



**PREDIKSI PROSENTASE KANDUNGAN *METHANE* ( $\text{CH}_4$ ) DAN  
ENERGI BIOGAS BERBAHAN DASAR LIMBAH  
BUAH NANAS (*Ananas comosus L*)**

**SKRIPSI**

Oleh

**Putri Diah Anggiani  
NIM 101810201018**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**PREDIKSI PROSENTASE KANDUNGAN *METHANE* ( $\text{CH}_4$ ) DAN  
ENERGI BIOGAS BERBAHAN DASAR LIMBAH  
BUAH NANAS (*Ananas comosus L*)**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Putri Diah Anggiani**  
**NIM 101810201018**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2015**

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Ayahanda Fajar Suryanto dan Ibunda Nanik Indrayani tercinta yang selalu memberikan doa dan restu yang tiada henti kepada ananda, serta kasih sayang dan keikhlasan hati mendidik dan membimbing ananda hingga saat ini;
2. Adikku tersayang Gustina Ayu Maharani, terima kasih atas dukungan dan kasih sayangnya yang luar biasa;
3. Febri Andriyono S. Kom, terima kasih sudah menemani dan memberikan kasih sayang, dukungan, motivasi dan doa;
4. Almater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

**MOTTO**

“Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang – orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah”

(Thomas Alva Edison)<sup>1</sup>

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Terjemahan QS. Al-Baqaroh: 286)<sup>2</sup>

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”

(Terjemahan QS. Al-Mujadalah: 11)<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup><http://katakatabijak.com/tag/thomas-alva>.

<sup>2</sup>Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Jakarta: Yayasan Penyelenggaraan Penterjemah/Penafsir Al-Qur'an.

<sup>3</sup>Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Jakarta: Yayasan Penyelenggaraan Penterjemah/Penafsir Al-Qur'an.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Putri Diah Anggiani

NIM : 101810201018

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Prediksi Prosentase Kandungan *Methane* (CH<sub>4</sub>) dan Energi Biogas Berbahan Dasar Limbah Buah Nanas (*Ananas comosus L*)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa, dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2015

Yang menyatakan,

Putri Diah Anggiani  
NIM 101810201018

**SKRIPSI**

**PREDIKSI PROSENTASE KANDUNGAN *METHANE* (CH<sub>4</sub>) DAN  
ENERGI BIOGAS BERBAHAN DASAR LIMBAH  
BUAH NANAS (*Ananas comosus L*)**

Oleh

Putri Diah Anggiani

NIM 101810201018

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing Anggota : Dra. Arry Yuariatun Nurhayati

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Prediksi Prosentase Kandungan *Methane* (CH<sub>4</sub>) dan Energi Biogas Berbahan Dasar Limbah Buah Nanas (*Ananas comosus L*)” telah diuji dan disahkan pada

hari :

tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember

**Tim Penguji**

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Drs. Yuda C. Hariadi, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19620311 198702 1 001

Dra. Arry Y. Nurhayati.  
NIP 19610909 198601 2 001

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Ir. Misto, M.Si.  
NIP 19591121 1991103 1 002

Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si.  
NIP 19741215 200212 1 001

Mengesahkan  
Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D.  
NIP 19610108 198602 1 001

## RINGKASAN

**Prediksi Prosentase Kandungan *Methane* (CH<sub>4</sub>) dan Energi Biogas Berbahan Dasar Limbah Buah Nanas (*Ananas comosus L*), Putri Diah Anggiani, 101810201018; 2015; 63 halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.**

Pengaruh suhu lingkungan terhadap substrat fermentasi biogas dapat mempengaruhi kualitas gas bio yang terbentuk, dimana mikroorganisme pengurai akan bekerja merombak substrat dengan maksimal pada kondisi *mesophilic* yang mana suhu substrat mencapai 30-50 °C. Substrat yang telah diklasifikasikan menjadi empat (4) bagian seperti substrat campuran yang terdiri dari (daging, daun, kulit), substrat daging buah, substrat kulit, dan substrat daun memiliki potensi menjadi bahan dasar pembuatan biogas namun dari keempat substrat tersebut jumlah *methana* (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan berbeda-beda. Dari keempat substrat yang memiliki jumlah *methana* (CH<sub>4</sub>) tertinggi adalah substrat campuran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap produksi gas bio terutama gas *methana* (CH<sub>4</sub>) dan untuk mengetahui prosentase kandungan metana (CH<sub>4</sub>) beserta energi yang dihasilkan dari fermentasi keempat substrat limbah buah nanas (*Ananas comosus L*) dengan dua variasi *starter* yang berbeda. Dalam penelitian ini pemercepat reaksi perombakan (*starter*) yang digunakan adalah *Effective Microorganism 4* (EM4) dan ragi.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa masing masing reaktor yang berisi keempat macam substrat yang berbeda-beda memiliki suhu yang fluktuatif mengikuti suhu di luar reaktor. Hal ini mengakibatkan volume CH<sub>4</sub> yang terbetuk juga berbeda-beda. Berdasarkan hasil dari pengamatan dan perhitungan, substrat campuran menghasilkan gas *methane* (CH) lebih banyak dibandingkan substrat daging buah, daun dan kulit, serta massa waktu produksi lebih lama dibandingkan



substrat yang lain. Pembakaran gas bio menghasilkan energi kalor yang dapat diketahui dari pembakaran partikel gas *methane* ( $\text{CH}_4$ ) dengan menggunakan alat pembakar dan air sebanyak 500 ml sebagai media. Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa substrat yang menghasilkan energi paling besar adalah substrat campuran dengan starter EM4, energi kalor biogas berbanding lurus dengan total volume *methane* ( $\text{CH}_4$ ) yang terbentuk.



## PRAKATA

*Alhamdulillahirobilalamin*, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Prediksi Prosentase Kandungan *Methane* (CH<sub>4</sub>) dan Energi Biogas Berbahan Dasar Limbah Buah Nanas (*Ananas comosus L*)” dengan baik. Karya ilmiah ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

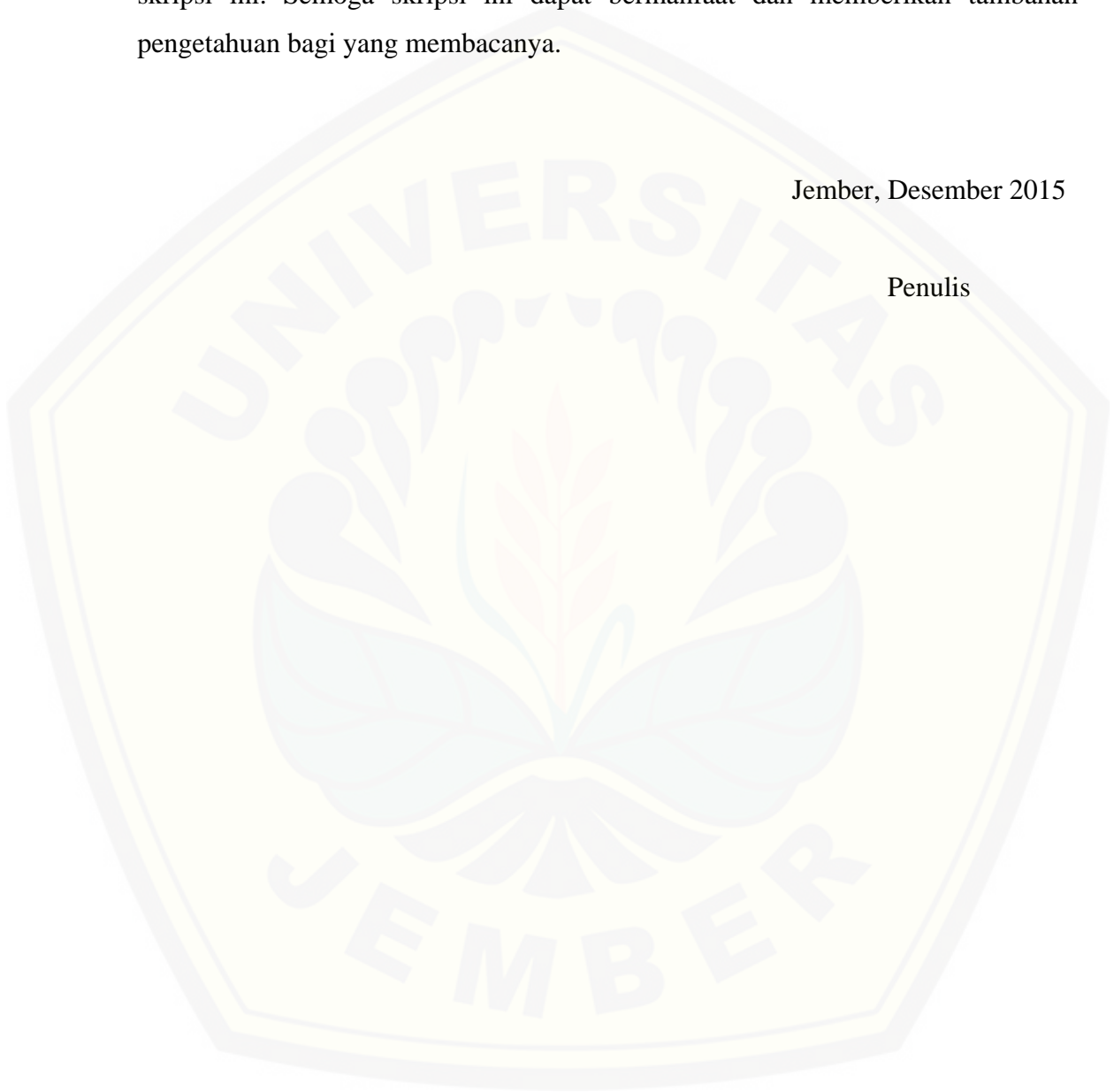
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik berupa dorongan, motivasi, nasehat, saran serta kritik yang membangun. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Drs. Yuda C. Hariadi, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dra. Arry Y. Nurhayati selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang dengan sabar meluangkan waktu untuk memberikan nasehat, bimbingan, saran dan kritik yang membangun demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
2. Ir. Misto, M.Si selaku Dosen Penguji I dan Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji II, yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan koreksi, saran serta kritik demi penyempurnaan penulisan skripsi ini;
3. Riva, Wisnatun, Ony, Ika, Aminatus dan Anita terimakasih atas dorongan dan persahabatan hingga saat ini, serta teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu;
4. Semua teman-teman angkatan 2010 dan teman-teman di *Biophysics Club* Haritsah, Mustaqim, Asih, Sholeh, Novdi, Dewi dan Udin terimakasih atas kebersamaan, bantuan fisik maupun moril demi terselesainya skripsi ini;
5. Semua teman-teman di kostan putri Jl.karimata gang pajak 66A yang tidak bisa disebutkan satu persatu terimakasih atas kekeluargaan dan kebersamaan selama ini.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu dengan senang hati penulis menerima saran dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan tambahan pengetahuan bagi yang membacanya.

