 1 rasio C : N, 0,73% P, dan 0,68% K (Lingaiah dan Rajasekaran, 1986 dalam Tarumingkeng, 2003).

### **2.3 Biogas**

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses pembusukan (fermentasi) bahan-bahan organik oleh bakteri pada kondisi anaerob (hampa udara). Bahan-bahan organik adalah bahan-bahan yang dapat terurai kembali menjadi tanah (Anonim, 2003).

Biogas merupakan gas hasil aktivasi biologi melalui proses fermentasi anaerob dan merupakan energi terbarukan, karena ketersediannya dapat diperbaharui (Kadarwati, 2003).

Biogas adalah suatu hasil dari proses dekomposisi bahan-bahan organik dalam kondisi anaerob yang sebagian besar mengandung gas metan dan karbon dioksida (Abdul Kadir, 1987 dalam Ristanti, 2001).

Biogas merupakan suatu bahan bakar berguna yang diperoleh dengan memproses sisa pertanian basah, kotoran hewan dan manusia atau campurannya didalam alat yang dinamakan ‘penghasil biogas’ atau lebih dikenal sebagai digaster (Yul H Bahar, 1986 dalam Ristanti, 2001).

#### **2.3.1 Komposisi biogas**

Biogas merupakan campuran dari metan, karbon dioksida, nitrogen, hidrogen, oksigen dan hidrogen sulfida. Berikut ini data komposisi biogas :

Tabel 2.1. Komposisi biogas (Widarto, 1997)

Komposisi Biogas	Persentase (%)
Metan (CH <sub>4</sub> )	54-70
Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	27-45
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	3-5
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	0-1
Oksigen (O <sub>2</sub> )	0-0,1
Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0-1

Kandungan biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi adalah gas metan, berikut ini adalah beberapa sifat fisik dan kimia dari gas metan :

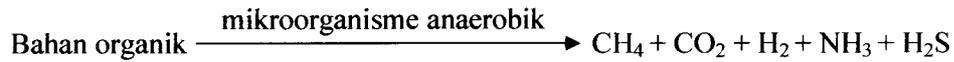
Tabel 2.2. Sifat fisik dan sifat kimia gas metan (Judoamidjojo, 1992)

Formula	CH <sub>4</sub>
Berat molekul	16,042
Titik didih pada 14,696 psia (760 mm)	-258,68 F (-161,49 °C)
Titik beku pada 14,696 psia (760 mm)	-296,46 F (-182,48 °C)
Tekanan kritis	673 psia (47,363 Kg/cm)
Suhu kritis	-161,5 F (-82,5 °C)
Berat jenis :	
Cair (pada 262,2 F/-164 °C)	0,415
Gas (77 F/25 °C dan 1 atm)	0,000658
Volume spesifik pada 60 F (15,5 °C) dan 1 atm	23,16 ft <sup>3</sup> /lb
Nilai kalori 60 F (15,5 °C) dan 1 atm	7012Btu/ft <sup>3</sup> (38130,71 KJ/m)
Udara yang diperlukan untuk pembakaran ft <sup>3</sup> /ft <sup>3</sup>	9,53
<i>Flammibility limits</i>	5-15 % volume
<i>Octane rating</i>	130
Titik nyala	1202 F (650 °C)
Reaksi pembakaran	CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O
O <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> untuk pembakaran sempurna	3,98 (by weight) 2,0 (by value)
CO <sub>2</sub> /CH yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna	7,4 (by weight) 1,0 (by value)

### 2.3.2 Proses pembentukan biogas

Pembentukan biogas berlangsung melalui suatu proses fermentasi anaerobik. Proses fermentasinya merupakan suatu reaksi oksidasi-reduksi di dalam sistem biologis yang menghasilkan energi, dimana sebagai donor dan

akseptor elektronnya digunakan senyawa organik (Judoamidjojo, 1992). Reaksi pembentukan biogas secara umum dapat digambarkan sebagai berikut (Polprasert, 1989) :



Proses anaerobik bahan organik meliputi 3 tahap, yaitu tahap hidrolisis, tahap pembentukan asam dan pembentukan gas metan.

#### 1. Tahap Hidrolisis

Sampah organik terdiri dari sejumlah senyawa organik polimer kompleks seperti protein, lemak, karbohidrat, selulosa, lignin dan sebagainya. Pada tahap ini senyawa tersebut dipecah oleh enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh bakteri hidrolitik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan terlarut dalam air. Protein menjadi asam amino, karbohidrat menjadi glukosa, dan lemak menjadi asam lemak rantai panjang. Komponen organik yang terbentuk akan mudah untuk dipakai oleh bakteri penghasil asam.

#### 2. Tahap Pembentukan Asam

Polimer organik yang telah disederhanakan pada tahap hidrolisis, lebih lanjut akan dikonversi menjadi asam asetat, asam-asam lemak, H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> oleh bakteri astogen. Asam lemak volatil diproduksi sebagai produk antara metabolisme bakteri dari protein, lemak dan karbohidrat, dimana asam propionat dan asam laktat adalah produk utamanya. Karbondioksida dan hidrogen juga dilepaskan dari proses katabolisme karbohidrat bersama metanol dan alkohol sederhana lainnya.

### 3. Tahap Pembentukan Gas Metan

Senyawa yang dihasilkan pada tahap hidrolisis dan tahap pembentukan asam diubah menjadi gas metan dan karbondioksida oleh bakteri metanogen. Bakteri metanogen adalah bakteri obligat anaerob yang pada umumnya laju pertumbuhannya lebih lambat dari pada bakteri-bakteri ditahap sebelumnya. Laju pertumbuhan bakteri obligat anaerob dibatasi oleh adanya oksigen.

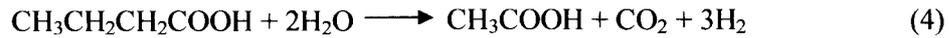
Bakteri metanogen menggunakan asam asetat, metanol, atau karbondioksida dan hidrogen untuk menghasilkan metan. Asam asetat merupakan substrat yang paling penting untuk pembentukan metan. Kurang lebih 70 % gas metan yang terbentuk berasal dari asam asetat. Keberadaan bakteri metanogen sangat tergantung pada ketersediaan nutrien yang dihasilkan oleh bakteri-bakteri ditahap sebelumnya.

Pengubahan  $H_2$  menjadi  $CH_4$  oleh bakteri metanogen membantu mengurangi tekanan parsial  $H_2$ . Jadi secara mikrobiologis proses penguraian anaerobik melibatkan tiga kelompok utama bakteri, yaitu bakteri hidrolitik dan fermentatif, bakteri astogen, dan bakteri metanogen (*acetoclastic bacteria* dan *hydrogen-utilizing methane bacteria*).

Bakteri astogen berperan didalam hidrolisa dan perombakan senyawa organik kompleks menjadi produk sederhana seperti  $CO_2$  dan  $H_2$ , dan asam lemak volatil melalui dua jalur utama seperti terlihat di bawah ini :



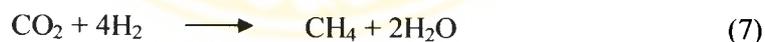
Kemudian asam propionat dan asam butirat diubah oleh bakteri astogen ke bentuk asetat, dengan persamaan :



Produk dari persamaan (1) dapat digunakan secara langsung oleh *acetoclastic bacteria* (persamaan 5) dan *Hydrogen-utilizing methane bacteria* (persamaan 6) untuk memproduksi metan.

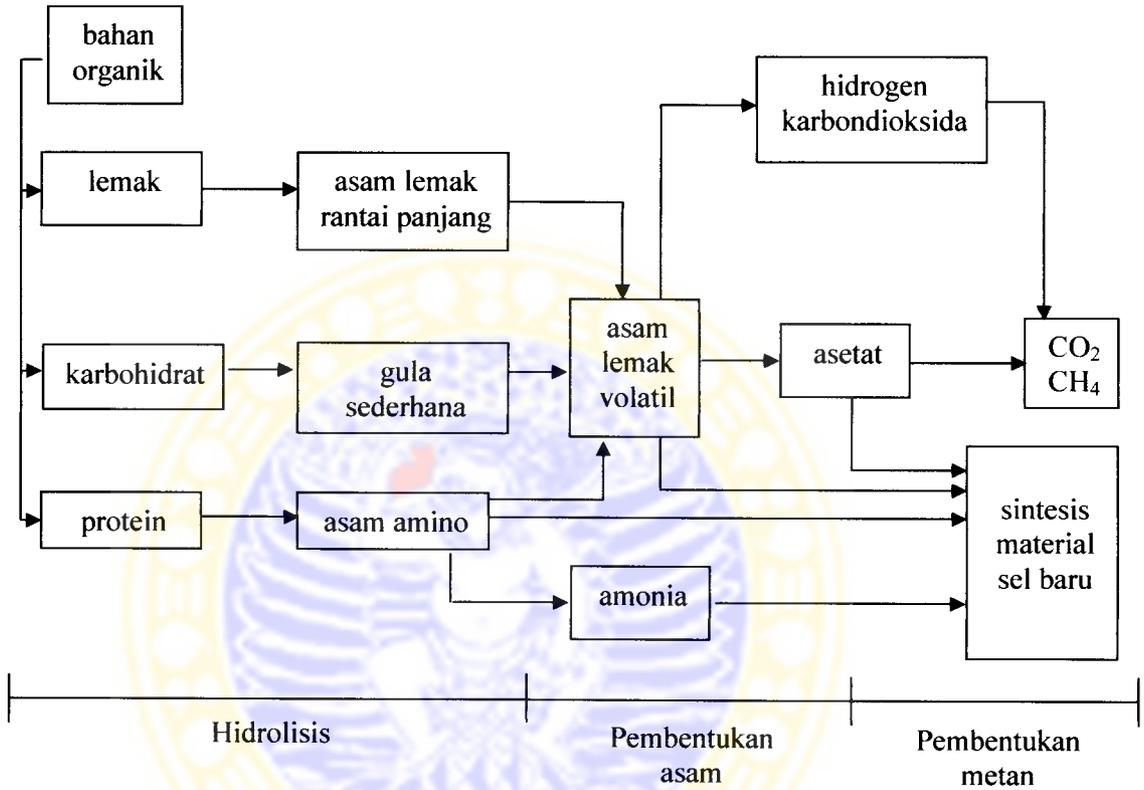


*Hydrogen-utilizing methane bacteria* merupakan bakteri obligat anaerobik yang memperoleh energi dari oksidasi hidrogen dan sumber karbon berasal dari karbondioksida. Beberapa jenis dari bakteri ini dapat menggunakan asam format sebagai satu-satunya substrat. Proses ini disebabkan karena asam format mudah dikonversi ke bentuk karbondioksida dan hidrogen. Selanjutnya karbondioksida dan hidrogen dikonversi menjadi  $\text{CH}_4$ . Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Pertumbuhan bakteri metanogen (*acetoclastic bacteria* dan *hydrogen-utilizing methane bacteria*) dapat terganggu oleh akumulasi hidrogen, yang dibentuk oleh bakteri-bakteri pembentuk hidrogen pada tahap sebelum metagenesis. Bakteri metanogen mencegah akumulasi  $\text{H}_2$  dengan cara

menggunakannya untuk proses konversi asam asetat menjadi metan. Reaksi yang terjadi adalah :



Gambar 1. Proses anaerobik pada senyawa organik (Polprasert, 1989)

### 2.3.3 Bakteri-bakteri yang berperan dalam pembentukan biogas

Menurut Suriawirya (1996) ada tiga kelompok mikroba (umumnya bakteri) yang berperan dalam proses degradasi karbohidrat secara anaerob untuk menghasilkan biogas, dimana ketiga bakteri tersebut bekerja secara simbiosis. Bakteri tersebut adalah :

- a. Kelompok bakteri hidrolitik dan fermentatif : *Streptococci*, *Bacteroides*, dan beberapa jenis *Enterobacteriaceae*.
- b. Kelompok bakteri asetonogen : *Methanobacillus*, *Desulfovibrio*, dan sebagainya.
- c. Kelompok bakteri metanogen : *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus*.

Selama proses pembentukan metan, sangat dipengaruhi oleh kerja bakteri *Methanobacterium* dengan spesies *M. formicicum*, *M. omelianski*, *M. sohngeni*, *M. suboxydans*, *M. nazei*, *M. vanielli*, *M. methanicus*, dan *M. barkeri*.

### 2.3.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan biogas

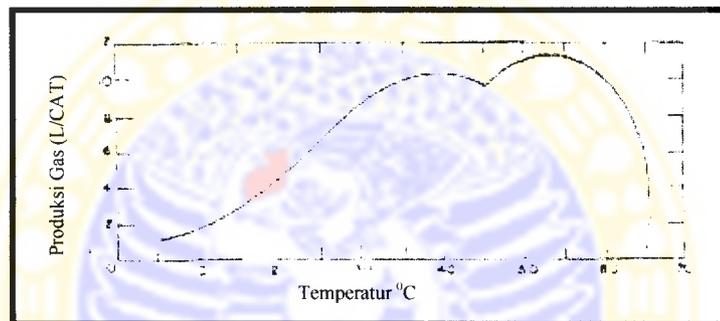
Faktor-faktor yang berpengaruh dalam pembentukan biogas adalah.