Jember, Desember 2015

Penulis



**DAFTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Tujuan</b> .....	5
<b>1.4 Manfaat</b> .....	5
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Limbah</b> .....	6
<b>2.2 Nanas (Ananas Comosus L)</b> .....	7
2.1.1 Taksonomi .....	7
2.1.2 Karakteristik Nanas .....	8
2.1.3 Kandungan Buah Nanas .....	9
<b>2.3 Fermentasi</b> .....	10
2.2.1 Jenis-Jenis Fermentasi .....	10
2.2.2 Sistem Fermentasi .....	12

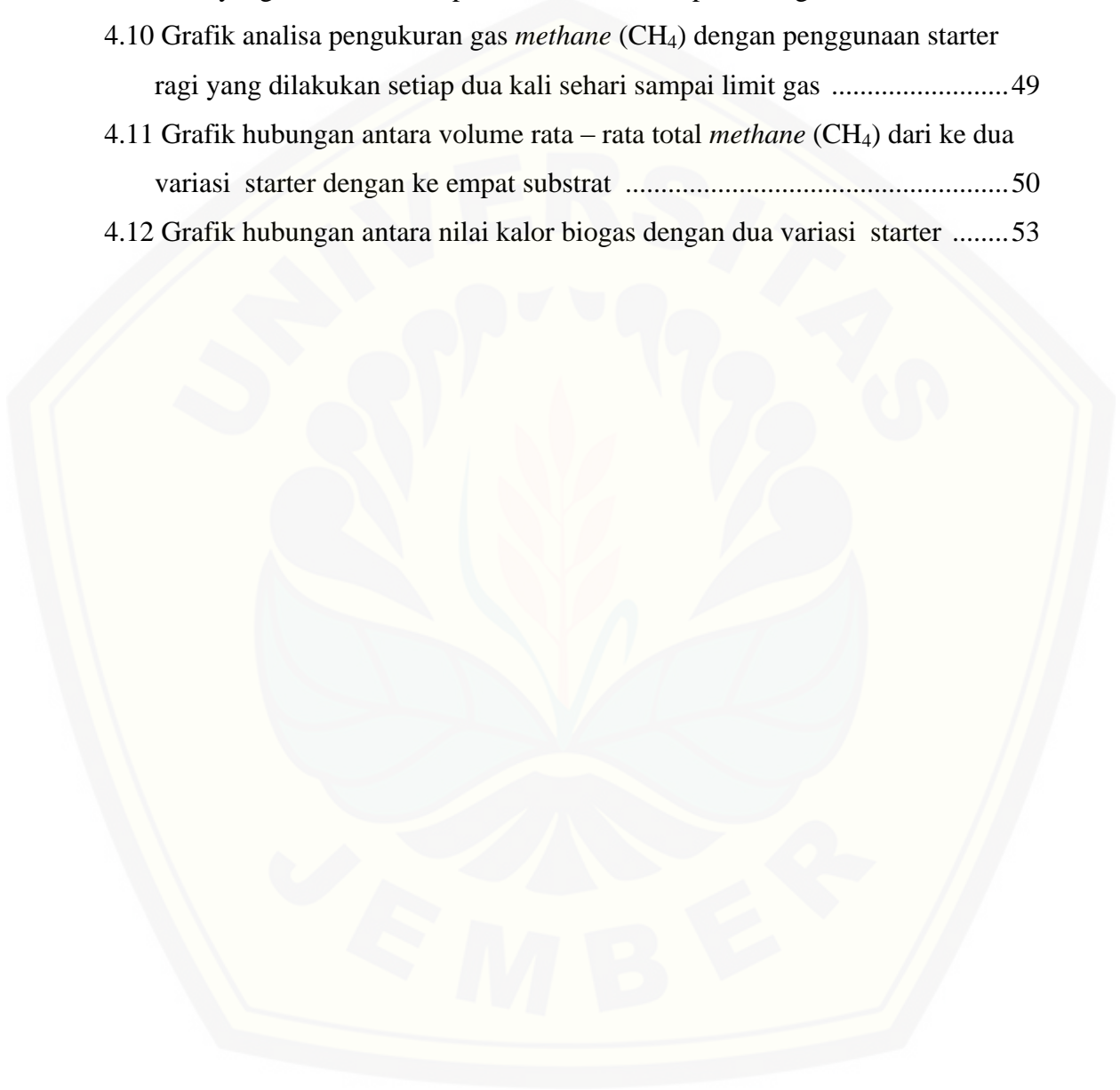
<b>2.4 Energi</b> .....	14
2.4.1 Biomassa .....	14
2.4.2 Biofuel .....	14
<b>2.5 Biogas</b> .....	15
2.5.1 Proses Penguraian Limbah .....	16
2.5.2 Faktor Pengaruh Pembentukan Biogas .....	19
<b>2.6 Metode Pengukuran</b> .....	20
<b>2.7 Larutan</b> .....	22
2.7.1 Larutan HCL.....	23
2.7.2 Larutan KOH .....	23
<b>2.8 Reaktor Biogas</b> .....	24
2.8.1 Komponen Reaktor.....	25
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	27
<b>3.1 Tempat dan Waktu</b> .....	27
<b>3.2 Alat dan Bahan</b> .....	27
3.2.1 Alat .....	27
3.2.2 Bahan .....	28
<b>3.3 Tahap Penelitian</b> .....	29
3.3.1 Survey Literatur .....	30
3.3.2 Studi Pustaka .....	30
3.3.3 Persiapan .....	30
3.3.4 Observasi .....	34
3.3.5 Pengambilan Data Penelitian .....	34
3.3.6 Pengolahan dan Analisis Data .....	37
3.3.7 Pembahasan dan Kesimpulan .....	37
3.3.8 Laporan Hasil Penelitian .....	37
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	38
<b>4.1 Hasil dan Analisis Data</b> .....	38

4.1.1 Hasil Pengamatan dan Analisis Data Perubahan Suhu Substrat Harian Selama Masa Fermentasi .....	38
4.1.2 Hasil dan Analisis Kandungan <i>methane</i> (CH <sub>4</sub> ) Biogas Berbahan Dasar Limbah Buah Nanas ( <i>Ananas comosus L</i> ).....	46
4.1.3 Hasil Perhitungan Energi Biogas Berbahan Dasar Limbah Buah Nanas ( <i>Ananas comosus L</i> ) .....	52
<b>4.2 Pembahasan</b> .....	56
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	62
5.1 Kesimpulan .....	62
5.2 Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN A</b>	
<b>LAMPIRAN B</b>	
<b>LAMPIRAN C</b>	
<b>LAMPIRAN D</b>	
<b>LAMPIRAN E</b>	
<b>LAMPIRAN F</b>	

**DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK**

	<b>Halaman</b>
2.1 Skema Proses Fermentasi .....	13
2.2 Proses Fermentasi Bahan Organik Secara Anaerob .....	13
2.3 Alur Proses Pembentukan Metan .....	18
2.4 Metode Hansen <i>Liquid Replacement System</i> .....	22
2.5 Fixed Dome Reactor .....	24
2.6 Floating Dome Reactor .....	25
3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	29
3.2 Klasifikasi substrat .....	31
3.3 Alur konstruksi reaktor biogas .....	32
3.4 Pengeboran dan Pemasangan Dob .....	33
3.5 Reaktor dan Analizer Kit .....	33
4.1 Grafik perubahan suhu substrat campuran reaktor A (EM4) pada pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 selama 6 (enam) hari masa fermentasi .....	39
4.2 Grafik perubahan suhu substrat campuran reaktor B (ragi) pada pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 selama 6 (enam) hari masa fermentasi .....	40
4.3 Grafik perubahan suhu substrat daging buah reaktor C (EM4) pada pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 selama 6 (enam) hari masa fermentasi .....	41
4.4 Grafik perubahan suhu substrat daging buah reaktor D (ragi) pada pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 selama 6 (enam) hari masa fermentasi .....	42
4.5 Grafik perubahan suhu substrat daun nanas reaktor E (EM4) pada pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 selama 6 (enam) hari masa fermentasi .....	43
4.6 Grafik perubahan suhu substrat daun nanas reaktor F (ragi) pada pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 selama 6 (enam) hari masa fermentasi .....	44
4.7 Grafik perubahan suhu substrat kulit nanas reaktor G (EM4) pada pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 selama 6 (enam) hari masa fermentasi .....	45
4.8 Grafik perubahan suhu substrat kulit nanas reaktor H (ragi) pada pukul	