#### 1. Suhu

Suhu berpengaruh dalam kecepatan pembentukan biogas, bakteri metanogen lebih sensitif terhadap perubahan suhu dibandingkan organisme lainnya dalam biodigester (biodigester adalah suatu reaktor atau tabung (*tank*) tertutup yang berisi bahan isian, dapat dikendalikan suhunya dan dapat diaduk). Suhu yang harus dipertimbangkan dalam pembentukan biogas ada dua kondisi, yaitu : kondisi mesofilik (25-40 °C) dan kondisi termofilik (50-65 °C) (Price dan

Cheremisinoff, 1981). Kecepatan produksi gas metan meningkat sebanding dengan peningkatan suhu, tetapi terjadi penurunan drastis pada suhu 45 °C karena suhu tersebut tidak disukai oleh kedua jenis bakteri, baik mesofilik maupun termofilik.

Menurut Masjhudi (2003), proses fermentasi feses sapi menghasilkan biogas optimum pada suhu 40,8 °C, sedangkan menurut Sardjoko (1991) penguraian dibawah suhu 10 °C akan berjalan sangat lambat.



Gambar 2. Pengaruh suhu pada produksi biogas (Price dan Cheremisinoff, 1981)

## 2. pH

Produksi biogas yang optimum didapatkan bila nilai pH dari biodigestor berkisar antara 6-7. Pada awal proses fermentasi akan terjadi penurunan pH (berada pada pH dibawah 5). Hal ini akan menghambat proses fermentasi, rentang pH optimal untuk pertumbuhan bakteri metanogen berkisar antara 6,8-7,8 (Judoamidjojo, 1992). Pada pH 5,5 bakteri pembentuk asam dapat hidup, sedangkan bakteri metanogen akan terhambat aktivitasnya (Cheremisinoff, 1981). Kemudian bila prosesnya berlanjut, konsentrasi amonia akan meningkat yang

menyebabkan pH di atas 8. Jika produksi metan sudah relatif stabil maka pH dalam biodigester akan stabil pada 7,2-8,2.

### 3. Kadar Air

Dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme tergantung kadar air. Biogas secara optimum dihasilkan pada bahan isian (campuran antara sumber mikroba dan sampah) yang mengandung 10-15% bahan kering atau kadar air 85-90% (diaz, 1993). Bila bahan isian terlalu cair, partikel padatan akan mengendap dibagian bawah biodigester, dan jika kadar air terlalu sedikit maka partikel akan mengganggu kecepatan pembentukan gas.

### 4. Rasio C/N

Proses pembentukan biogas dipengaruhi oleh rasio C/N dari bahan isian yang digunakan. Rasio C/N yang optimal berhubungan dengan aktifitas metabolisme dalam jasad hidup. Rasio C/N yang ideal untuk memproduksi biogas adalah 25-30 (Budyanto, 2002). Kebutuhan karbohidrat sebagai sumber C dan energi bermanfaat untuk memperbanyak sel mikroorganisme. Sedangkan unsur N untuk pembentukan protoplasma. Rasio C/N membutuhkan perbandingan yang optimum agar kehidupan dan aktifitas bakteri dapat berlangsung dengan baik.

Kekurangan unsur C atau N dari bahan isian yang digunakan dapat diatasi dengan melakukan penambahan bahan yang mengandung C atau N sehingga diperoleh rasio C/N yang ideal. Misalnya dengan menambahkan 0,5-1% urea pada bahan isian berupa sampah, cara lain adalah kombinasi bahan contohnya kotoran sapi dengan jerami padi (Sahidu, 1983).

Tabel 2.3. Kadar N, rasio C/N dan bahan kering dari beberapa bahan (Rukmawati, 1996)

Bahan	Rasio C/N	Kadar N (%)	Bahan Kering (%)
Kotoran ayam	15	6,3	25
Kotoran kuda	25	2,8	-
Kotoran sapi	18	1,7	18
Kotoran manusia	6-10	5,5-6,5	11
Buangan RPH	2	7-10	-
Sampah kota	54	1-0,5	-
Jerami jelai	68	1-0,5	-
Sayuran	12	3,6	-
Rumput muda	12	4	-

#### 5. Laju Pencampuran

Homogenitas campuran mempengaruhi produksi biogas, untuk mempertahankan homogenitas perlu dilakukan pengadukan sehingga tidak terbentuk kerak (*scum*) pada permukaan campuran bahan isian. Terbentuknya kerak pada permukaan dapat menghambat produksi biogas, selain itu pengadukan berfungsi untuk mencampurkan mikroba dengan substrat serta menyamakan temperatur di dalam biodigester.

#### 6. Ukuran Partikel

Ukuran partikel berbanding lurus terhadap laju fermentasi, semakin kecil partikel bahan isian maka semakin cepat laju fermentasi. Partikel yang kecil mempunyai luas permukaan yang besar sehingga reaksi bio-kimiawi dapat semakin cepat terjadi.

#### 7. Total Solid (TS)

*Total solid* (TS) merupakan total berat kering dari sampel yang akan dikonversi menjadi biogas. Menurut Budiyanto (2002), total berat kering yang mampu mendukung produksi biogas yang optimal adalah antara 7 – 9 %.

## 7. Zat Toksik

Zat toksik merupakan zat berbahaya yang dapat mengancam dan mengganggu aktifitas dan pertumbuhan bakteri yang berada dalam unit reaktor. Zat ini kemungkinan masuk bersamaan dengan bahan isian, oleh karena itu bahan isian perlu dihindarkan dari bahan-bahan toksik. Zat-zat toksik menurut Rukmawati (1996) dapat berupa antibiotik, air sabun dan kreolin.

### 2.4 Starter

*Starter* adalah biakan mikroba tertentu yang ditumbuhkan di dalam substrat, untuk tujuan proses tertentu. Kemungkinan penggunaan *starter* untuk proses pembuatan biogas tidak dapat diabaikan, apalagi dengan penggunaan bahan isian yang berupa buangan misalnya sampah. Hal ini disebabkan karena bentuk dan sifat sampah yang aneka ragam bentuknya, susunan dan sifatnya, serta kemungkinan besar didalamnya terkandung bakteri metan yang terbatas sehingga walaupun dalam sampah terdapat bakteri metan kemungkinan besar berasal dari jenis yang tidak atau kurang efektif selama proses.

*Starter* berdasarkan jenisnya dapat dibagi menjadi beberapa tipe yang didalamnya mengandung bakteri metan (Suriawirya, 1996).

1. *Starter*-alami : sumber bakteri berasal dari alam yang diketahui mengandung kelompok bakteri metan, misalnya lumpur-aktif, timbunan sampah lama, dan timbunan kotoran hewan.
2. *Starter* semi-buatan : sumber bakteri berasal dari bejana pembuatan biogas, dimana diharapkan bahwa kandungan kelompok bakteri metan didalamnya berada dalam kondisi aktif dan efektif.

3. *Starter* buatan : sumber bakteri metan dengan sengaja dibuat, baik dalam media alami (sampah, lumpur, kotoran kandang, dan sebagainya) ataupun media buatan (sumber nutrisi dalam bentuk padat ataupun cair), sedangkan kelompok bakteri metan sebelumnya dibiakkan secara laboratorium.

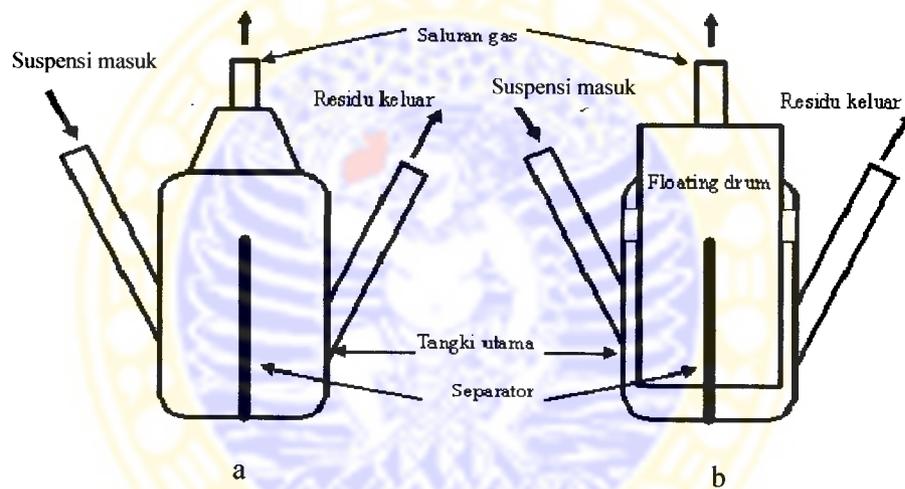
## 2.5 Reaktor Biogas

Dilihat dari sisi konstruksinya, reaktor biogas dibedakan menjadi dua jenis yaitu *fixed dome* dan *floating drum*. *Fixed dome* mewakili bentuk reaktor yang memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan di dalam reaktor. Sedangkan pada *floating drum* memiliki bagian dari bentuk reaktor yang dapat bergerak menyesuaikan dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian reaktor tersebut juga menjadi tanda telah dimulainya produksi gas dalam reaktor biogas (Indartono, 2005).

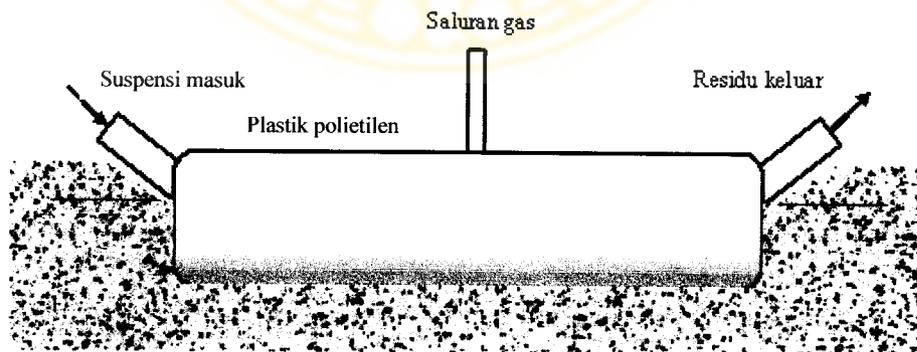
Bila dilihat dari aliran bahan isian, reaktor biogas dibagi menjadi dua yaitu, tipe *batch* (bak) dan *continuous* (mengalir). Pada tipe bak, bahan isian reaktor ditempatkan di dalam wadah (ruang tertentu) dari awal hingga selesainya proses pencernaan, tipe *batch* hanya umum digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari suatu jenis limbah organik. Sedangkan pada jenis mengalir, ada aliran bahan isian masuk dan residu keluar pada selang waktu tertentu (Indartono, 2005).

Reaktor jenis *fixed dome* maupun *floating drum* memiliki kelemahan dari segi biaya, karena membutuhkan biaya yang tidak murah dalam pembuatannya (anonim, 2003). Oleh karena itu di beberapa negara ketiga menggunakan bahan

yang lebih murah dan mudah didapat, seperti kantung (tubular) polietilen (Aguilar, 2001), atau material plastik lainnya seperti Silpaulin (anonim, 2003). Reaktor biogas dari kantung polietilen ini pada dasarnya tergolong reaktor jenis *fixed dome*. Menurut Aguilar (2001) kantung polietilen yang dipasang 2 lapis dan di bagian atas reaktor dipasang atap sederhana untuk melindungi reaktor dari panas matahari dan hujan, maka reaktor dapat digunakan hingga 10 tahun. Kerusakan yang umumnya terjadi pada reaktor jenis ini adalah sobeknya lapisan polietilen dan ketidاكلancaran aliran *slurry* di dalam reaktor akibat sedimentasi.



Gambar 3. Reaktor biogas, (a) *fixed dome* dan (b) *floating drum* (Indartono, 2005)



Gambar 4. Reaktor biogas dari bahan plastik polietilen (Indartono, 2005)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Kimia Organik-Biokimia dan gedung Instalansi Pengolahan Air dan Limbah (IPAL) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga Surabaya pada bulan Pebruari-Juli 2006.

#### **3.2 Sampel**

Sampel penelitian yang digunakan berupa feses sapi dan sampah pasar. Feses sapi diperoleh dari Fakultas Kedokteran Hewan, Universitas Airlangga, Surabaya. Sampah pasar diperoleh dari pasar Keputran Surabaya.

#### **3.3 Bahan dan Alat Penelitian**

##### **3.3.1 Bahan penelitian**

Bahan penelitian untuk pembuatan reaktor anaerob sederhana adalah plastik polietilen ukuran  $40 \times 40 \times 60 \text{ cm}^3$ . Bahan kimia yang digunakan adalah logam Zn,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat (96 %),  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , NaOH, HCl, indikator fenolftalein, indikator metil merah.

### 3.3.2 Alat penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa peralatan gelas yang biasa digunakan di Laboratorium Kimia Organik-Biokimia, botol pencuci gas, seperangkat alat labu Kjeldahl, termometer raksa 100 °C, buret, oven, *furnace*, neraca analitik, pemanas elektrik untuk melekatkan plastik, saluran pembuatan gas dan klem penjepit selang.

### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini terdiri dari :

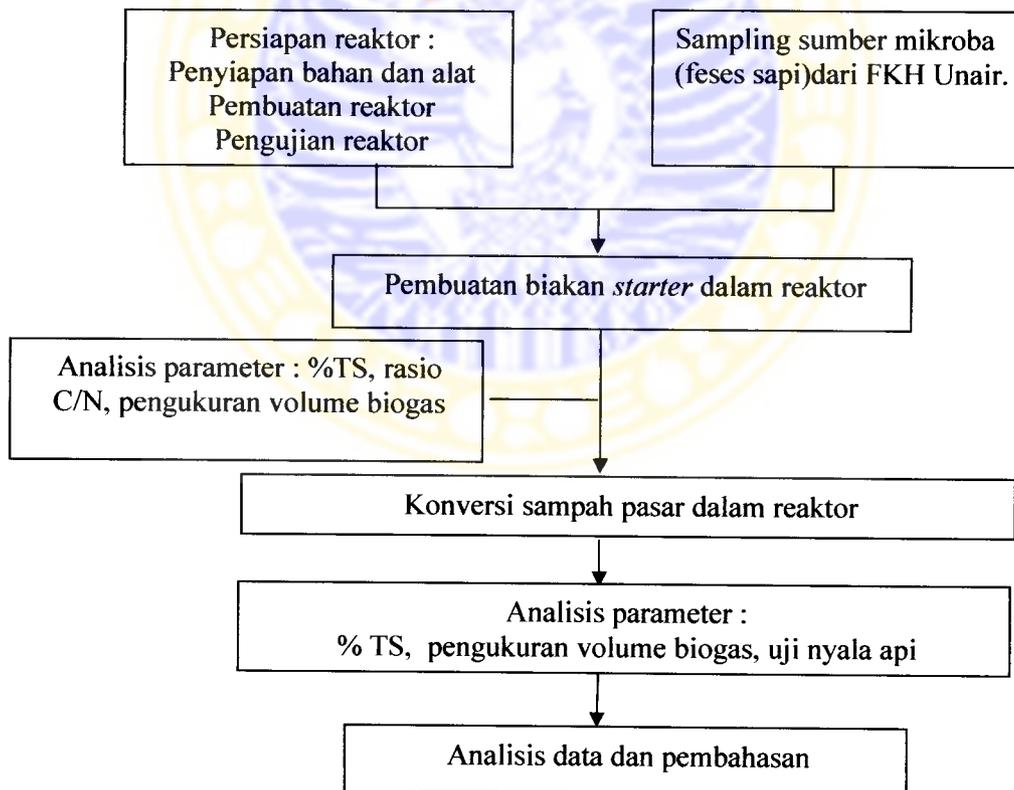
1. variabel terikat : volume biogas
2. variabel terkontrol : suhu
3. variabel bebas : jenis Biomassa sumber biogas

### 3.5 Definisi Operasional Variabel Penelitian

Keterangan	Pengertian
Volume biogas	Sebanding dengan volume air yang dipindahkan akibat desakan biogas dari botol pencuci gas yang dihasilkan oleh biodigestor pada tekanan 1,0027 atm dalam rangkaian alat yang dirakit menurut Gambar 6.
<i>Total solid</i> (TS)	Berat kering sampah pasar, feses sapi, atau <i>starter</i> dalam satuan % b/b yang ditentukan dengan pemanasan pada suhu 105 °C sampai diperoleh berat konstan.
Rasio C/N	Perbandingan kadar karbon dan nitrogen yang terdapat

	dalam sampah pasar, feses sapi, atau <i>starter</i> yang ditentukan dengan metode analisis <i>volatile solid</i> untuk kadar karbon dan metode makro Kjeldahl yang dimodifikasi untuk kadar nitrogen .
Suhu	Suhu ruang tempat penyimpanan biodigestor dalam satuan $^{\circ}\text{C}$ yang ditentukan dengan menggunakan termometer raksa $100^{\circ}\text{C}$ .
Jenis biomassa sumber biogas	Biomassa yang digunakan berupa feses sapi dan sampah pasar.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

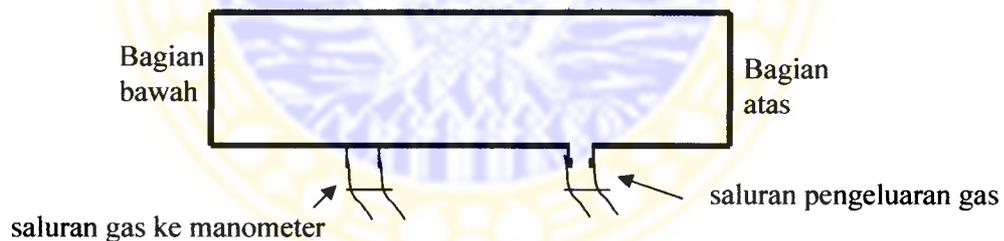


### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Pembuatan perangkat reaktor

Perangkat reaktor dibuat dari plastik polietilen dengan ukuran (40 x 40 x 60 cm<sup>3</sup>). Bagian atas plastik ditutup dengan menggunakan alat pemanas elektrik dan klem. Selanjutnya dibuat lubang berukuran 0,5 cm pada 2/3 bagian panjang kantong plastik, dan dipasang baut berlubang yang diberi alas pelat dari bahan karet. Baut dihubungkan dengan selang plastik yang dilengkapi dengan klem penjepit. Biodigester adalah suatu reaktor atau tabung (*tank*) tertutup yang berisi bahan isian, dapat dikendalikan suhunya dan dapat diaduk.

Uji kebocoran reaktor plastik dilakukan dengan memasukkan udara ke dalam reaktor tersebut, kemudian dicelupkan ke dalam bak berisi air. Terbentuknya gelembung-gelembung udara dalam bak air menandakan adanya kebocoran.



Gambar 5. Reaktor biogas

#### 3.7.2 Pembuatan biakan *starter*

Biakan *starter* dibuat dengan cara menginkubasi campuran feses sapi dan air dengan perbandingan volume 1:1 pada suhu ruangan dalam kondisi anaerob.

Perbandingan volume 1:1 diperoleh dengan cara mencampurkan feses sapi sebanyak 2,5 L (setara dengan 2,4 Kg) dengan air sebanyak 2,5 L sehingga diperoleh volume akhir campuran sebanyak 5 L, kemudian dicampur sampai homogen. Seluruh suspensi ini dimasukkan dalam reaktor, kemudian diinkubasi pada suhu ruangan selama  $\pm 45$  hari. Pengukuran volume biogas dilakukan tiga sampai empat kali selama kurun waktu inkubasi. Pembuatan biakan *starter* ini dilakukan secara duplo.

### 3.7.3 Konversi biomassa menjadi biogas

Dua buah reaktor disiapkan untuk produksi biogas, dimana volume akhir campuran dari kedua reaktor tersebut adalah 1,5 L dengan komposisi sebagai berikut. Reaktor pertama berisi feses sapi, *starter* dan air dengan perbandingan volume 1:1:1. Reaktor kedua berisi sampah, *starter* dan air dengan perbandingan volume 1:1:1. Pembuatan biodigester untuk proses konversi sampah menjadi biogas ini dilakukan secara duplo.

Komposisi bahan isian reaktor pertama adalah 500 mL feses sapi (setara dengan 400 g), 500 mL *starter* (setara dengan 660 g) dan 500 mL air. Komposisi bahan isian reaktor kedua adalah sampah organik yang telah dipotong kecil sebanyak 500 mL (setara dengan 500 g), 500 mL *starter* (setara dengan 660 g), dan 500 mL air. Semua biodigester diinkubasi pada suhu ruangan kemudian dilakukan pengukuran volume biogas yang dihasilkan sampai biodigester tidak menghasilkan biogas lagi.

### 3.7.4 Analisis parameter

Beberapa parameter yang diamati untuk menunjukkan berlangsungnya proses konversi biokimiawi biomassa menjadi biogas dalam suatu biodigester, sebagai berikut :

#### 3.7.4.1 Total solid (TS)

Nilai *total solid* (TS) bahan isian didapat dari rata-rata jumlah TS dari masing-masing bahan. TS dari bahan isian ditentukan pada kondisi sebelum dan sesudah proses konversi biogas.

Penentuan TS dilakukan dengan menentukan berat konstan sampel setelah dipanaskan pada suhu 105 °C dengan metode gravimetri (Alaerts, 1987). Langkah-langkah yang dilakukan adalah cawan porselin dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam, selanjutnya cawan porselin didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang kembali beratnya, misal didapat berat konstan a g. Ditimbang sampel kurang lebih sebanyak 2 g dalam cawan porselin kemudian didapat beratnya, misal adalah b g. Selanjutnya cawan porselin (b g) dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam. Selanjutnya cawan didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang kembali beratnya, misal berat adalah c g. Penentuan TS dilakukan dengan perhitungan :

$$\% \text{ kadar air} = \frac{b-c}{b-a} \times 100\%$$

$$\% \text{ TS} = 100\% - \% \text{ kadar air}$$

Keterangan : berat (a) dan (c) harus ditimbang sampai kondisi konstan

### 3.7.4.2 Rasio C/N

Penentuan rasio C/N dari bahan isian ditentukan dengan membandingkan kadar karbon (C) dan nitrogen (N).

Kadar C ditentukan dengan metode analisis *volatile solid* (Alaerts, 1987) dengan prinsip pemanasan pada suhu 550 °C. Langkah yang dilakukan sebagai berikut, krus porselin dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 550 °C selama 1 jam, kemudian dibiarkan dingin dalam *furnace*, dan ditimbang beratnya, misal berat adalah x g. Sampel yang telah hilang kelembabannya ditimbang sebanyak 2 g dengan teliti dengan timbangan analitik dan, ditaruh ke dalam krus porselin dan ditimbang kembali, misal berat adalah y g. Selanjutnya krus porselin (y g) dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 550 °C selama 1 jam, kemudian dipindahkan ke dalam oven selama 30 menit. Tahap akhir krus porselin didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang beratnya, misal berat adalah z g. Kadar C ditentukan dengan perhitungan :

$$\% \text{ VS} = \frac{y-z}{y-x} \times 100\%$$

$$\% \text{ C} = \frac{\% \text{ VS}}{1,8}$$

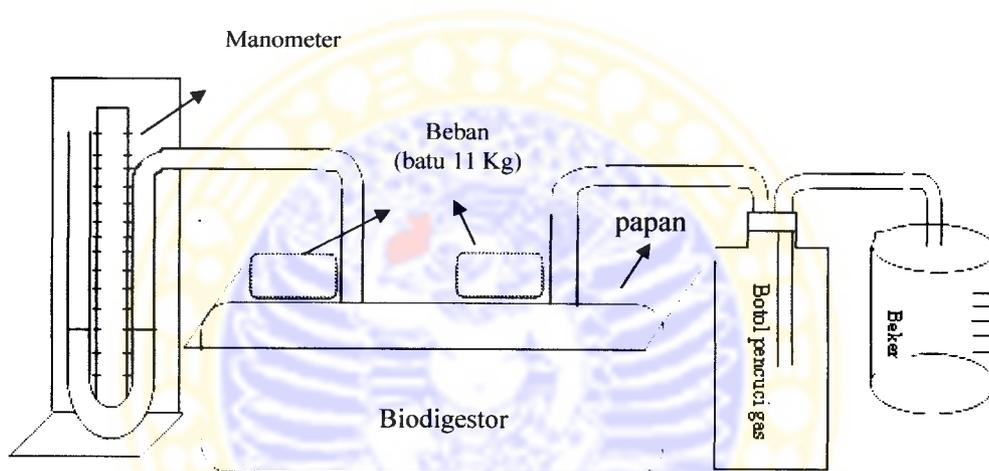
Kadar N ditentukan dengan metode analisis N-total cara makro Kjeldahl yang dimodifikasi (Sudarmadji, 1997) dengan prinsip nitrogen yang ada dalam zat organik dirubah melalui proses digesti, kemudian amoniak akan terikat (terlarut) pada suasana asam kuat. Langkah yang dilakukan sebagai berikut : ditimbang 1 g sampel dengan teliti dengan timbangan analitik kemudian dimasukkan ke dalam

labu Kjeldahl. Kemudian ditambahkan 7,5 g  $K_2SO_4$ , 1 g  $CuSO_4$  dan 15 mL  $H_2SO_4$  pekat. Selanjutnya labu Kjeldahl dipanaskan dengan api besar dalam lemari asam sampai berhenti berasap dan cairan menjadi jernih. Kemudian pemanasan diteruskan sampai kurang lebih 1 jam, setelah itu didinginkan. Larutan yang telah dingin dipindahkan ke labu desuasi, yang direndam dalam air es, selanjutnya labu Kjeldahl dicuci dengan akuades 100 mL dan larutan dipindahkan kembali ke dalam labu destilasi. Selanjutnya tambahkan logam Zn, NaOH 50 % sebanyak 50 mL dan indikator fenolftalein untuk mengetahui suasana menjadi basa. Setelah campuran dalam labu destilasi dingin selanjutnya didestilasi perlahan-lahan sampai dua lapisan tercampur dan mendidih. Destilat ditampung ke dalam Erlenmeyer yang telah diisi dengan 50 mL larutan standar HCl 0,1 N dan 5 tetes indikator metil merah sampai volume total destilat yang tertampung 75 mL. Selanjutnya destilat dititrasi dengan larutan standar NaOH 0,1 N sampai larutan berwarna kuning. Kemudian dibuat juga larutan blanko dengan mengganti sampel bahan dengan akuades, selanjutnya dilakukan destruksi, destilasi, dan titrasi seperti pada sampel. Perhitungan kadar N dengan rumus :

$$\%N = \frac{(mL \text{ NaOH blanko} - mL \text{ NaOH sampel}) \times M \text{ NaOH} \times 100 \times 14,008}{\text{gram sampel} \times 1000}$$

### 3.7.4.3 Pengukuran volume biogas

Pengukuran volume biogas yang dihasilkan dari setiap biodigester dilakukan dengan menggunakan botol pencuci gas, sedangkan untuk mengukur tekanan digunakan manometer. Biogas yang dihasilkan oleh biodigester dialirkan melewati botol pencuci gas dengan bantuan beban (batu) sebesar 11 Kg, sehingga volume air yang berpindah dari botol pencuci gas sebanding dengan volume biogas yang dihasilkan.



Gambar 6. Seperangkat alat pengukur volume biogas

### 3.7.4.4 Uji nyala api

Uji nyala api dilakukan dengan menghubungkan biodigester yang telah terisi biogas dengan selang yang telah dilengkapi jarum suntik di bagian ujungnya. Biogas yang dihasilkan dikeluarkan melalui selang dengan tekanan perlahan dan secara teratur. Biogas yang keluar dari jarum suntik langsung dibakar dengan api (pada penelitian ini digunakan lilin). Adanya biogas ditunjukkan dengan timbulnya nyala api yang berwarna biru.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembuatan Biakan *Starter*

Tahap awal pada penelitian ini adalah membuat biakan *starter*, yaitu biakan konsorsium bakteri penghasil biogas yang sedang dalam fase membelah aktif. Pembuatan biakan *starter* dilakukan dengan cara mencampur feses sapi dan air pada perbandingan volume 1:1 atau 2,5 L feses sapi (setara dengan 2,4 Kg) dan 2,5 L air sehingga diperoleh volume total 5 L. Feses sapi yang digunakan dalam pembuatan biakan *starter* ini adalah yang baru (segar). Jika feses sapi tidak dalam kondisi baru, sudah lama berinteraksi dengan udara terbuka maka diperkirakan kemampuan feses sapi sebagai sumber mikroba anaerob sudah tidak optimal lagi, bahkan mikroba anaerob dapat lenyap. Mikroba penghasil gas metan (bakteri metanogen) adalah bakteri anaerob sehingga keberadaan oksigen menghambat pertumbuhan mikroba ini, bahkan adakalanya mematikannya.

Feses sapi dan air yang sudah dicampur kemudian diaduk merata sampai membentuk suspensi homogen, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor dan diinkubasi selama kurang lebih 1,5 bulan pada suhu ruangan (28 °C). Inkubasi ini bertujuan untuk mendapatkan biakan *starter*. Pertumbuhan bakteri yang sedang berada dalam kondisi aktif membelah biasanya ditentukan dari kurva pertumbuhan, yaitu pada fase logaritmik yang secara kualitatif dan kuantitatif mikroba berada pada kondisi optimum. *Starter* untuk produksi biogas juga memerlukan kondisi yang demikian, akan tetapi pembuatan kurva pertumbuhan

konsorsium bakteri menggunakan substrat (biomassa) tidak dapat ditunjukkan. Oleh karena itu pada penelitian ini jumlah gas yang diproduksi dijadikan sebagai indikator bahwa konsorsium bakteri dalam kondisi aktif membelah. Pembentukan biakan *starter* ditandai dengan produk biogas di dalam reaktor yang grafiknya masih meningkat. Reaktor untuk pembuatan *starter* maupun untuk produksi biogas yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bentuk *fixed dome* (Aguilar, 2001) dengan proses fermentasi sistem *batch*. Pada sistem *batch* bahan isian dimasukkan ke dalam reaktor satu kali di awal proses pencernaan dan dibiakkan atau diinkubasi sampai akhir proses pembentukan biogas kemudian bahan isian diganti dengan yang baru.

#### **4.2 Penentuan *Total Solid* (TS) Feses Sapi dan Biakan Starter**

Nilai TS sampel menyatakan jumlah berat kering bahan isian yang akan dikonversi menjadi biogas selama proses fermentasi anaerob *Total solid* (TS) yang baik untuk proses pembentukan biogas dalam biodigester berada dalam kisaran 2,5 % sampai 8 % (Ciwem, 1996). Biodigester yang memiliki nilai TS  $\geq$  8 % dinamakan biodigester kering. Kondisi campuran bahan isian dalam biodigester pada penelitian ini diupayakan memiliki nilai TS 2,5 % sampai 8 % dengan alasan sebagai berikut. Bahan isian yang memiliki nilai TS  $<$  2,5 % sangat tidak diharapkan karena pada kondisi ini populasi bakteri metanogen cepat berkurang bahkan cepat hilang dari sistem sehingga proses pembentukan biogas akan berhenti. Sedangkan TS bahan isian  $\geq$  8 % (biodigester kering) sering juga

digunakan asalkan proses pencampurannya dapat dipastikan dapat homogen. Data TS feses sapi ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Nilai *total solid* (TS) awal feses sapi

<b>Keterangan</b>	<b>TS (%) I</b>	<b>TS (%) II</b>	<b>TS (%) III</b>	<b>TS (%) Rata-rata</b>
Feses sapi	16,65	16,67	16,68	16,67

Berdasarkan data TS awal feses sapi pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata TS yaitu 16,67 % dan kadar air 83,33 %. Kadar air yang cukup tinggi sangat menguntungkan, karena air berfungsi membantu proses berlangsungnya degradasi bahan organik, membantu dalam mendistribusikan kelembaban berserta nutrisi terlarut. Nilai TS feses sapi yang diperoleh pada penelitian ini berbeda dengan nilai TS feses sapi pada penelitian sebelumnya, Widarto (1997) melaporkan nilai TS feses sapi adalah 20 % sedangkan Rukmawati (1996) menyebutkan nilai TS feses sapi adalah 18 %. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan sumber makanan sapi, namun diharapkan perbedaan nilai yang diperoleh tidak mempengaruhi secara signifikan dalam proses pembentukan biogas. Feses sapi dengan TS 16,67 % digunakan untuk pembuatan biakan *starter* dengan cara mencampur feses sapi dengan air (pada perbandingan volume 1 : 1) sehingga diperoleh nilai TS awal biakan *starter* 8,16 % (lampiran 5). Nilai TS awal dari biakan *starter* ini menunjukkan bahwa kondisi di dalam biodigester berada dalam kondisi sangat baik untuk memproduksi biogas, sesuai dengan pendapat Budiyanto (2002) yang menyatakan produksi biogas baik pada rentang nilai TS 7-9 %.

Biakan *starter* diinkubasi selama kurang lebih 36 hari, kemudian ditentukan nilai TS akhirnya sebelum digunakan untuk mengkonversi biomassa (feses sapi dan sampah pasar). Data nilai TS akhir dari biakan *starter* ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai *total solid* (TS) akhir biakan *starter*

<b>Keterangan</b>	<b>TS (%) I</b>	<b>TS (%) II</b>	<b>TS (%) III</b>	<b>TS (%) Rata-rata</b>
<i>Starter</i>	7,81	7,84	7,82	7,82

Berdasarkan data TS akhir biakan *starter* pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai rata-rata TS adalah 7,82 % dan kadar air 92,18 %. Selama proses aktivasi biakan *starter* dalam kurun waktu 36 hari, sebanyak 0,35 % TS biakan *starter* telah dikonversi menjadi biogas. Nilai rata-rata TS akhir 7,82 % dari biakan *starter* menunjukkan bahwa proses biokonversi bahan kering menjadi biogas di dalam biodigester masih dapat terus berlangsung, karena pada nilai TS ini kondisi biodigester masih cukup baik untuk media hidup konsorsium bakteri terutama bakteri golongan metanogen yang dibutuhkan dalam proses pembentukan biogas.

#### 4.3 Penentuan Rasio C/N dari Feses Sapi dan Biakan *Starter*

Rasio C/N diperoleh dengan cara membandingkan nilai kadar karbon (% C) dan kadar nitrogen (% N) yang terdapat di dalam masing-masing sampel. Rasio C/N yang ideal untuk memproduksi biogas adalah 25-30 : 1 (Budiyanto, 2002). Kebutuhan karbohidrat sebagai sumber C dan energi bermanfaat untuk perbanyak sel mikroorganisme. Sedangkan unsur N untuk pembentukan

protoplasma. Rasio C/N diusahakan berada dalam perbandingan yang optimum agar kehidupan dan aktifitas bakteri dapat berlangsung dengan baik.

Kadar karbon (% C) ditentukan dengan metode analisis *volatile solid* (Alaerts, 1987) dengan prinsip pemanasan pada suhu 550 °C, yaitu dengan memanaskan kurang lebih 2 g sampel menggunakan krus porselin di dalam *furnace* pada suhu 550 °C selama 1 jam kemudian setelah dingin di timbang kembali berat konstan yang dihasilkan. Data kadar C dari feses sapi ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Kadar karbon (% C) feses sapi

Keterangan	% C	% C	% C	% C
	I	II	III	Rata-rata
Feses sapi	39,53	39,62	39,65	39,60

Dari data kadar karbon (% C) pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai rata-rata kadar C dari feses sapi adalah 39,60 %. Kadar C yang diperoleh dalam penelitian ini berbeda dengan pendapat Rukmawati (1996) dan Kourik (<http://www.oregonbd.org/Class/CtoN.htm>) yang menyatakan kadar C feses sapi adalah 30,6 %. Hal ini dapat disebabkan karena perbedaan sumber feses sapi yang digunakan pada penelitian ini.

Kadar Nitrogen (% N) ditentukan dengan menggunakan metode analisis N-total cara makro Kjeldahl yang dimodifikasi (Sudarmadji, 1997), dengan prinsip nitrogen yang ada dalam zat organik diubah melalui proses digesti, kemudian amoniak akan terikat (terlarut) pada suasana asam kuat. Secara umum dalam analisis N-total cara makro Kjeldahl terdapat tiga tahapan reaksi yaitu destruksi, destilasi dan titrasi. Tahap destruksi dan destilasi dalam proses makro

Kjeldahl berlangsung berturut-turut, dimana tahap digesti sampel di dalam labu Kjeldahl dilakukan dengan menambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ , dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Pada tahap destruksi sampel  $\text{H}_2\text{SO}_4$  berfungsi sebagai oksidator,  $\text{CuSO}_4$  berfungsi sebagai katalis dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$  berfungsi untuk meningkatkan suhu selama reaksi.

Tahap selanjutnya setelah destruksi adalah destilasi, sebelumnya di dalam labu destilasi selain ditambahkan bahan-bahan kimia untuk destruksi ditambahkan pula NaOH 50 % sebanyak 50 mL, logam Zn, akuades 100 mL dan indikator fenolftalein. NaOH 50 % berfungsi untuk membuat suasana di dalam labu destilasi menjadi lebih basa, kondisi ini dapat diketahui dengan warna larutan yang berwarna ungu dalam suasana basa. Logam Zn berfungsi sebagai katalis dan anti *bumping*, selanjutnya reaksi antara logam Zn dengan NaOH akan menghasilkan gas hidrogen. Gas hidrogen yang berfungsi sebagai reduktor akan mengubah semua bentuk nitrogen menjadi bentuk  $\text{NH}_3$  (amoniak). Amoniak yang terbentuk ditampung ke dalam Erlenmeyer sampai volume total destilat yang tertampung 75 mL, sebelumnya Erlenmeyer telah diisi dengan 50 mL larutan HCl 0,1 N dan 5 tetes indikator metil merah. Di dalam Erlenmeyer terjadi pembentukan amonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dari reaksi antara amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dan asam klorida (HCl). Akibat pembentukan  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , di dalam Erlenmeyer terdapat kelebihan asam (HCl). Kondisi asam di dalam Erlenmeyer diketahui dengan larutan yang berwarna merah.

Destilat yang mengandung HCl berlebih dititrasi dengan NaOH 0,1 N, sehingga akan terbentuk garam NaCl dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Proses titrasi dihentikan sampai larutan dalam Erlenmeyer tepat pertama kali membentuk warna kuning. Selain itu

dibuat pula larutan blanko dengan mengganti bahan sampel dengan akuades, yang selanjutnya dilakukan proses destruksi, destilasi dan titrasi seperti pada sampel. Data kadar N dari feses sapi ditampilkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Kadar nitrogen (% N) feses sapi

<b>Keterangan</b>	<b>% N I</b>	<b>% N II</b>	<b>% N III</b>	<b>% N Rata-rata</b>
Feses sapi	0,61	0,61	0,61	0,61

Berdasarkan data kadar nitrogen (% N) feses sapi pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai rata-rata kadar N dari feses sapi adalah 0,61 %. Kadar N yang didapat lebih rendah dari kadar N feses sapi pada umumnya yaitu 1,7 % (<http://www.oregonbd.org/Class/CtoN.htm>). Berdasarkan data kadar C dan N di atas dapat disimpulkan bahwa rasio C/N dari feses sapi yang digunakan adalah 65:1, kondisi ini sangatlah jauh dari kondisi optimal dari rasio C/N dalam produksi biogas yaitu 30:1 (Budiyanto, 2002). Perbedaan nilai rasio C/N feses sapi ini dapat disebabkan karena perbedaan sumber feses sapi yang digunakan, antara lain dapat dipengaruhi oleh jenis pakan hewan yang digunakan.

Biakan *starter* memiliki rasio C/N awal yang sama dengan rasio C/N feses sapi yaitu 65:1, karena pada proses ini kadar C dan N dari feses sapi sama-sama diencerkan 2 kali dari volume awal sehingga tidak mengubah rasio C/N. Selanjutnya dilakukan proses inkubasi biakan *starter* selama 36 hari dan ditentukan nilai rasio C/N akhir dengan cara yang sama dalam penentuan kadar C dan N feses sapi. Data kadar C dan N *starter* kondisi akhir ditampilkan pada Tabel 4.5. dan 4.6.