10.00, 12.00, dan 14.00 selama 6 (enam) hari masa fermentasi .....	46
4.9 Grafik analisa pengukuran gas <i>methane</i> (CH <sub>4</sub> ) dengan penggunaan starter EM4 yang dilakukan setiap dua kali sehari sampai limit gas .....	48
4.10 Grafik analisa pengukuran gas <i>methane</i> (CH <sub>4</sub> ) dengan penggunaan starter ragi yang dilakukan setiap dua kali sehari sampai limit gas .....	49
4.11 Grafik hubungan antara volume rata – rata total <i>methane</i> (CH <sub>4</sub> ) dari ke dua variasi starter dengan ke empat substrat .....	50
4.12 Grafik hubungan antara nilai kalor biogas dengan dua variasi starter .....	53





**DAFTAR TABEL**

	<b>Halaman</b>
2.1 Kandungan Gizi Buah Nanas .....	9
2.2 Perbedaan Fermentasi Padat dan Fermentasi Cair .....	11
2.3 Komposisi Senyawa Biogas .....	16
3.1 Kriteria substrat .....	31
4.1 Hasil pengamatan nilai rata – rata dan <i>standart error</i> (s.e) perubahan suhu substrat campuran reaktor A (EM4) selama masa fermentasi berlangsung ...	38
4.2 Hasil pengamatan nilai rata – rata dan <i>standart error</i> (s.e) perubahan suhu substrat campuran reaktor B (ragi) selama masa fermentasi berlangsung .....	39
4.3 Hasil pengamatan nilai rata – rata dan <i>standart error</i> (s.e) perubahan suhu substrat daging buah reaktor C (EM4) selama masa fermentasi berlangsung .....	40
4.4 Hasil pengamatan nilai rata – rata dan <i>standart error</i> (s.e) perubahan suhu substrat daging buah reaktor D (ragi) selama masa fermentasi berlangsung .....	41
4.5 Hasil pengamatan nilai rata – rata dan <i>standart error</i> (s.e) perubahan suhu substrat daun nanas reaktor E (EM4) selama masa fermentasi berlangsung ...	42
4.6 Hasil pengamatan nilai rata – rata dan <i>standart error</i> (s.e) perubahan suhu substrat daun nanas reaktor F (ragi) selama masa fermentasi berlangsung .....	43
4.7 Hasil pengamatan nilai rata – rata dan <i>standart error</i> (s.e) perubahan suhu substrat kulit nanas reaktor G (EM4) selama masa fermentasi berlangsung .....	44
4.8 Hasil pengamatan nilai rata – rata dan <i>standart error</i> (s.e) perubahan suhu substrat kulit nanas reaktor G (EM4) selama masa fermentasi berlangsung .....	45

4.9 Hasil analisis gas <i>methane</i> (CH <sub>4</sub> ) dengan starter EM <sub>4</sub> beserta <i>standart error</i> (s.e) volume <i>methane</i> (CH <sub>4</sub> ) setiap pengukuran dua hari sekali .....	47
4.10 Hasil analisis gas <i>methane</i> (CH <sub>4</sub> ) dengan starter ragibeserta <i>standart error</i> (s.e) volume <i>methane</i> (CH <sub>4</sub> ) setiap pengukuran dua hari sekali .....	48
4.11 Hasil perhitungan volume rata – rata total gas <i>methane</i> (CH <sub>4</sub> ) dengan dua variasi starter beserta <i>standart error</i> (s.e) pada setiap ke empat variasi substrat .....	49
4.12 Hasil uji anova terhadap nilai total volume <i>methane</i> dengan variasi substrat dan starter .....	51
4.13 Hasil uji signifikansi perbedaan rata-rata volume <i>methane</i> pada jenis substrat ( <i>Post Hoc Test</i> ) .....	52
4.14 Hasil perhitungan kalor (Q) biogas dengan variasi substrat dan dua variasi starter beserta <i>standart error</i> (s.e) .....	53
4.15 Hasil uji anova terhadap nilai kalor (Q) biogas dengan variasi substrat dan starter .....	54
4.16 Hasil uji signifikansi perbedaan rata-rata kalor (Q) biogas pada jenis substrat ( <i>Post Hoc Test</i> ) .....	55

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi yang kita butuhkan dari tahun ke tahun semakin meningkat, namun pasokan energi berbanding terbalik dengan ketersediaanya. Ketergantungan manusia terhadap bahan bakar fosil menyebabkan cadangan sumber energi tersebut semakin lama semakin berkurang. Di tengah persoalan tersebut, pengembangan energi baru dan terbarukan menjadi solusi alternatif. Salah satu pengembangan bioenergi sebagai energi alternatif adalah biogas yang sudah ditemukan sejak tahun 1770 oleh Alessandro Volta (Hamidi, 2011). Pengembangan bioenergi di Indonesia sebagai sumber energi alternatif terutama biogas merupakan salah satu langkah yang tepat untuk mengurangi ketergantungan manusia terhadap sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Di sisi lain pengembangan biogas dapat mengurangi gas buang (emisi) dari bahan bakar fosil atau *woodfuel* dan meminimalisir adanya dampak buruk terhadap lingkungan. Teknologi biogas menjadi salah satu alternatif karena bahan bakunya tersedia dan dapat diperbarui (Richard, 2011).

Sampah organik yang berasal dari sampah rumah tangga berpotensi sebagai penghasil biogas. Komposisi kandungan biogas yang paling besar adalah *methane* ( $\text{CH}_4$ ) yaitu sebesar 40-70% (Gate, 1999). Hasil penelitian Saragih (2010) menunjukkan bahwa produksi biogas 450 l/kg dapat menghasilkan *methane* ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 44%.

Biogas merupakan bahan bakar gas (*biofuel*) dan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara *anaerobic digestion* atau fermentasi anaerob dari bahan organik dengan bantuan bakteri *methane* seperti

*Methanobacterium sp* (Sunaryo, 2014). Terdapat beberapa komposisi kandungan dari biogas yaitu gas *methane* (CH<sub>4</sub>), Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), Nitrogen (N), Hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), dan Oksigen (O<sub>2</sub>). Biogas merupakan salah satu bahan bakar yang mengandung nilai kalor yang cukup tinggi yaitu 4500 – 6300 kkal/ m<sup>3</sup>. Volume biogas 1 m<sup>3</sup> setara dengan 0.8 liter bensin, 0.52 liter solar, 0.62 liter minyak tanah, 0.46 kg elpiji dan 3.5 kg kayu bakar. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi *methane* (CH<sub>4</sub>). Semakin tinggi kandungan *methane* maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas. Biogas dihasilkan dari proses penguraian bahan organik seperti limbah buah-buahan oleh bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara (*anaerob*) (Pambudi, 2008). Untuk menghasilkan biogas dari limbah buah - buahan ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu kandungan buah tersebut dan ketersediaanya yang mudah didapat. Salah satu limbah buah yang memiliki potensi untuk dijadikan biogas adalah limbah buah nanas.

Secara geografis, negara Indonesia memiliki potensi untuk menjadikan sebagian dari penduduknya beprofesi sebagai petani karena wilayah Indonesia terletak di belahan iklim tropis, dimana daerah ini sangat cocok untuk dijadikan sektor pertanian. Total produksi buah-buahan nasional pada periode 2007-2011 mencapai angka 17.56 juta ton per tahun dengan tingkat pertumbuhan sebesar 3.07 % per tahun. Sementara itu, konsumsi mencapai 12.7 juta ton per tahun dengan tingkat pertumbuhan 3.54% (Lasman, 2013). Persoalan utama produksi buah nusantara adalah tingkat kerusakan yang cukup tinggi mulai dari produksi di kebun (*on farm*) maupun pasca panen (*off ramp*), hal ini dikarenakan sifat dari buah-buahan itu sendiri yang mudah rusak atau busuk akibat mikroorganisme semacam bakteri, jamur dan cendawan yang dapat menyerang buah-buahan yang terus berlanjut setelah pemetikan pasca panen. Buah-buahan setelah dipanen tidak akan bertahan lama, buah-buahan tersebut akan mengalami perubahan fisiologis yang disertai dengan perubahan fisik, kimia dan mikrobiologi.

Kerusakan pada buah akan terus berlangsung sampai buah tersebut menjadi layu dan tidak layak dikonsumsi, dikarenakan kandungan vitamin dan serat dari buah tersebut sudah hilang. Proses ini dapat terjadi pada setiap jenis buah-buahan. Kebanyakan buah-buahan yang rusak dan tidak layak untuk dikonsumsi tersebut dibuang begitu saja, hal ini sering kita jumpai di pasar tradisional tidak sedikit limbah buah-buahan yang dibuang dipinggir jalan dan disekitar tempat pembuangan sampah sehingga menyebabkan bau yang tidak sedap dan mencemari lingkungan. Tingkat kerusakan produksi buah rata-rata mencapai 30%-60%, hal ini jelas akan sangat merugikan petani (Lasman, 2013). Oleh karena itu untuk mengurangi pencemaran lingkungan, penelitian ini memanfaatkan limbah buah buangan khususnya limbah nanas yang telah mengalami proses sortiran di salah satu pasar tradisional kota Jember yaitu pasar Tanjung sebagai bahan bakar alternatif biogas yang ramah lingkungan.