Tabel 4.5. Kadar karbon (% C) akhir *starter*

Keterangan	% C	% C	% C	% C
	I	II	III	Rata-rata
<i>Starter</i>	44,32	45,17	45,17	44,89

Tabel 4.6. Kadar Nitrogen (% N) akhir *starter*

Keterangan	% N	% N	% N	% N
	I	II	III	Rata-rata
<i>Starter</i>	0,76	0,76	0,76	0,76

Berdasarkan data pada Tabel 4.6. dan 4.7. dapat dijelaskan bahwa biakan *starter* pada kondisi akhir mempunyai nilai rata-rata kadar C adalah 44,89 % dan nilai rata-rata kadar N adalah 0,76, sehingga dapat disimpulkan bahwa rasio C/N yang terbentuk adalah 59:1. Selama proses aktivasi biakan *starter* dalam kurun waktu 36 hari telah terjadi penurunan rasio C/N dari 65:1 menjadi 59:1, hal ini disebabkan pada proses pembentukan biogas di dalam biodigester konsorsium bakteri menggunakan karbon (C) sebagai sumber energi dan nitrogen (N) dalam pembentukan protoplasma (Budiyanto, 2002).

#### 4.4 Pengukuran Volume Biogas Biakan *Starter*

Proses pembentukan biogas dari biakan *starter* dipengaruhi oleh berbagai jenis bakteri yang merupakan suatu konsorsium bakteri, namun jenis bakteri yang berperan dalam proses pembentukan gas metan hanyalah bakteri *Methanobacterium* dengan spesies *M. formicum*, *M. omelianski*, *M. sohngeni*, *M. suboxydans*, *M. nazei*, *M. vanielli*, *M. methanicus*, dan *M. barkerri* (Suriawirya, 1996).

Kondisi biakan *starter* yang baik untuk mengkonversi biomassa (sampah pasar maupun feses sapi) harus berada pada fase log. Keadaan fase log dalam biakan *starter* diketahui dengan meningkatnya volume biogas yang terukur dari 3 kali pengukuran yang dilakukan. Berdasarkan hasil pengamatan produksi biogas dari biakan *starter*, pertama kali terlihat terbentuknya biogas pada hari ke 19. Pengukuran volume biogas biakan *starter* mulai dilakukan setelah hari ke 22, karena pengembangan biodigester baru tampak besar pada minggu ke 3. Seperti yang telah dijabarkan dalam definisi operasional tentang volume biogas maka dapat dijelaskan bahwa nilai volume biogas yang diperoleh dari pengukuran ini bukan nilai yang akurat, karena tekanan yang diberikan merupakan tekanan total (tekanan dari luar dan dalam biodigester) yaitu 3,65 atm (lampiran 10). Tekanan biogas sukar diukur, karena percobaan produksi biogas dari *starter* dan biokonversi biomassa dilakukan dalam skala kecil sehingga tekanan biogas yang dihasilkan sangat rendah. Data volume biogas dari biakan *starter* ditampilkan dalam Tabel 4.7.

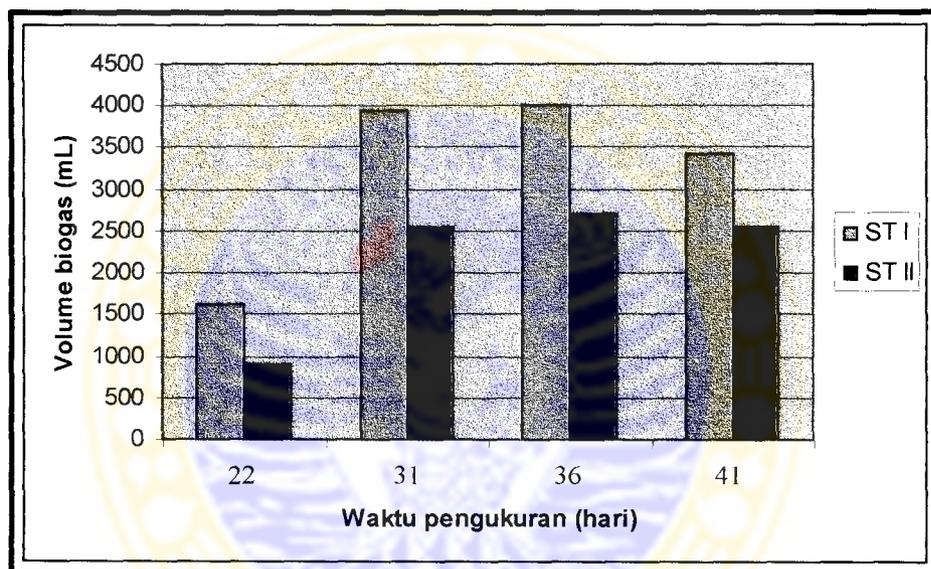
Tabel 4.7. Volume biogas biakan *starter*

No.	Waktu Pengukuran (waktu inkubasi)	Volume Biogas (mL)	
		ST I	ST II
1	Hari ke 22	1631	890
2	Hari ke 31	3930	2540
3	Hari ke 36	4010	2700
4	Hari ke 41	3410	2550

(keterangan : ST I (*starter* I), ST II (*starter* II))

Berdasarkan data volume biogas pada Tabel 4.7. terlihat bahwa biakan *starter* berada dalam kondisi yang aktif sampai hari ke 36, kondisi ini merupakan

waktu yang baik digunakan sebagai *starter* dalam mengkonversi biomassa (sampah pasar maupun feses sapi). Fungsi biakan *starter* dalam sistem biokonversi biomassa menjadi biogas yaitu: 1. Menyediakan mikroba anaerob dalam jumlah yang cukup dan aktif di dalam biodigester, 2. Meniadakan fase adaptasi yang memerlukan waktu cukup lama untuk produksi awal biogas. Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dibuat grafik yang menyatakan hubungan antara waktu inkubasi dengan volume biogas.



Gambar 7. Grafik hubungan waktu pengukuran dengan volume biogas dari biakan *starter*

#### 4.5 Penentuan Total Solid (TS) dan Rasio C/N Sampah Pasar

Penentuan nilai *total solid* (TS) dari sampah pasar dilakukan dengan cara yang sama dengan penentuan nilai TS dari feses sapi. Data nilai TS dari sampah pasar ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Nilai *total solid* (TS) sampah pasar

Keterangan	TS (%)	TS (%)	TS (%)	TS (%)
	I	II	III	Rata-rata
Sampah pasar	9,78	9,94	9,73	9,82

Berdasarkan data TS sampah pasar pada Tabel 4.8 dapat dijelaskan bahwa nilai rata-rata TS sampah pasar adalah 9,82 % dengan kadar air 90,18 %. Rasio C/N dari sampah pasar ditentukan menggunakan metode analisis N-total cara makro Kjeldahl yang dimodifikasi (Sudarmadji, 1997). Data kadar C dan N dari sampah pasar ditampilkan pada Tabel 4.9. dan 4.10.

Tabel 4.9. Kadar karbon (% C) sampah pasar

Keterangan	% C	% C	% C	% C
	I	II	III	Rata-rata
Sampah pasar	49,83	48,03	42,05	46,49

Tabel 4.10. Kadar nitrogen (% N) sampah pasar

Keterangan	% N	% N	% N	% N
	I	II	III	Rata-rata
Sampah pasar	2,45	2,60	2,18	2,41

Berdasarkan data pada Tabel 4.9 dan 4.10 dapat disimpulkan bahwa sampah pasar memiliki nilai rata-rata kadar C adalah 46,49 % dan kadar N adalah 2,41 %, sehingga didapat rasio C/N sampah pasar adalah 19:1.

#### 4.6 Biokonversi Biomassa Menjadi Biogas

Biodigester untuk produksi biogas terdiri dari biomassa (feses sapi dan sampah pasar), *starter*, dan air dengan perbandingan 1:1:1. Parameter yang diamati pada kondisi awal biodigester biokonversi biomassa menjadi biogas adalah nilai *total solid* (TS) dan rasio C/N yang terbentuk. Pada produksi biogas biokonversi biomassa feses sapi berfungsi sebagai blanko terhadap proses biokonversi biomassa sampah pasar. Data *total solid* (TS) awal dari masing-masing biodigester ditunjukkan pada Tabel 4.11, dan 4.12.

Tabel 4.11. Nilai *total solid* (TS) awal biokonversi feses sapi

Keterangan	Feses sapi (g)	Starter (g)	Air (g)	TS (%) campuran
Biodigester I	400	660	500	7,58

Tabel 4.12. Nilai *total solid* (TS) awal biokonversi sampah pasar

Keterangan	Sampah pasar (g)	Starter (g)	Air (g)	TS (%) campuran
Biodigester II	500	660	500	6,07

Berdasarkan data TS awal kedua biodigester pada Tabel 4.11 dan 4.12 dapat disimpulkan biodigester biokonversi feses sapi memiliki nilai TS 7,58 % dengan kadar air 92,42 % dan biodigester biokonversi sampah pasar memiliki nilai TS 6,07 % dengan kadar air 93,93 %. Berdasarkan nilai TS di atas kedua biodigester diatas, kondisi biodigester mendekati biodigester kering. Biodigester kering adalah biodigester dengan nilai  $TS \geq 8 \%$ , merupakan biodigester yang baik untuk produksi biogas karena ketersediaan bahan-bahan nutrisi untuk fermentasi

bakteri metanogen cukup banyak sehingga bakteri metanogen tidak cepat lenyap dari sistem fermentasi anaerob.

Proses biokonversi biomassa menjadi biogas dilakukan dalam kurun waktu inkubasi kurang lebih 60 hari kemudian ditentukan kembali nilai TS akhir dari bahan isian kedua biodigester. Data *total solid* (TS) akhir dari masing-masing biodigester setelah diinkubasi selama 60 hari ditunjukkan pada Tabel 4.12, dan 4.13.

Tabel 4.13. Nilai *total solid* (TS) akhir biokonversi feses sapi

Keterangan	TS (%)	TS (%)	TS (%)	TS (%)
	I	II	III	Rata-rata
Biodigester I	5,01	4,99	5,30	5,10

Tabel 4.14. Nilai *total solid* (TS) akhir bokonversi sampah pasar

Keterangan	TS (%)	TS (%)	TS (%)	TS (%)
	I	II	III	Rata-rata
Biodigester II	3,72	3,67	3,68	3,69

Berdasarkan Tabel 14.2 dan 14.3 dapat dijelaskan bahwa biodigester biokonversi feses sapi memiliki nilai TS akhir rata-rata 5,10 % dan biodigester biokonversi sampah pasar memiliki nilai TS akhir rata-rata 3,69 %. Dari proses inkubasi selama 60 hari dapat disimpulkan bahwa dalam biodigester biokonversi feses sapi telah terjadi proses konversi feses sapi sebanyak 2,48 % dan biodigester biokonversi sampah pasar telah terjadi proses konversi sampah pasar sebanyak 2,38 %.

Rasio C/N dari masing-masing bahan isian sangat mempengaruhi nilai rasio C/N awal di dalam biodigester biokonversi biomassa. Data rasio C/N dari masing-masing bahan isian ditunjukkan pada Tabel 4.15

Tabel 4.15. Rasio C/N dari masing-masing bahan isian

Keterangan	Feses sapi	<i>Starter</i>	Sampah Pasar
Rasio C/N (%)	65:1	59:1	19:1

Berdasarkan data rasio C/N pada Tabel 4.15 dapat dijelaskan bahwa rasio C/N masing-masing bahan isian adalah feses sapi adalah 65:1, *starter* 59:1, dan sampah pasar 19:1. Rasio C/N dari biodigester biokonversi biomassa merupakan campuran dari rasio C/N bahan isian. Biodigester biokonversi feses sapi memiliki rasio C/N awal 41,66 % dan biodigester biokonversi sampah pasar memiliki rasio C/N awal 29,18 % (lampiran 8). Menurut Budiyanto (2002), kondisi optimal rasio C/N dalam pembentukan biogas adalah 30:1, sehingga dapat disimpulkan kondisi awal biodigester biokonversi sampah pasar jauh lebih baik dari pada kondisi awal biodigester biokonversi feses sapi karena lebih mendekati nilai rasio optimal dalam pembentukan biogas.

#### 4.7 Pengukuran Volume Biogas Biokonversi Biomassa

Pengukuran volume biogas pada konversi biomassa (sampah pasar atau feses sapi) dilakukan menggunakan botol pencuci gas. Biogas yang dihasilkan oleh biodigester dialirkan melewati botol pencuci gas dengan bantuan tekanan dari luar, sehingga volume air yang berpindah dari botol pencuci gas sebanding dengan volume biogas yang dihasilkan. Hasil pengamatan produksi biogas dalam

proses biokonversi biomassa pertama kali terlihat produksi biogas pada hari ke 9. Pengukuran volume biogas biokonversi biomassa mulai dilakukan setelah hari ke 20, karena pengembangan biodigester baru tampak besar pada minggu ke 3.

Jika dibandingkan antara waktu pembentukan biogas pertama kali antara biakan *starter* dan proses biokonversi biomassa, terdapat perbedaan waktu yang signifikan dimana pada proses biokonversi biomassa 10 hari lebih cepat dari biakan *starter*. Perbedaan waktu pembentukan biogas ini disebabkan pengaruh dari penambahan biakan *starter* pada proses biokonversi biomassa menjadi biogas. Biakan *starter* menyebabkan konsorsium bakteri dalam biodigester dapat tumbuh tanpa harus melewati fase adaptasi dalam proses pembentukan biogas sehingga waktu pembentukan awal biogas menjadi lebih cepat. Data volume biogas dari proses biokonversi sampah pasar ditampilkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Volume biogas proses biokonversi biomassa

No.	Waktu Pengukuran	Biodigester I		BiodigesterII	
		FS I (mL)	FS II (mL)	SP I (mL)	SP II (mL)
1	Hari ke 20	2348	1301	565	550
2	Hari ke 40	1640	1075	1030	1015
3	Hari ke 50	570	210	215	170
4	Hari ke 60	90	90	125	125
total		4648	2676	1935	1860

(keterangan : FS = feses sapi dan SP = sampah pasar)

Berdasarkan data pada Tabel 4.16. dapat dijelaskan bahwa produksi biogas pada pengukuran hari ke 20 dari biodigester I lebih baik dibandingkan biodigester II. Hal ini disebabkan perbedaan dari jenis biomassa yang digunakan, biodigester

I yang menggunakan biomassa berupa feses sapi yang merupakan media yang sama dengan media proses pembuatan biakan *starter* sehingga menyebabkan konsorsium bakteri yang berasal dari biakan *starter* dapat lebih cepat mengenali media yang digunakan untuk dikonversi menjadi biogas.