Nanas merupakan tanaman buah berupa semak yang memiliki nama ilmiah *Ananas comosus L* dan hidupnya bersifat tahunan (*perennial*). Buah nanas tersebar di wilayah Indonesia, tanaman ini mudah tumbuh di berbagai jenis tanah dan iklim serta di daerah dengan curah hujan merata sepanjang tahun. Luas panen nanas di Indonesia mencapai 165.690 hektar atau 25.24% dari sasaran panen buah-buahan nasional (Ashari, 1995). Ditinjau dari ketersediaan pasokan nanas di Indonesia yang melimpah dan penanganan pasca panen belum maksimal hal ini mengakibatkan jumlah limbah buah meningkat, dikarenakan nanas termasuk salah satu komoditi buah yang mudah rusak, susut dan cepat busuk. Buah yang sudah busuk dibuang begitu saja, hal ini dapat dijadikan peluang untuk mengatasi kebutuhan energi yang semakin krisis. Salah satu cara pengembangan pemanfaatan limbah buah pasca panen adalah dengan menjadikan limbah nanas sebagai substrat fermentasi yang dapat diolah menjadi biogas.

Dalam penelitian ini, bahan produksi biogas menggunakan limbah organik yang berasal dari nanas yang sudah rusak. Menurut Saragih (2010), dengan menggunakan

3 tahapan proses fermentasi limbah buah nanas yaitu tahap hidrolisa, tahap asidifikasi, dan tahap metanasi dapat menghasilkan gas *methane* (CH<sub>4</sub>) dan CO<sub>2</sub>. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Wahyudi (tanpa tahun) menyatakan bahwa dengan menggunakan perbandingan substrat 1:2 (kg massa kotoran kuda : kg air) menghasilkan kandungan *methane* (CH<sub>4</sub>) sebesar 48.7% dan nilai kalor sebesar 23028.352 kJ/m<sup>3</sup>.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui prosentase kandungan *methane* CH<sub>4</sub> dan nilai kalor dari limbah buah nanas yang difermentasi dengan menggunakan 2 macam starter yaitu EM<sub>4</sub> dan ragi. Dari penelitian ini, diharapkan dapat menjadi rujukan kepada masyarakat untuk memanfaatkan limbah organik contohnya limbah buah yang difungsikan sebagai substrat untuk menghasilkan gas bio sebagai sumber energi alternatif dalam mengatasi keterbatasan cadangan energi fosil, misalnya dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar konvensional seperti minyak tanah yang sering digunakan sampai saat ini, serta sekaligus dapat mengurangi pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang penelitian ini, dirumuskan beberapa permasalahan yaitu:

1. Bagaimana perubahan suhu selama proses digesting pada masing-masing substrat dengan variasi starter yang berbeda?
2. Berapa prosentase kandungan *methane* (CH<sub>4</sub>) dan energi yang dihasilkan dari fermentasi keempat substrat limbah buah nanas (*Ananas comosus L*) dengan dua variasi starter yang berbeda?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui perubahan suhu selama proses digesting pada masing-masing substrat dengan variasi starter yang berbeda
2. Menentukan prosentase kandungan *methane* ( $\text{CH}_4$ ) dan energi yang dihasilkan dari fermentasi ke-empat substrat limbah buah nanas (*Ananas comosus L*) dengan dua variasi starter yang berbeda

### 1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat menghimbau masyarakat khususnya petani, bahwa limbah pertanian khususnya buah-buahan dapat digunakan sebagaisalah satu energi alternatif yaitu biogas yang nantinya dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar konvensional seperti minyak tanah dan kayu, dan diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah organik tidak pada tempatnya khususnya di lingkungan pasar tradisional, sungai, dan jalan raya.

### 1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat hal-hal yang perlu dibatasi yaitu:

1. Pengamatan suhu substrat dilakukan pada pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 WIB
2. Proses fermentasi berlangsung tanpa adanya oksigen (anaerob)
3. Starter yang digunakan sebagai pemercepat reaksi fermentasi adalah EM4 dan ragi
4. Kandungan biogas yang diprediksi adalah gas *methane* ( $\text{CH}_4$ ).

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Limbah

Limbah adalah bahan buangan padat atau semi padat yang dihasilkan dari aktifitas manusia atau hewan yang dibuang dan tidak digunakan lagi (Thahir, 2007). Berdasarkan jenis senyawa, limbah dikelompokkan menjadi dua yaitu limbah organik dan limbah anorganik. Limbah organik merupakan limbah yang mengandung unsur carbon (C) sehingga meliputi limbah dari makhluk hidup dan bersifat cepat busuk, sedangkan limbah anorganik merupakan limbah yang tidak mengandung unsur carbon (C) dan tidak dapat terurai atau busuk secara alami oleh mikroorganisme pengurai (Hermawan, 2007).

Sudarmadji (1981) menyatakan bahwa terdapat tiga jenis bahan baku yang prospektif untuk dijadikan bahan baku biogas di Indonesia. Bahan baku tersebut diantaranya adalah kotoran manusia dan kotoran hewan, limbah cair organik, dan sampah organik.

#### a. Kotoran manusia dan kotoran hewan

Kotoran manusia dan kotoran hewan sangat berpotensi menghasilkan biogas. Berdasarkan hasil estimasi, satu ekor hewan ternak sapi menghasilkan kotoran sebanyak 10-30 kg dan berpotensi menghasilkan 360 liter biogas, dan kotoran hewan ternak lainnya yaitu 20 kg kotoran babi dewasa dapat menghasilkan 1.379 liter biogas.

#### b. Limbah cair organik

Komponen utama limbah cair adalah air (90%), sisanya bahan-bahan buangan lainnya yang tercampur (tersuspensi) maupun yang terlarut dalam air.



c. Sampah padat organik

Limbah padat atau yang disebut dengan sampah merupakan salah satu limbah yang paling banyak ditemui di lingkungan. Dari segi bentuk, jenis dan komposisi limbah padat sangat dipengaruhi oleh taraf hidup masyarakat dan kondisi alam. Jumlah limbah padat sangat dipengaruhi oleh kepadatan penduduk, semakin padat populasi maka semakin besar produksi limbah padat. Sampah organik yang sudah diuraikan melalui proses alami menghasilkan biogas dengan komposisi CH<sub>4</sub> sebesar 51.33 – 58.58% dan gas CO<sub>2</sub> sebesar 41.82 – 48.67% (Sudarmadji, 1981).

## 2.2 Nanas (*Ananas Comosus L*)

Nanas berasal dari Brasil (Amerika Selatan). Nanas memiliki nama daerah yaitu danas (Sunda) dan neneh (Sumatera). Dalam bahasa Inggris disebut *pineapple* dan orang-orang Spanyol menyebutnya dengan sebutan pina. Pada abad ke-16 orang Spanyol membawa nanas ke Filipina dan Semenanjung Malaysia, kemudian masuk ke Indonesia pada abad ke-15 (1599). Tanaman nanas banyak ditanam di Indonesia, terutama di Pulau Jawa dan Sumatera. Indonesia merupakan negara penghasil dan pengekspor nanas terbesar ke-4 dari kawasan ASEAN setelah Thailand, Filipina, dan Malaysia (Mointi, 2011).

### 2.1.1 Taksonomi

Menurut Rocky (2009), dalam klasifikasi atau sistematika tanaman (taksonomi) nanas termasuk dalam famili bromeliaceae. Berikut ini adalah klasifikasi nanas sebagai berikut:

Kingdom : Plantae (tumbuh-tumbuhan)  
Divisi : Spermatophyta (tumbuhan berbiji)  
Kelas : Angiospermae (berbiji tertutup)  
Ordo : Farinosae (Bromeliales)  
Famili : Bromeliaceae

Genus : Ananas

Spesies : *Ananas comosus* (L) Merr

### 2.1.2 Karakteristik Nanas

Tanaman nanas berbentuk semak dan hidupnya bersifat tahunan (*perennial*). Tanaman nanas terdiri dari akar, batang, daun, bunga, buah dan tunas-tunas. Akar nanas dapat dibedakan menjadi akar tanah dan akar samping, dengan sistem perakaran yang terbatas, akar-akar melekat pada pangkal batang dan berakar serabut (*monocotyledonae*). Kedalaman perakaran pada media tumbuh yang baik tidak lebih dari 50 cm, sedangkan di tanah biasa mencapai kedalaman 30 cm. Batang tanaman nanas berukuran 20-25 cm, dengan tebal diameter 2.0-3.5cm. Batang nanas berfungsi sebagai tempat melekat akar, daun, bunga, tunas dan buah sehingga secara visual batang tersebut tidak terlihat karena di sekelilingnya tertutup oleh daun. Tangkai bunga atau buah merupakan perpanjangan dari batang. Daun nanas tumbuh memanjang sekitar 130-150 cm dan lebar antara 3-5 cm. Daun nanas memiliki duri yang tersusun rapi menuju ke satu arah dan menghadap ke ujung daun. Jumlah daun setiap batang tanaman sangat bervariasi antara 70-80 helai yang letaknya seperti spiral, yaitu mengelilingi batang mulai dari bawah sampai ke atas arah kanan dan kiri.

Nanas mempunyai rangkaian bunga majemuk pada ujung batangnya. Bunga nanas bersifat hermaphrodit, bunga akan membuka setiap hari sekitar 5-10 kuntum. Pertumbuhan bunga dimulai dari bagian dasar menuju bagian atas sampai 10-20 hari. Waktu yang dibutuhkan dari penanaman sampai terbentuknya bunga sekitar 6-16 bulan. Pada umumnya sebuah tangkai buah hanya tumbuh satu buah saja, tetapi karena pengaruh faktor lingkungan tangkai buah dapat membentuk lebih dari satu buah pada satu tangkai yang disebut buah ganda (*multiple fruit*). Pada ujung buah terdapat tunas mahkota tunggal, tetapi ada pula tunas yang tumbuh lebih dari satu yang biasa disebut mahkota ganda (*multiple crown*).

Panen buah nanas dilakukan setelah nanas berumur 12-24 bulan, menyesuaikan dari jenis bibit yang digunakan. Bibit yang berasal dari mahkota bunga berbuah pada umur 24 bulan sampai panen buah setelah berumur 24 bulan. Tanaman yang berasal dari tunas batang dipanen setelah umur 18 bulan, sedangkan yang berasal dari tunas akar dipanen setelah berumur 12 bulan. Ciri-ciri buah nanas yang siap dipanen sebagai berikut:

- a. Mahkota buah terbuka
- b. Tangkai buah berkerut
- c. Mata buah lebih mendatar, besar dan berbentuk bulat
- d. Warna buah bagian dasar kuning
- e. Nanas beraroma harum dan khas

(Mahyanti, 2007)

### 2.1.3 Kandungan Buah Nanas

Nanas memiliki komposisi kandungan gizi yang dibutuhkan oleh tubuh. Komposisi kandungan gizi pada nanas menurut Direktorat Gizi Departemen Kesehatan dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Kandungan Gizi Buah Nanas (tiap 100 gram sampel)

<b>Kandungan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Kandungan</b>	<b>Jumlah</b>
Glukosa	1,7 g	Fosfor	11 mg
Fruktosa	1,9 g	Vitamin A	130 SI/100 mg
Air	85,3 g	Vitamin B1	0,08 mg
Karbohidrat	13,79g	Vitamin C	24 mg
Kalsium	16 mg	Zat besi	0,3 mg
Protein	0,49g	Kalori	52 kal

Sumber: Muljoharjo (1984).

## 2.3 Fermentasi

Kata fermentasi berasal dari bahasa latin yaitu “*fervere*” yang berarti merebus. Debby (1989) menyatakan bahwa fermentasi dapat dikaitkan dengan kondisi cairan bergelembung atau mendidih, hal ini diakibatkan karena adanya aktifitas bakteri pada ekstraksi buah-buahan atau biji-bijian. Gelembung-gelembung karbondioksida tersebut dihasilkan dari proses katabolisme anaerobik terhadap kandungan gula yang terdapat pada bahan fermentasi. Sedangkan menurut Fardiaz (1984), fermentasi merupakan suatu reaksi oksidasi atau reaksi dalam sistem biologi yang menghasilkan energi, yang mana donor elektron dan aseptor adalah senyawa organik. Senyawa organik yang biasanya digunakan adalah zat gula, yang kemudian akan diubah oleh reaksi reduksi dengan mengkatalis enzim menjadi senyawa lain.

### 2.2.1 Jenis – Jenis Fermentasi

Fermentasi dibedakan menjadi dua yaitu fermentasi padat (*solid substrate fermentation*) dan fermentasi cair atau bawah permukaan (*submerged fermentation*). fermentasi padat (*solid substrate fermentation*) adalah salah satu metode untuk menumbuhkan mikroorganisme dalam kondisi dimana kandungan airnya terbatas dan tanpa memiliki aliran air yang mengalir bebas. Di negara Cina, Jepang dan Korea mengaplikasikan fermentasi *solid state* untuk memproduksi produk-produk soya seperti tempe, saos soya dan lain-lain. Sedangkan fermentasi cair atau bawah permukaan (*submerged fermentation*) adalah proses fermentasi yang mikroorganisme dan substrat berada menjadi satu dalam “*submerged state*” dalam media cair dengan jumlah yang besar (Riadi, 2007).

Perbedaan yang paling mendasar antara *fermentasi solid state* dan *fermentasi submerged* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbedaan fermentasi padat dan fermentasi cair atau bawah permukaan

<b>Karakteristik</b>	<b>Fermentasi Padat</b>	<b>Fermentasi Cair</b>
Kondisi mikroorganisme dan substrat	Statis	teraduk
Status substrat	mentah	Murni
Keadaan alami dari mikroorganisme	sistem fungi	-
Keberadaan air	terbatas	Tinggi
Suplai oksigen	Difusi	dengan menyemburkan/ mengelembungkan
Kontak dengan oksigen	langsung	oksigen terlarut
Kebutuhan media	Kecil	Besar
Kebutuhan energy	Rendah	Tinggi
Studi kinetika	kompleks	Mudah
Perubahan suhu dan konsentrasi	fungsi step	"smooth"
Pengendalian reaksi	Sulit	Mudah
Potesi kontaminasi	Kecil	Tinggi
Jumlah cairan harus dibuang	Rendah	Tinggi

Sumber: Riadi (2007).

Dalam proses fermentasi, mikroorganisme harus mempunyai karakteristik penting diantaranya yaitu:

- a. Mikroorganisme harus mampu tumbuh dengan cepat dalam substrat dan lingkungan yang cocok untuk memperbanyak diri
- b. Mikroorganisme harus memiliki kemampuan untuk mengatur ketahanan fisiologi
- c. Kondisi lingkungan yang diperlukan untuk proses pertumbuhan mikroorganisme harus sesuai agar menghasilkan produk yang maksimal (Srikandi, 1988).

Berdasarkan sumber mikroorganisme, proses fermentasi dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu:

a. Fermentasi spontan

Fermentasi spontan merupakan fermentasi dimana dalam proses pembuatannya tidak ditambahkan mikroorganisme dalam bentuk starter atau ragi, tetapi mikroorganisme yang berperan aktif dalam proses fermentasi berkembang baik dan secara spontan karena lingkungan hidupnya diatur sesuai dengan pertumbuhannya.

b. Fermentasi tidak spontan

Fermentasi tidak spontan adalah fermentasi dimana dalam proses pembuatannya ditambahkan dengan mikroorganisme dalam bentuk starter atau ragi. Mikroorganisme tersebut akan tumbuh dan berkembang biak secara aktif dan merubah bahan yang difermentasi menjadi produk yang diinginkan (Suprihatin, 2010).

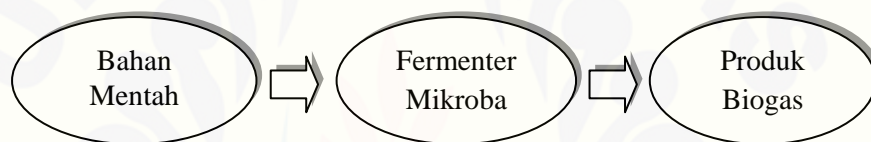
## 2.2.2 Sistem Fermentasi

Fermentasi merupakan reaksi dengan menggunakan biokatalis untuk mengubah bahan baku menjadi produk dengan menggunakan bantuan mikroba. Biokatalis yang digunakan berupa bakteri, yeast atau jamur (fungi). Proses fermentasi dilakukan dalam sebuah wadah atau bejana yang disebut dengan bioreaktor atau fermentor untuk menjamin proses fermentasi berlangsung secara optimal (Waites *et al*, 2001).

Fermentasi tidak akan terjadi jika tidak terdapat substrat, substrat adalah umpan yang dimasukan ke dalam fermentor sebagai tempat tumbuh dan sumber nutrisi bagi mikroba. Substrat utama adalah sumber karbon yang digunakan oleh mikroorganisme untuk memberikan energi dalam proses pertumbuhan dan produksi hasil akhir. Menurut Srikandi (1988), pemilihan substrat yang baik memiliki beberapa faktor khusus yaitu substrat mudah didapat, harganya terjangkau, dan sifat

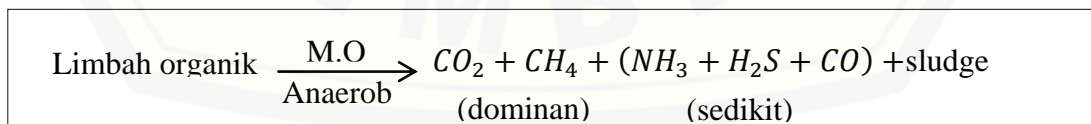
fermentasinya. Selain ketiga faktor tersebut, terdapat faktor lain yang harus diperhatikan dalam pemilihan substrat yaitu kecepatan aerasi dan agitasi, dimana kecepatan tersebut harus dinaikkan apabila menggunakan substrat yang lebih tereduksi.