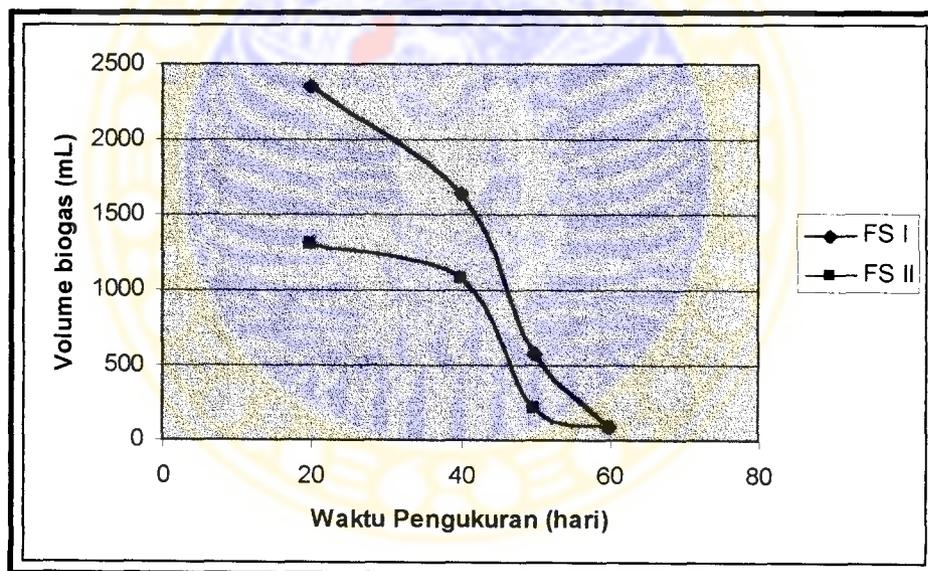
Pada pengukuran kedua (hari ke 40), diketahui bahwa produksi biogas dari kedua biodigester hampir sama, dimana pada biodigester II terjadi peningkatan produksi biogas menjadi 2 kali dari volume awal. Hal ini disebabkan konsorsium bakteri pada biodigester II telah dapat beradaptasi dengan baik terhadap biomassa (sampah pasar) yang digunakan sehingga terjadi peningkatan volume biogas yang dihasilkan.

Pada pengukuran ketiga (hari ke 50), dapat dilihat bahwa terjadi penurunan produksi biogas dari kedua biodigester. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal berikut : 1. ketersediaan substrat telah habis, 2. pH lingkungan asam sehingga menyebabkan hilangnya bakteri metanogen.

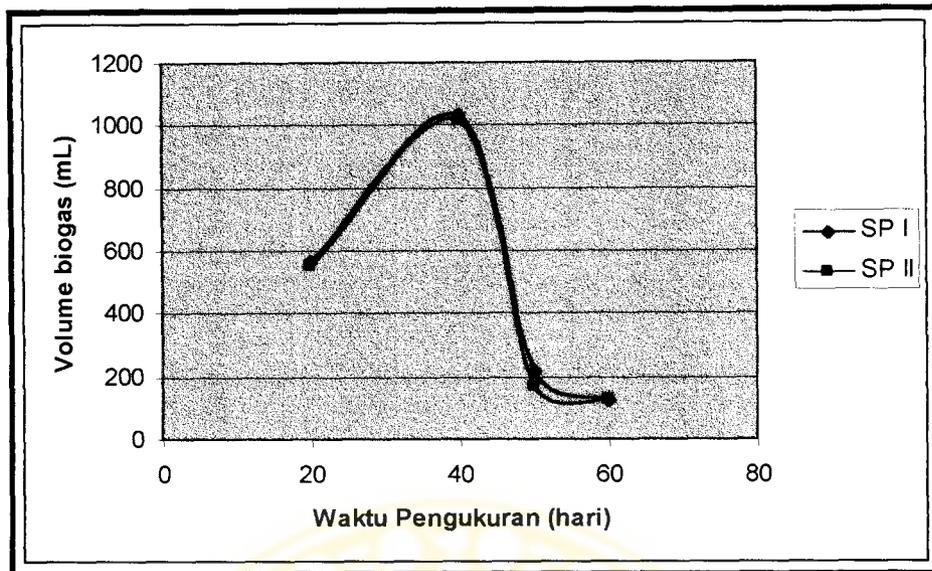
Pada pengukuran keempat (hari ke 60), dapat dilihat bahwa terjadi penurunan produksi biogas yang drastis dari kedua biodigester. Hal ini disebabkan habisnya substrat yang tersedia di dalam biodigester dan kondisi lingkungan biodigester yang sudah tidak mendukung untuk pertumbuhan konsorsium bakteri penghasil biogas.

Berdasarkan data kumulatif volume biogas (Tabel 4.16) dari kedua biodigester, dapat diketahui bahwa biodigester I yang menggunakan biomassa feses sapi memiliki kemampuan untuk menghasilkan biogas lebih baik daripada biodigester II yang menggunakan biomassa sampah pasar. Perbedaan volume

biogas pada FS I dan FS II dari biodigester I disebabkan oleh adanya kemungkinan kebocoran dalam biodigester, walaupun pada uji kebocoran saat pembuatan biodigester tidak tampak adanya kebocoran. Sedangkan biodigester II, yang menggunakan biomassa sampah pasar, menghasilkan biogas lebih rendah daripada biodigester I. Hal ini dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian sampah pasar sebagai media pertumbuhan konsorsium bakteri penghasil biogas yang menggunakan *starter* dari feses sapi. Konsorsium bakteri ini mudah beradaptasi dengan substrat yang terdapat pada feses sapi, akan tetapi belum mengenali substrat yang terdapat pada sampah pasar sehingga mengakibatkan waktu *start-up* produksi biogas membutuhkan waktu yang lebih lama.



Gambar 8. Grafik hubungan waktu pengukuran dengan volume biogas dari biomassa feses sapi



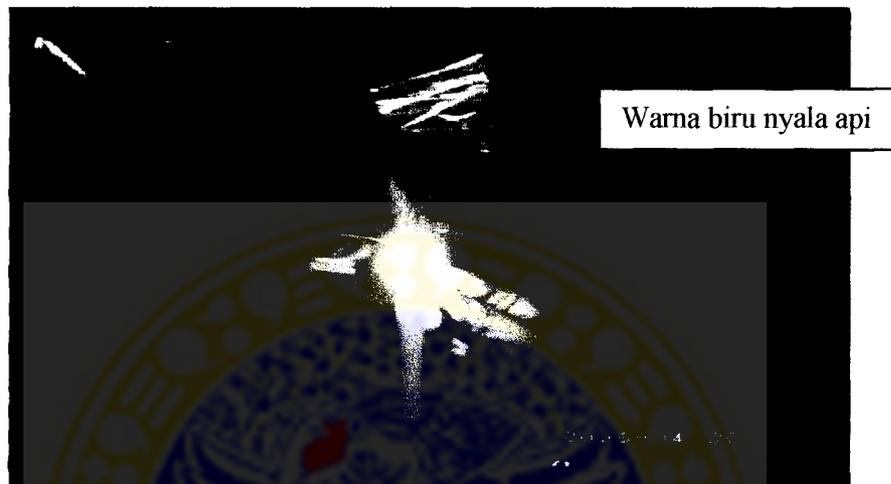
Gambar 9. Grafik hubungan waktu pengukuran dengan volume biogas dari biomassa sampah pasar

#### 4.8 Pengujian Nyala Api Terhadap Biogas Hasil Biokonversi Biomassa

Biogas (Widarto, 1997) terdiri dari beberapa jenis gas yaitu metan (54-70 %), karbon dioksida (27-45 %), nitrogen (3-5), hidrogen (0-1 %), oksigen (0-0,1 %) dan hidrogen sulfida (0-1). Sesuai dengan tujuan penelitian yaitu mengkonversi sampah pasar menjadi biogas yang akan digunakan sebagai sumber energi alternatif, maka dilakukan pengujian terhadap gas metan di dalam biogas. Gas metan memiliki karakteristik yaitu menghasilkan panas yang cukup tinggi, mudah terbakar dengan nyala api berwarna biru, tidak berbau dan tidak berasap. Pada penelitian ini karakter gas metan yang diujikan adalah sifat gas yang mudah terbakar.

Biodigester yang telah terisi biogas dihubungkan dengan selang yang telah dilengkapi jarum suntik di bagian ujungnya. Biogas yang dihasilkan dikeluarkan melalui selang dengan tekanan perlahan dan secara teratur. Biogas yang keluar

dari jarum suntik dan langsung dibakar dengan api (pada penelitian ini digunakan lilin). Adanya biogas ditunjukkan dengan timbulnya nyala api yang berwarna biru. Nyala warna api yang berwarna biru menunjukkan bahwa dalam kandungan biogas terdapat gas metan ( $\text{CH}_4$ ).



Gambar 10. Warna biru nyala api dari biogas hasil biokonversi sampah pasar

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Feses sapi dari rumah sapi di Fakultas Kedokteran Hewan (FKH) Universitas Airlangga pada suhu ruangan dapat diaktivasi sebagai *starter* untuk produksi biogas, dengan kondisi *starter* yang paling aktif pada diinkubasi hari ke 36.
2. Sampah pasar berpengaruh terhadap kemampuan *starter* feses sapi dalam produksi biogas, yaitu waktu *start-up* produksi biogas membutuhkan waktu yang lebih lama.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka disarankan sebagai berikut.

1. Produksi biogas dari sampah pasar dengan menggunakan *starter* feses sapi dapat diaplikasi pada skala besar untuk keperluan masyarakat.
2. Perlu dilakukan inokulasi lebih lanjut terhadap *starter* feses sapi dengan sampah pasar untuk mendapatkan *starter* yang lebih unggul.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan berbagai jenis sampah pasar yang spesifik (satu jenis sampah) dalam produksi biogas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar, FX., 2001, **How to install a polyethylene biogas plant, Proceeding of the IBSnet Electronic Seminar**, The Royal Agricultural College, 5-23 Maret 2001, Cirencester, UK
- Alaerts, G. dan Santika, Sri Sumestri, 1987, *Metode Penelitian Air*, Penerbit Usaha Nasional, Surabaya, h.130-140, 184-215
- Anonim, 2003, *Biogas Energi Alternatif*, Yayasan Sumber Ilmu, Bandung
- Anonim, 2003, **Construction option for RABR Remote Area Biogas Reactor**, SNV-Nepal
- Budiyanto, A, K., 2002, *Mikrobiologi Terapan*, UMM Press, Malang, h. 141-147
- Chaerudin, H., 2001, **Sampah Perkotaan Meningkat Lima Kali Lipat Tahun 2020**, Antara, 24-6
- Ciwem, 1996, *Sewage Sludge: Stabilization and Disinfection*, The Chatered Institution of Water and Environmental Management, Handbooks of UK Wastewater Practice
- Diaz, L.F, Savage, George M., Eggerth, L.L., Golucke, C.G., 1993, *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*, Lewis Publishers, London, h.221-263
- Indartono, Y.S., **Reaktor Biogas Skala Kecil/Menengah**, <http://www.beritaiptek.com/pilihberita.php?id=137>, 6 Desember 2005
- Jati, Waluyo., Sundari, Siti., Warsito, 2003, *Penelitian Kotoran Berbagai Binatang Sebagai Penghasil Gas Methan*, Laporan Penelitian, Kebun Binatang Surabaya, Surabaya.
- Judoamidjojo, M, Darwis, A.Z., Sa'id, E.G., 1992, *Teknologi Fermentasi*, PAU Bekerja Sama dengan IPB, Rajawali Pers, Jakarta, h.252-264
- Kadarwati, S., <http://p3tek.com/content/publikasi/2003/publikasi01.htm>, 2 Juli 2005
- Kourik, robert, <http://www.oregonbd.org/Class/CtoN.htm>, 17 Nopember 200
- Masjhudi, <http://www.biology-um.com/data/Produksi-biogas%20dari%20tiga%20.pdf>, 5 Maret 2005
- Polprasert, C., 1989, *Organic Waste Recycling*, John Wiley & Sons, Singapore, h. 105-143