Penggunaan starter (kultur mikroorganisme) dalam proses fermentasi bertujuan untuk mempercepat proses degradasi dan penguraian substrat. Starter adalah populasi mikroba dalam jumlah dan kondisi fisiologis yang siap diinokulasikan pada media fermentasi. Starter mikroba dapat dijumpai dalam berbagai bentuk salah satunya adalah EM<sub>4</sub> dan ragi. Berikut ini adalah skema proses fermentasi dapat dilihat pada gambar 2.1 .



Gambar 2.1. Skema Proses Fermentasi  
(Sumber: Waites *et al*, 2001)

Mikroorganisme yang hidup di dalam fermentor juga membutuhkan nutrisi diantaranya sulfur, phosphor, potasium, magnesium, nitrogen, dan mineral lainnya tergantung pada spesifik organisme (Riadi, 2007). Dalam penelitian ini, sistem fermentasi menggunakan bantuan mikroorganisme anaerobik. Fermentasi dengan menggunakan mikroorganisme anaerobik dilakukan tanpa menggunakan bantuan oksigen. Berikut ini adalah proses fermentasi bahan organik secara anaerob dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 proses fermentasi bahan organik secara anaerob  
(sumber: Asmara, 2013)

Terdapat beberapa substrat sumber karbon diantaranya yaitu metanol. Metanol merupakan substrat fermentasi termurah, tetapi hanya dapat dipecah oleh beberapa bakteri. Metanol sering digunakan sebagai substrat produksi protein sel tunggal. Metanol dapat diperoleh dari oksidasi *methane* atau gas alam lainnya. Produk-produk yang dihasilkan dari produksi fermentasi metanol misalnya asam sitrat dan fumarat, valin, lysin dan threonin (Bohumil, 1987).

## 2.4 Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha. Energi termasuk dalam besaran skalar. Satuan energi dalam SI sama dengan satuan usaha yaitu joule (J). Energi juga disebut sesuatu yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya. Hukum termodinamika yang pertama menyatakan bahwa energi bersifat kekal, tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat dikonversi dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain. Sumber energi dapat didaur ulang atau diperbaharui seperti biomassa, biofuel dan biogas.

### 2.4.1 Biomassa

Biomassa adalah proses daur ulang pada tumbuhan melalui fotosintesis dimana energi surya memegang peranan. Daun menyerap energi surya untuk proses pertumbuhannya dan mengeluarkan gas CO<sub>2</sub>.

### 2.4.2 Biofuel

Biofuel adalah bahan bakar perantara yang terbentuk dari material organik umpan kimiawi sebagai transformasi prosen melalui radiasi surya secara fotosintesis untuk menghasilkan biogas, etanol cair, biodiesel dan arang bakar padat. Biogas atau gas bio merupakan salah satu jenis energi yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan dari berbagai jenis bahan buangan dan bahan sisa, misalnya sampah, kotoran ternak, jerami, eceng gondok serta banyak bahan-bahan lainnya secara *anaerobic digestion* atau fermentasi anaerob dengan bantuan bakteri metana seperti *Methanobacterium sp* (Sunaryo, 2014).



## 2.5 Biogas

Penemuan ilmuwan Alessandro Volta terhadap gas yang dikeluarkan di rawa-rawa terjadi pada tahun 1776, dimana beliau pertama kali mengaitkan gas bakar ini dengan proses pembusukan sayuran. William Henry pada tahun 1806 mengidentifikasi gas yang dapat terbakar tersebut sebagai gas *methane* yang kemudian dilanjutkan oleh Avogadro. Setelah tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses *anaerobik digestion*. Pada tahun 1884, Louis Pasteur melakukan penelitian tentang biogas, pada era penelitian Pasteur menjadi landasan untuk penelitian biogas hingga saat ini. Biogas atau gas bio merupakan salah satu jenis energi yang dapat dibuat dari berbagai jenis bahan buangan dan bahan sisa, misalnya sampah rumah tangga, sampah hasil pertanian, kotoran ternak, jerami, eceng gondok serta banyak bahan-bahan organik lainnya (Mochamad, 2013).

Secara alami proses pembentukan biogas membutuhkan kisaran waktu yang relatif lama sekitar 10 – 12 hari, hal ini dikarenakan aktifitas mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi hanya berasal dari bahan organik yang membusuk. Untuk meningkatkan efisiensi pembentukan biogas dari sampah organik, maka diperlukan optimalisasi peranan dari mikroorganisme yaitu dengan cara melakukan penambahan inokulum mikroorganisme. Inokulum mikroorganisme disebut dengan biakan atau starter, starter bertujuan untuk mempercepat proses degradasi sampah organik (Buckle, 1985). Proses degradasi sampah organik ini dilakukan dalam kondisi kedap udara (*anaerob*) atau tanpa melibatkan oksigen di dalam prosesnya. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi *methane* ( $\text{CH}_4$ ). Jika kandungan *methane* semakin tinggi, maka kandungan energi (nilai kalor) akan semakin besar. Begitu juga sebaliknya, apabila semakin kecil kandungan *methane* yang dihasilkan, maka nilai kalor akan semakin kecil. Yadava dan Hcssc (1981) menyatakan bahwa, kandungan utama biogas adalah *methane* ( $\text{CH}_4$ ) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ).

Kandungan biogas secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Komposisi Senyawa Biogas

Senyawa	Rumus Kimia	Kadar (%)
Metana ( <i>methane</i> )	CH <sub>4</sub>	40 – 70
Karbon dioksida	CO <sub>2</sub>	30 – 60
Hidrogen	H <sub>2</sub>	5 – 10
Nitrogen	N <sub>2</sub>	1 – 2
Uap air	H <sub>2</sub> O	0.3
Hidrogen Sulfida	H <sub>2</sub> S	Sisa

Sumber: Gate (1999).

Dalam proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metanogen. Terdapat 3 (tiga) kelompok bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas yaitu:

- a. Kelompok bakteri fermentatif diantaranya *steptococci*, *bacteriodes*, dan beberapa jenis *enterobacteriaceae*,
- b. Kelompok bakteri asidifikasi yaitu *desulfovibrio*,
- c. Kelompok bakteri metanasi diantaranya *mathanobacterium*, *mathanobacillus*, *methanosacaria* dan *methanococcus*.

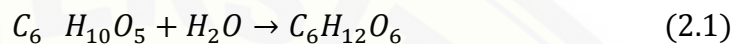
### 2.5.1 Proses Penguraian Limbah

Pengaturan dan pengendalian proses ini dilakukan dalam kondisi anaerob di dalam sebuah bejana tertutup yang disebut dengan bioreaktor atau digester. Menurut Fernandes (2008), pada umumnya penguraian bahan-bahan organik menjadi gas bio melewati tiga tahap, yaitu tahap hidrolisa, asidifikasi, dan metanasi.

#### a. Tahap Hidrolisa

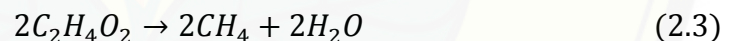
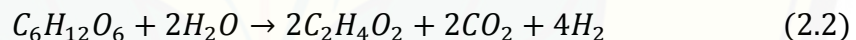
Tahap hidrolisa merupakan tahap persiapan, dimana dalam tahap ini senyawa-senyawa organik diuraikan menjadi senyawa-senyawa sederhana. Senyawa-senyawa sederhana yang dimaksud dalam tahap ini adalah senyawa asam organik, glukosa,

etanol, CO<sub>2</sub> dan hidrokarbon. Senyawa-senyawa tersebut akan digunakan sebagai sumber karbon dan energi oleh bakteri fermentasi. Bakteri yang berperan dalam tahap hidrolisis adalah bakteri selulitik dan amilolitik. Bakteri tersebut digolongkan menjadi dua yaitu bakteri mesofilik dan bakteri termofilik. Pada tahap ini, enzim yang berperan adalah enzim ekstrakuler seperti selulosa, amilase, protease, dan lipase. Reaksi yang dapat terjadi pada tahap hidrolisa sebagai berikut (Fernandes, 2008).



b. Tahap Asidifikasi

Tahap asidifikasi merupakan tahap pembentukan asam, yang mana bakteri pembentuk asam akan menguraikan senyawa glukosa menjadi asam-asam lemak yang mudah menguap seperti asam laktat, asam asetat, asam butirat dan asam propionat. Selain asam-asam lemak, dalam tahap ini juga menghasilkan karbondioksida dan hidrogen. Reaksi yang dapat terjadi pada tahap asidifikasi sebagai berikut (Fernandes, 2008). Reaksi penguraian senyawa glukosa oleh bakteri pembentuk asam sebagai berikut