- Pratama, Bagus A., 2004, *Kamus Lengkap Bahasa Indonesia*, Pustaka Media Press, Surabaya.
- Price, C.E., Cheremisinoff, N.P., 1981, *Biogas : Production and Utilization*, Ann Arbor Science, Inc., Michigan, h.5-22
- Ristanti, T., 2001, *Studi Pengaruh Perbandingan Lumpur Tinja dan Sampah TPA Terhadap Produksi Gas Bio dan Kematangan Kompos*, Laporan Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Rukmawati, Leonita S, Muslimin I , 1996, *Pengembangan Keterampilan Guru Mengembangkan Alat-Alat Sederhana Laboratorium Biologi Untuk Menunjang Kurikulum SMU Tahun 1994*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta
- Sahidu, S. 1983, *Kotoran Ternak Sebagai Sumber Energi*, Dewaruci Press, Jakarta
- Sardjoko, 1991, *Bioteknologi Latar Belakang dan Beberapa Penerapannya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, h.175-192, 280-282
- Sudarmadji, S., Bambang, H., Suhardi, 1997, *Prosedur Analisa Untuk Bahan Makanan dan Pertanian*, edisi ke-4, Liberty, Yogyakarta, h.67-69
- Suriawirya, U., 1996, *Mikrobiologi Air dan Dasar-Dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis*, Alumni Bandung, Bandung, h.264-278
- Tarumingkeng, R, C., Purwantoro, B., 2003, *Pemanfaatan Limbah Ternak Ruminansia Untuk Mengurangi Pencemaran Lingkungan (Makalah Pengantar Falsafah Sains) (PPS 702)* , Disertasi, Institut Pertanian Bogor
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A, 1993, *Integrated Solid Waste Management Engineering, Principles and Management Issues*, Mc.Graw Hill International, Singapura, h.39-58
- Widarto, L., Sudarto, FX, 1997, *Membuat Biogas*, edisi ke-8, Kanisius, Yogyakarta
- [http://www.iptek.net.id/ind/terapan/terapan\\_idx.php?doc=artekel=26](http://www.iptek.net.id/ind/terapan/terapan_idx.php?doc=artekel=26), 20 September 2005
- <http://www.kompas.com/>, 20 September 2005
- <http://www.kompas.com.utama/news/0502/22/204247.htm>, 20 September 2005

**Lampiran 1 :****Pembuatan Larutan****A. Pembuatan larutan HCl 0,1 N sebanyak 1 L**

HCl yang digunakan adalah HCL pekat 12 N.

$$V \times N_1 = V \times N_2$$

$$1 \times 0,1 = V_2 \times 12$$

$$V_2 = 8,33 \times 10^{-3} L \approx 8,30 mL$$

Jadi larutan HCl 0,1 N dibuat dengan melarutkan 8,30 mL HCl pekat 12 N dengan akuades sampai volume akhir 1 L.

**B. Larutan NaOH 50%**

Ditimbang dengan 500 g NaOH p.a, kemudian dilarutkan dengan akuades sampai volume akhir 1 L.

**C. Larutan NaOH 0,1 N sebanyak 1 L**

$$M = \frac{n}{V} \longrightarrow gr = M \times V \times Mr$$

$$gr = M \times V \times Mr$$

$$= 0,1 \times 1 \times 40$$

$$= 4 gr$$

Jadi NaOH p.a yang ditimbang adalah 4 g, kemudian dilarutkan dalam 1 L akuades.

**D. Pembuatan larutan baku  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$** 

Ditimbang dengan teliti  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 0,6374 g, dilarutkan dengan akuades, dan dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu ukur 100,0 mL, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas.

$$N = \frac{m}{Mr} \times \text{Valensi} \times \frac{1000}{100}$$

$$N = \frac{0,6374}{126} \times 2 \times 10 = 0,1012 \text{ N}$$

Jadi konsentrasi  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang didapat adalah 0,1012 N.

**➤ Pembakuan NaOH 0,1 N dengan larutan baku  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,1012 N**

Dipipet 10,0 mL larutan  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,1012 N, ditambahkan 3 tetes indikator PP, kemudian dititrasi dengan NaOH 0,1 N sampai tepat berwarna merah muda.

Data hasil titrasi larutan  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,1012 N dengan larutan NaOH 0,1 N

Keterangan	Volume Titrasi (mL)
Titrasi 1	10,10
Titrasi 2	10,15
Titrasi 3	10,10
Rata - rata	10,12

Konsentrasi NaOH hasil pembakuan yaitu :

$$\begin{aligned} V \times N \text{ H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} &= V \times N \text{ NaOH} \\ 10 \times 0,1012 &= 10,12 \times N \text{ NaOH} \\ N \text{ NaOH} &= 0,1 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi konsentrasi NaOH yang diperoleh adalah 0,1 N.

**E. Pembuatan indikator PP konsentrasi 0,5 %**

Ditimbang 0,5 g serbuk PP, kemudian dilarutkan dengan 100 mL alkohol 75 %.

**F. Pembuatan indikator MM konsentrasi 0,5 %**

Ditimbang 0,5 g serbuk MM, kemudian dilarutkan dengan 100 mL alkohol 75 %.



**Lampiran 2 :****Perhitungan *Total Solid* (TS) Sampah Pasar Dan Feses Sapi****A. Data *total solid* (TS) sampah pasar**

<b>Keterangan</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
a	22,0822 g	20,9583 g	22,2121 g
b	23,2672 g	22,7750 g	23,3202 g
c*	22,1981 g	21,1389 g	22,3198 g
c**	22,1981 g	21,1389 g	22,3198 g
c***	22,1981 g	21,1389 g	22,3198 g
c	22,1981 g	21,1389 g	22,3198 g
kadar air (%)	90,22	90,06	90,27
TS (%)	9,78	9,94	9,73

**B. Data *total solid* (TS) feses sapi**

<b>Keterangan</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
a	19,5660 g	20,9590 g	21,4540 g
b	21,4460 g	22,8670 g	23,3720 g
c*	19,8790 g	21,2770 g	21,7740 g
c**	19,8790 g	21,2770 g	21,7740 g
c***	19,8790 g	21,2770 g	21,7740 g
c	19,8790 g	21,2770 g	21,7740 g
kadar air (%)	83,35	83,33	83,32
TS (%)	16,65	16,67	16,68

Keterangan :

- a = berat konstan krus porselin kosong
- b = berat krus porselin + sampel
- c\* = berat krus porselin + sampel hasil pemanasan I
- c\*\* = berat krus porselin + sampel hasil pemanasan II
- c\*\*\* = berat krus porselin + sampel hasil pemanasan III
- c = rata-rata berat krus porselin + sampel hasil pemanasan

➤ Contoh perhitungan *total solid* (TS) dari data I sampah pasar :

Rumus yang digunakan :

$$\% \text{ kadar air} = \frac{b-c}{b-a} \times 100\%$$

$$\% \text{ TS} = 100\% - \% \text{ kadar air}$$

Data I sampah pasar :

Keterangan	I
a	22,0822 g
b	23,2672 g
c*	22,1981 g
c**	22,1981 g
c***	22,1981 g
c	22,1981 g
kadar air (%)	90,22
TS (%)	9,78

$$\% \text{ kadar air} = \frac{b-c}{b-a} \times 100\%$$

$$= \frac{23,2672 - 22,1981}{23,2672 - 22,0822} \times 100\%$$

$$= \frac{23,2672 - 22,0822}{23,2672 - 22,0822} \times 100\%$$

$$= 90,22 \%$$

$$\% \text{ TS} = 100\% - \% \text{ kadar air}$$

$$= 100\% - 90,22\%$$

$$= 9,78 \%$$

**Lampiran 3 :****Perhitungan Kadar Karbon (% C) Sampah Pasar Dan Feses Sapi****A. Data kadar karbon (% C) sampah pasar**

<b>Keterangan</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
x	52,0110 g	54,5450 g	55,0900 g
y	53,9890 g	56,5670 g	57,1220 g
z	52,2310 g	54,8190 g	55,5840 g
VS (%)	88,88	86,45	75,69
C (%)	49,38	48,03	42,05

**B. Data kadar karbon (% C) feses sapi**

<b>Keterangan</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
x	18,8660 g	20,5400 g	18,8660 g
y	20,8700 g	22,5410 g	20,8700 g
z	19,4440 g	21,1140 g	19,4430 g
VS (%)	71,16	71,31	71,21
C (%)	39,53	39,62	39,56

➤ Contoh perhitungan kadar karbon (%C) dari data I sampah pasar :

Rumus yang digunakan :

$$\% \text{ VS} = \frac{y-z}{y-x} \times 100\%$$

$$\% \text{ C} = \frac{\% \text{ VS}}{1,8}$$

Data ulangan I sampah pasar :

<b>Keterangan</b>	<b>I</b>
X	52,0110 g
Y	53,9890 g
Z	52,2310 g
VS (%)	88,88
C (%)	49,38

$$\begin{aligned} \% VS &= \frac{53,9890 - 52,2310}{53,9890 - 52,0110} \times 100\% \\ &= 88,88 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%C &= \frac{88,88}{1,8} \% \\ &= 49,38 \% \end{aligned}$$



**Lampiran 4 :****Perhitungan Kadar Nitrogen (% N) Sampah Pasar Dan Feses Sapi****A. Data kadar nitrogen (% N) sampah pasar**

<b>Keterangan</b>	<b>Blanko</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
CuSO <sub>4</sub> (g)	1,0000	1,0140	1,0040	1,0070
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g)	7,5050	7,5010	7,5140	7,5130
Sampel (g)	1,0000	1,0000	1,0090	1,0110
Vol.titrasi NaOH (mL)	37,30 ± 0,05	19,80 ± 0,05	18,55 ± 0,05	21,50 ± 0,05
N (%)	-	2,45	2,60	2,18

**B. Data kadar nitrogen (% N) feses sapi**

<b>Keterangan</b>	<b>Blanko</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
CuSO <sub>4</sub> (g)	1,0000	1,0005	1,0033	1,0055
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g)	7,5050	7,5034	7,5089	7,5052
Sampel (g)	1,0000	1,0030	1,0037	1,0072
Vol.titrasi NaOH (mL)	37,30 ± 0,05	32,90 ± 0,05	32,90 ± 0,05	32,90 ± 0,05
N (%)	-	0,61	0,61	0,61

Keterangan : sampel untuk setiap blanko adalah akuades

- Contoh perhitungan kadar nitrogen (%N) dari data I sampah pasar :

Rumus yang digunakan :

$$\%N = \frac{(\text{mL NaOH blanko} - \text{mL NaOH sampel}) \times M \text{ NaOH} \times 100 \times 14,008}{\text{gram sampel} \times 1000}$$

Data I sampah pasar :

<b>Keterangan</b>	<b>Blanko</b>	<b>I</b>
CuSO <sub>4</sub> (g)	1,0000	1,0140
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g)	7,5050	7,5010
Sampel (g)	1,0000	1,0000
Vol.titrasi NaOH (mL)	37,30 ± 0,05	19,80 ± 0,05
N (%)	-	2,45

$$\begin{aligned} \%N &= \frac{(37,30 - 19,80) \times 0,1 \times 100 \times 14,008}{1,0000 \times 1000} \\ &= 2,45 \% \end{aligned}$$



**Lampiran 5 :****Perhitungan Total Solid (TS) Starter****A. Data awal total solid (TS) starter**

Keterangan	Feses sapi (g)	Air (g)	TS (%) campuran
<i>Starter</i>	2400	2500	8,16

**❖ Data total solid (TS) rata-rata**

Keterangan	% TS I	% TS II	% TS III	TS (%) Rata-rata
Feses sapi	16,65	16,67	16,68	16,67

Contoh perhitungan % TS rata-rata dari fekes sapi :

Rumus yang digunakan :

$$\% \text{ TS rata-rata} = \frac{\sum \% \text{TS} (I + II + III)}{3}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ TS rata-rata sampah pasar} &= \frac{(16,65 + 16,67 + 16,68)}{3} \\ &= 16,67 \% \end{aligned}$$

Contoh perhitungan % TS awal *starter* :

Rumus yang digunakan :

$$\% \text{ TS campuran} = \frac{\left( \frac{g \text{ fekes sapi}}{100} \times \text{rata-rata \% TS fekes sapi} \right)}{(g \text{ fekes} + g \text{ air})}$$

$$\% \text{ TS campuran tiap gram} = (100 \times \% \text{ TS campuran})$$

$$\begin{aligned} \% \text{ TS campuran} &= \frac{\left( \frac{2400}{100} \times 16,67\% \right)}{(2400 + 2500)} \\ &= \frac{400,08}{4900} \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ TS tiap gram} &= \left( \frac{100 \times 400,08\%}{4900} \right) \\ &= 8,16\% \end{aligned}$$

**B. Data akhir *total solid* (TS) starter**

Keterangan	I	II	III
a	22,1840 g	20,9470 g	20,9470 g
b	24,1470 g	22,9160 g	22,9070 g
c*	22,3373 g	21,1020 g	21,1010 g
c**	22,3373 g	21,1010 g	21,1000 g
c***	22,3373 g	21,1010 g	21,1000 g
c	22,3373 g	21,1013 g	21,1003 g
kadar air (%)	92,19	92,16	92,18
TS (%)	7,81	7,84	7,82

Keterangan :

- a = berat konstan krus porselin kosong
- b = berat krus porselin + sampel
- c\* = berat krus porselin + sampel hasil pemanasan I
- c\*\* = berat krus porselin + sampel hasil pemanasan II
- c\*\*\* = berat krus porselin + sampel hasil pemanasan III
- c = rata-rata berat krus porselin + sampel hasil pemanasan

➤ Contoh perhitungan *total solid* (TS) akhir dari data I *starter* :

Rumus yang digunakan :

$$\% \text{ kadar air} = \frac{b-c}{b-a} \times 100\%$$

$$\% \text{ TS} = 100\% - \% \text{ kadar air}$$

Data I starter :