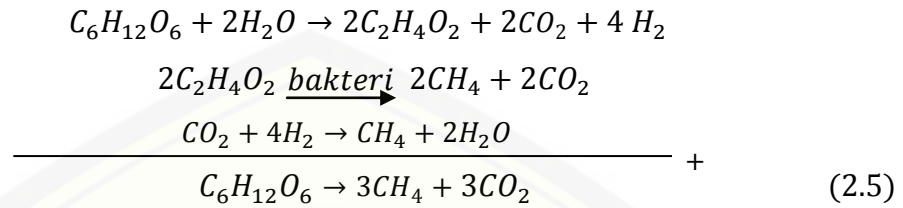


c. Tahap Metanasi

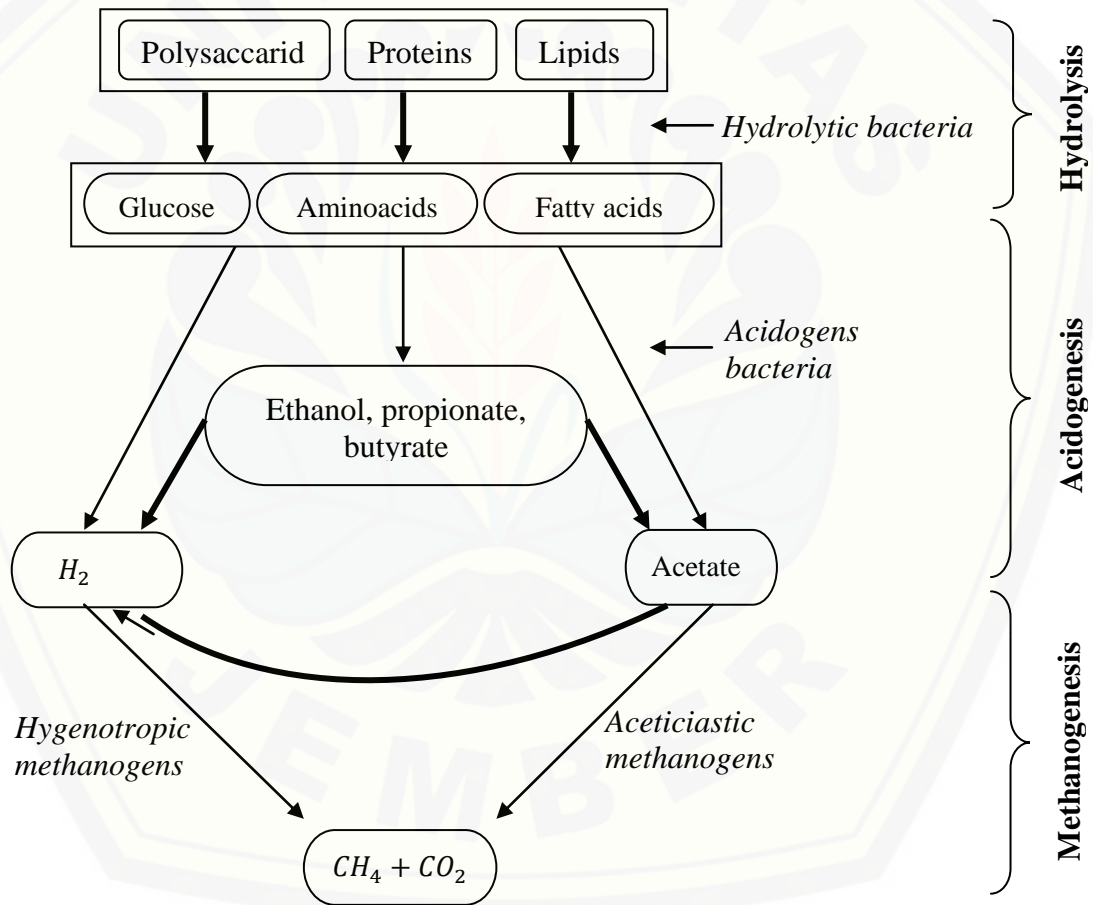
Pada tahap pembentukan gas *methane* (CH<sub>4</sub>), bakteri yang berperan aktif adalah bakteri metanogens. Bakteri metanogen akan membentuk gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dari gas H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan asam asetat yang dihasilkan pada tahap pengasaman. Bakteri metanogen bersifat anaerob dan peka terhadap perubahan pH, suhu dan konsentrasi. Reaksi yang dapat terjadi pada tahap metanasi sebagai berikut (Fernandes, 2008).



Dari ketiga tahap tersebut, jika hasil reaksi disatukan maka akan menghasilkan reaksi sebagai berikut:



Berikut ini adalah gambar alur proses perombakan glukosa menjadi gas *methane* dari ketiga tahap sebagai berikut:



Gambar 2.3 Alur Proses Pembentukan Metan  
(Sumber: Gedanke, 2011)

### 2.5.2 Faktor Pengaruh Pembentukan Biogas

Dalam proses pembentukan biogas ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju pertumbuhan mikroorganisme anaerobik diantaranya yaitu derajat keasaman (pH), temperatur, keadaan hampa udara, kandungan air, dan bahan baku

#### a. Derajat keasaman (pH)

Tingkat derajat keasaman (pH) sangat berpengaruh terhadap proses penguraian limbah organik pada produksi biogas. Dalam proses metanasi terdapat bakteri yang berperan dalam proses penghasil *methane*, bakteri tersebut sangat sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH maksimum untuk jenis bakteri penghasil metana adalah 6.4 – 7.4 (Gosh, 1987).

#### b. Temperatur

Proses pembentukan *methane* (CH<sub>4</sub>) bekerja pada rentang temperatur 20-40<sup>0</sup>C dan temperatur dijaga konstan. Reaksi yang terjadi selama proses degradasi bahan organik tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap peningkatan suhu substrat, karena energi yang dihasilkan oleh fermentasi anaerobik sangat kecil, oleh karena itu perubahan suhu lebih dominan dipengaruhi oleh perubahan suhu lingkungan (Gerardi, 2003).

#### c. Keadaan hampa udara

Mikroorganisme penghasil biogas sangat peka terhadap keberadaan oksigen. Dengan adanya oksigen, pemecahan bahan-bahan organik akan menghasilkan karbondioksida. Oleh karena itu, kondisi reaktor yang digunakan sebagai tempat berlangsungnya fermentasi harus kedap udara, karena apabila bocor atau terdapat lubang kecil saja hal ini akan berakibat gagalnya pembentukan biogas.

#### d. Kandungan air

Air memiliki peran penting dalam proses metabolisme. Kandungan air untuk menghasilkan biogas biasanya mencapai 50-80% dari berat substrat. Kelebihan air menyebabkan penurunan pembentukan biogas dan menghambat pengoptimalan kinerja mikroorganisme, dan jika kandungan air terlalu sedikit maka substrat akan

mudah terkumpul dan mengeras di dalam reaktor dan menghambat pembentukan gas. Jadi kandungan air terhadap substrat harus seimbang.

e. Bahan baku

Biogas akan terbentuk apabila bahan bakunya berupa padatan yang berbentuk bubuk halus atau butiran kecil. Agar pembentukan biogas berlangsung dengan sempurna, maka bahan baku yang masih berupa padatan harus dihaluskan atau digiling terlebih dahulu.

## 2.6 Metode Pengukuran

Analisa kandungan biogas dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode. Metode analisa kandungan biogas diantaranya adalah metode kromatografi gas-spektrometer massa (GC-MS) dan analisa secara manual menggunakan metode Hansen *liquid replacement system* (LRS).

### 1. Kromatografi gas-spektrometer massa (GC-MS)

Kromatografi gas-spektrometer massa (GC-MS) adalah metode yang mengkombinasikan dua metode analisis yaitu kromatografi gas (GC) dan spektrometri massa (MS) untuk mengidentifikasi senyawa yang berbeda dalam analisis sampel (Currel, 2002).

Kromatografi gas (GC) merupakan salah satu teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya. Gas kromatografi biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat pada campuran gas dan menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas. Sedangkan spektroskopi massa (MS) adalah suatu metode untuk mendapatkan berat molekul dengan cara mencari perbandingan massa terhadap muatan dari ion yang muatannya diketahui dengan mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnetik seragam (Pavia, 2006).

Analisa kandungan biogas menggunakan kromatografi memiliki kelebihan sebagai berikut:

- a. Dapat digunakan untuk menganalisa partikel yang ukurannya sangat kecil seperti polutan dalam udara
- b. Analisa cepat hanya dalam hitungan menit
- c. Sensitivitas tinggi sehingga dapat memisahkan berbagai senyawa yang saling bercampur dan mampu menganalisa berbagai senyawa meskipun dalam kadar atau konsentrasi yang rendah

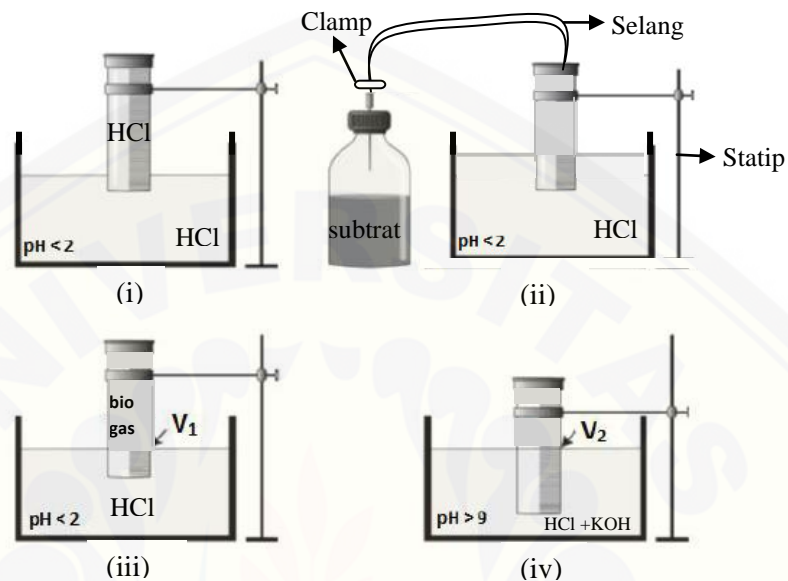
Selain memiliki kelebihan, kromatografi juga memiliki kekurangan sebagai berikut:

- a. Teknik kromatografi gas terbatas untuk zat yang mudah menguap
- b. Kromatografi gas sulit dipakai untuk memisahkan campuran dalam jumlah yang besar (Shalahuddin, 2012).