Keterangan	I
a	22,1840 g
b	24,1470 g
c*	22,3373 g
c**	22,3373 g
c***	22,3373 g
c	22,3373 g
kadar air (%)	92,19
TS (%)	7,81

$$\% \text{ kadar air} = \frac{b-c}{b-a} \times 100\%$$

$$b-a$$

$$= \frac{24,1470 - 22,3373}{24,1470 - 22,1840} \times 100\%$$

$$24,1470 - 22,1840$$

$$= 92,19 \%$$

$$\% \text{ TS} = 100\% - \% \text{ kadar air}$$

$$= 100\% - 92,19\%$$

$$= 7,81 \%$$

**Lampiran 6 :****Perhitungan Kadar Karbon (% C) Dan Nitrogen (% N) Starter Kondisi****Akhir****❖ Data kadar karbon (% C) starter**

<b>Keterangan</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
x	20,6310 g	20,5400 g	20,5400 g
y	21,6350 g	21,5400 g	21,5400 g
z	20,8340 g	20,7270 g	20,7450 g
VS (%)	79,78	81,13	79,50
C (%)	44,32	45,17	45,17

Keterangan :  
 x = berat konstan krus porselin kosong  
 y = berat konstan krus porselin konstan + sampel  
 z = berat krus porselin + sampel setelah pemanasan (suhu 550 °C)  
 VS (%) = kadar *volatile solid* sampel  
 C (%) = kadar karbon sample

**❖ Data kadar nitrogen (% N) starter**

<b>Keterangan</b>	<b>Blanko</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
CuSO <sub>4</sub> (g)	1,0000	1,0007	1,0007	1,0083
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g)	7,5050	7,5055	7,5068	7,5056
Sampel (g)	1,0000	1,0070	1,0046	1,0086
Vol.titrasi NaOH (mL)	37,30 ± 0,05	31,80 ± 0,05	31,80 ± 0,05	31,80 ± 0,05
N (%)	-	0,76	0,76	0,76

➤ Contoh perhitungan kadar karbon (%C) dari data I kondisi akhir *starter* :

Rumus yang digunakan :

$$\% \text{ VS} = \frac{y-z}{y-x} \times 100\%$$

$$\% \text{ C} = \frac{\% \text{ VS}}{1,8}$$

Data I *starter* kondisi akhir :

Keterangan	I
x	20,6310 g
y	21,6350 g
z	20,8340 g
VS (%)	79,78
C (%)	44,32

$$\begin{aligned} \% \text{ VS} &= \frac{21,6350 - 20,8340}{21,6350 - 20,6310} \times 100\% \\ &= 79,78 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ C} &= \frac{79,78}{1,8} \\ &= 44,32 \% \end{aligned}$$

➤ Contoh perhitungan kadar nitrogen (% N) dari data I *starter* kondisi akhir :

Rumus yang digunakan :

$$\% \text{ N} = \frac{(\text{mL NaOH blanko} - \text{mL NaOH sampel}) \times \text{M NaOH} \times 100 \times 14,008}{\text{gram sampel} \times 1000}$$

Keterangan	Blanko	I
CuSO <sub>4</sub> (g)	1,0000	1,0007
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g)	7,5050	7,5055
Sampel (g)	1,0000	1,0070
Vol.titrasi NaOH (mL)	37,30 ± 0,05	31,80 ± 0,05
N (%)	-	0,76

$$\begin{aligned} \% \text{ N} &= \frac{(37,30 - 31,80) \times 0,1 \times 100 \times 14,008}{1,0070 \times 1000} \\ &= 0,76 \% \end{aligned}$$

**Lampiran 7 :****Perhitungan *Total Solid* (TS) Awal Biokonversi Biomassa****❖ Data *total solid* (TS) rata-rata**

Keterangan	% TS I	% TS II	%TS III	TS (%) Rata-rata
Sampah pasar	9,78	9,94	9,73	9,82
Feses sapi	16,65	16,67	16,68	16,67
<i>Starter</i> (akhir)	7,81	7,84	7,82	7,82

Contoh perhitungan % TS rata-rata dari sampah pasar :

Rumus yang digunakan :

$$\% \text{ TS rata-rata} = \frac{\sum \% \text{TS} (I + II + III)}{3}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ TS rata-rata sampah pasar} &= \frac{(9,78 + 9,94 + 9,73)}{3} \\ &= 9,82 \% \end{aligned}$$

**❖ Data *total solid* (TS) awal biokonversi biomassa menjadi biogas****A. Data Biodigester I (biokonversi feses sapi)**

Komposisi biodigester adalah feses sapi : *starter* : air (1:1:1)

Keterangan	Feses sapi (g)	<i>Starter</i> (g)	Air (g)	TS (%) campuran
Biodigester I	400	660	500	7,58

**B. Data Biodigester II (biokonversi sampah pasar)**

Komposisi biodigester adalah sampah pasar : *starter* : air (1:1:1)

Keterangan	Sampah pasar (g)	<i>Starter</i> (g)	Air (g)	TS (%) campuran
Biodigester II	500	660	500	6,07

Contoh perhitungan TS campuran dari biodigester I :

Keterangan : % TS campuran di hitung dalam satuan % b/b

Data biodigester I :

Keterangan	Feses sapi (g)	Starter (g)	Air (g)	TS (%) campuran
Biodigester I	400	660	500	7,58

Rumus yang digunakan :

% TS campuran =

$$\frac{\left(\frac{g \text{ feses sapi}}{100} \times \text{rata-rata \% TS feses sapi}\right) + \left(\frac{g \text{ starter}}{100} \times \text{rata-rata \% TS starter}\right)}{g \text{ feses sapi} + g \text{ starter} + g \text{ air}}$$

% TS campuran tiap gram = (100 x % TS campuran)

$$\begin{aligned} \% \text{ TS campuran} &= \left(\frac{400}{100} \times 16,67\%\right) + \left(\frac{660}{100} \times 7,82\%\right) \\ &= \frac{118,29}{1560} \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ TS tiap gram} &= \left(\frac{100 \times 118,29\%}{1560}\right) \\ &= 7,58 \% \end{aligned}$$

**Lampiran 8 :****Perhitungan Rasio C/N Awal Biokonversi Biomassa**❖ **Data rasio C/N awal dari masing-masing bahan isian**

Keterangan	Feses sapi	Starter	Sampah Pasar
Rasio C/N (%)	65:1	59:1	19:1

❖ **Komposisi masing-masing biodigester**➤ **Biodigester I (biokonversi feses sapi)**

Komposisi biodigester adalah feses sapi : starter : air (1:1:1)

Keterangan	Feses sapi (g)	Starter (g)	Air (g)
Biodigester I	400	660	500

➤ **Data Biodigester II (biokonversi sampah pasar)**

Komposisi biodigester adalah sampah pasar : starter : air (1:1:1)

Keterangan	Sampah pasar (g)	Starter (g)	Air (g)
Biodigester II	500	660	500

❖ **Rasio C/N biokonversi biomassa**

Keterangan	Rasio C/N
Biodigester I	41,66 : 1
Biodigester II	29,18 : 1

Rumus yang digunakan :

Rasio C/N bahan padatan :

$$\left( \frac{g \text{ biomassa}}{g(\text{biomassa} + \text{starter})} \times \text{rasio C/N biomassa} \right) + \left( \frac{g \text{ starter}}{g(\text{biomassa} + \text{starter})} \times \text{rasio C/N starter} \right)$$

$$\text{Rasio C/N campuran} = \frac{\text{g bahan padatan}}{\text{g total}} \times \text{rasio C/N bahan padatan}$$

Contoh perhitungan rasio C/N campuran dari biodigester I :

Data biodigester I :

- a. nilai rasio C/N feses sapi dan *starter* :

<b>Keterangan</b>	<b>Feses sapi</b>	<b>Starter</b>
Rasio C/N (%)	65:1	59:1

- b. komposisi biodigester I :

<b>Keterangan</b>	<b>Feses sapi (g)</b>	<b>Starter (g)</b>	<b>Air (g)</b>
Biodigester I	400	660	500

$$\text{Rasio C/N bahan padatan} = \left(\frac{400}{1060} \times 65\right) + \left(\frac{660}{1060} \times 59\right) = 61,26$$

$$\text{Rasio C/N campuran} = \frac{1060}{1560} \times 61,26 = 41,66$$

**Lampiran 9 :****Perhitungan Total Solid (TS) Akhir Biokonversi Biomassa****A. Data Biodigester I (biokonversi feses sapi)**

Komposisi biodigester adalah feses sapi : *starter* : air (1:1:1)

Keterangan	I	II	III
a	21,4860 g	20,9750 g	20,9820 g
b	23,3220 g	22,8140 g	22,7950 g
c*	21,5800 g	21,0680 g	21,0800 g
c**	21,5770 g	21,0660 g	21,0770 g
c***	21,5770 g	21,0660 g	21,0770 g
c	21,5780 g	21,0667 g	21,0780 g
kadar air (%)	94,99	95,01	94,70
TS (%)	5,01	4,99	5,30

**B. Data Biodigester II (biokonversi sampah pasar)**

Komposisi biodigester adalah sampah pasar : *starter* : air (1:1:1)

Keterangan	I	II	III
a	22,2090 g	20,1390 g	19,6030 g
b	23,9820 g	22,1030 g	21,5850 g
c*	22,2770 g	20,2130 g	19,6780 g
c**	22,2740 g	20,2100 g	19,6750 g
c***	22,2740 g	20,2100 g	19,6750 g
c	22,2750 g	20,2110 g	19,6760 g
kadar air (%)	96,28	96,33	96,32
TS (%)	3,72	3,67	3,68

Keterangan :

- a = berat konstan krus porselin kosong
- b = berat krus porselin + sampel
- c\* = berat krus porselin + sampel hasil pemanasan I
- c\*\* = berat krus porselin + sampel hasil pemanasan II
- c\*\*\* = berat krus porselin + sampel hasil pemanasan III
- c = rata-rata berat krus porselin + sampel hasil pemanasan

- Contoh perhitungan *total solid* (TS) akhir data I dari biodigester I :

Rumus yang digunakan :

$$\% \text{ kadar air} = \frac{b-c}{b-a} \times 100\%$$

$$\% \text{ TS} = 100\% - \% \text{ kadar air}$$

Data I dari biodigester I :

Keterangan	I
a	21,4860 g
b	23,3220 g
c*	21,5800 g
c**	21,5770 g
c***	21,5770 g
c	21,5780 g
kadar air (%)	94,99
TS (%)	5,01

$$\begin{aligned} \% \text{ kadar air} &= \frac{b-c}{b-a} \times 100\% \\ &= \frac{23,3220 - 21,5780}{23,3220 - 21,4860} \times 100\% \\ &= 94,99 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ TS} &= 100\% - \% \text{ kadar air} \\ &= 100\% - 94,99\% \\ &= 5,01 \% \end{aligned}$$

**Lampiran 10 :****Perhitungan Tekanan Total Dalam Pengukuran Volume Biogas**

❖ Rumus tekanan total :  $P = P_o + \rho gh$

Keterangan :

$P_o$  = tekanan udara luar (1 atm)

$\rho$  = massa jenis air ( $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi bumi ( $9,8 \text{ m/s}^2 = 980 \text{ cm/s}^2$ )

$h$  = perbedaan ketinggian permukaan cairan (cm)

❖ Perhitungan :

Diketahui :  $h = 2,8 \text{ cm} = 0,028 \text{ m}$ ,  $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Maka :  $P = P_o + \rho gh$

$$P = 1 \text{ atm} + (1000 \text{ Kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,028 \text{ cm})$$

$$P = 1 \text{ atm} + (274,4 \text{ N/m}^2)$$

$$P = 1 \text{ atm} + \frac{(274,4 \text{ N/m}^2)}{1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2}$$

$$P = 1 \text{ atm} + 0,00271 \text{ atm}$$

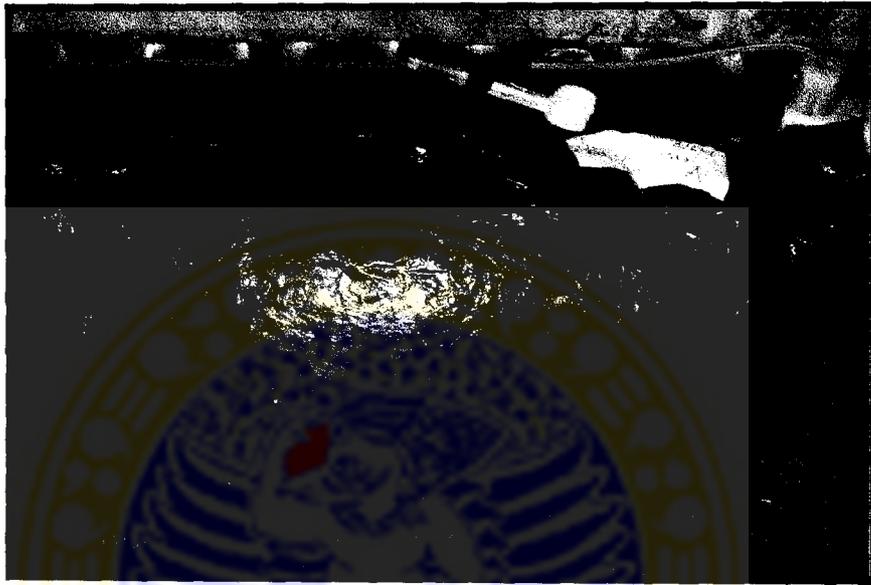
$$P = 1,0027 \text{ atm}$$

Jadi tekanan total (tekanan luar dan tekanan dalam biodigestor) = 1,0027 atm

**Lampiran 11 :**

**Foto Produksi Biakan *Starter* Dan Produksi Biogas (Menggunakan Sampah Pasar Dan Feses Sapi)**

**A. Foto produksi biakan *starter***



**B. Foto produksi biogas dengan sampah pasar**



**C. Foto produksi biogas dengan feses sapi**