## 2. Analisa secara manual menggunakan metode Hansen (LRS)

Metode *liquid replacement system* (LRS) dapat digunakan untuk menganalisis kandungan *methane* ( $\text{CH}_4$ ) dari hasil fermentasi substrat bahan organik. Untuk menentukan volume biogas, reaktor harus dihubungkan ke analyzer dengan menggunakan selang penghubung. Analyzer berisi larutan HCl dan KOH yang keduanya memiliki fungsi yang berbeda beda. Salah satu kelemahan dari metode *liquid replacement system* (LRS) adalah metode ini hanya dapat menganalisis kandungan biogas yaitu gas metana  $\text{CH}_4$ , dan larutan yang digunakan sebagai analyzer hanya dapat digunakan untuk satu kali pengukuran.

Secara keseluruhan desain peralatan yang digunakan tersaji dalam Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Metode Hansen *liquid replacement system* (LRS)  
(Sumber: Hansen et al, 2004)

## 2.6 Larutan

Larutan didefinisikan sebagai campuran yang bersifat homogen antara molekul, atom ataupun ion dari dua zat atau lebih. Larutan disebut campuran karena susunan atau komposisinya dapat berubah. Larutan homogen adalah larutan yang jika dicampurkan dengan pelarut akan terlarut dan menyatu menjadi satu larutan. Fase larutan dapat berwujud gas, padat dan cair. Larutan gas misalnya udara, larutan padat misalnya perunggu, amalgam dan paduan logam yang lain, dan larutan cair misalnya air laut, larutan gula dalam air, dan lain-lain. Komponen larutan terdiri dari zat pelarut (*solvent*) dan zat terlarut (*solute*). Zat pelarut adalah zat yang digunakan sebagai media untuk melarutkan media lain, sedangkan zat terlarut adalah komponen dari larutan yang memiliki jumlah larutan (Chang, 2004).

Setiap larutan memiliki konsentrasi yang menyatakan banyaknya zat terlarut dalam jumlah larutan tertentu. Rahayu (2009), mengemukakan bahwa untuk



menyatakan banyaknya zat terlarut dan pelarut dikenal beberapa istilah konsentrasi. Konsentrasi larutan dapat dinyatakan dalam molaritas (M), molalitas (m), dan normalitas (N). Dalam penelitian ini menggunakan 2 macam larutan untuk menganalisis kandungan biogas dari limbah buah nanas yaitu larutan HCl 0,5M dan larutan KOH 1M.

#### 2.7.1 Larutan HCl

Larutan asam klorida (HCl) merupakan larutan asam kuat yang sangat korosif dan berbau menyengat serta memiliki densitas sebesar  $1.18 \text{ gr/cm}^3$ , titik didih HCl sebesar  $110^\circ\text{C}$  dan massa molar sebesar  $35.46 \text{ gr/mol}$  (Lukman, 2009).

#### 2.7.2 KOH

Salah satu jenis zat kimia yang dapat digunakan untuk proses aktivasi secara kimia yaitu kalium hidroksida (KOH) dengan nama latin Potasium Hydroxide. KOH merupakan salah satu senyawa basa kuat yang stabil terbuat dari logam alkali kalium yang bernomor atom 19 sehingga cocok digunakan untuk aktivasi pemurnian biogas. KOH berbentuk kristal padat berwarna putih yang higroskopis. Higroskopis adalah kemampuan suatu zat untuk menyerap molekul air dari lingkungannya baik molekul absorpsi atau adsorpsi (Sacher, 2004).

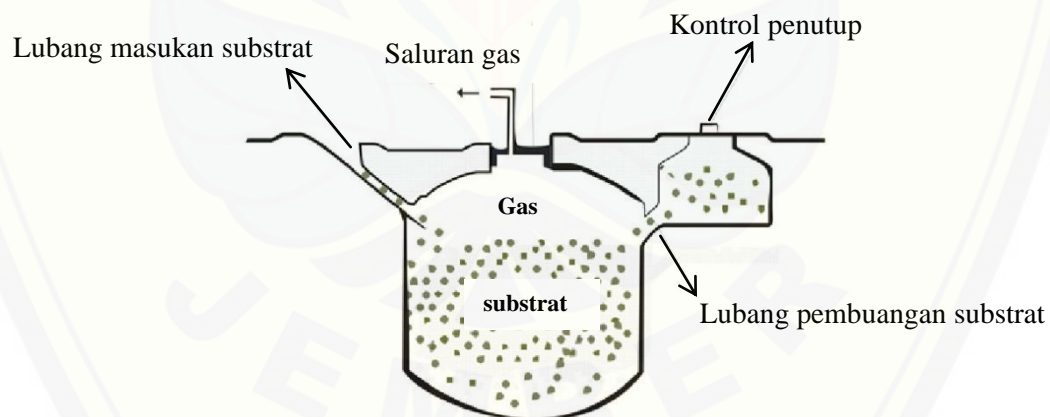
Zat yang disebut higroskopis memiliki afinitas yang kuat terhadap kelembapan udara, oleh karena itu harus disimpan dalam wadah tertutup. Hamidi (2011) mengatakan bahwa dengan kadar senyawa KOH dapat menurunkan kandungan gas  $\text{CO}_2$ . Dalam penelitiannya, Hamidi (2011) mengemukakan bahwa dengan menggunakan larutan KOH kandungan gas  $\text{CO}_2$  yang semula sebesar 20% setelah 120 menit berkurang menjadi 2.75%. Tingkat kadar senyawa KOH berpengaruh pada kemampuan penyerapan  $\text{CO}_2$ . Semakin tinggi kadar senyawa KOH maka proses aktivasi kimiawi akan semakin optimal sehingga kemampuan absorpsi  $\text{CO}_2$  meningkat, begitupun sebaliknya semakin rendah kadar senyawa KOH maka proses aktivasi kimiawi akan kurang optimal sehingga kemampuan absorpsi  $\text{CO}_2$  menurun.

## 2.8 Reaktor Biogas

Reaktor atau digester biogas adalah wadah tertutup sebagai tempat berlangsungnya proses fermentasi. Reaktor diisi dengan substrat berupa limbah atau sampah organik, dengan menggunakan bantuan mikroorganisme anaerob diharapkan limbah tersebut dapat menghasilkan gas *methane* CH<sub>4</sub> yang menjadi komponen utama pembentuk biogas. Menurut Meynell (1976) berdasarkan proses pengolahan limbah organik, reaktor dibedakan menjadi dua jenis yaitu *fixed dome* dan *Floating Dome*.

### a. *Fixed Dome*

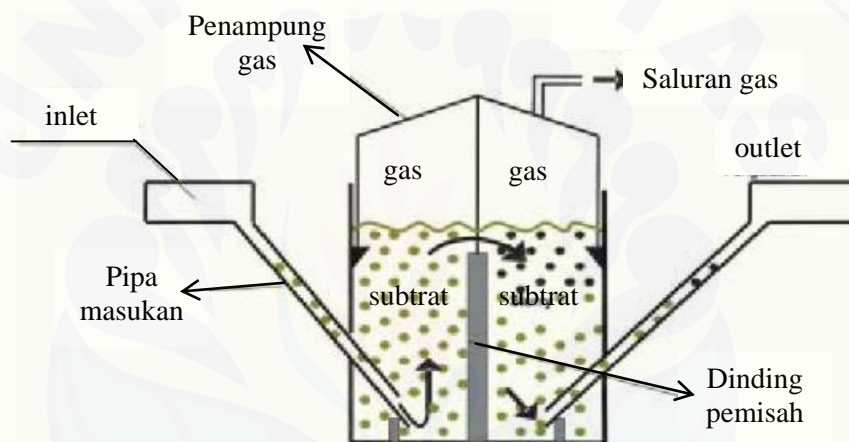
Pengolahan limbah dengan menggunakan reaktor jenis *fixed dome* memiliki volume tetap, sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan dalam reaktor (digester). Sehingga gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke dalam penampung gas di luar reaktor. *fixed dome reactor* memiliki kelebihan dari segi ekonomis, tetapi di sisi lain *fixed dome reactor* dapat mengalami pengurangan gas pada bagian kubah karena kontraksinya tetap. Bentuk reaktor *fixed dome* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Fixed Dome Reactor*  
(Sumber: Sasongko, 2009)

### b. *Floating Dome*

Pengolahan limbah dengan menggunakan reaktor jenis *floating dome* memiliki kelebihan dimana bagian dari reaktor dapat bergerak untuk menyesuaikan kenaikan tekanan gas. Pergerakan bagian reaktor ini menjadi tanda bahwa produksi gas dalam reaktor telah berlangsung. Pada reaktor jenis ini, pengumpul gas berada dalam satu kesatuan dengan reaktor tersebut. Volume gas dapat dilihat secara langsung dan tekanan gas relatif konstan. Bentuk reaktor *floating dome* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Floating Dome Reactor*  
(Sumber: Sasongko, 2009)

#### 2.8.1 Komponen Reaktor

Ada beberapa komponen yang harus diketahui untuk membuat reaktor biogas diantaranya yaitu:

##### 1. Saluran input (masukan)

Saluran masuk pada reaktor digunakan untuk memasukkan limbah organik yang digunakan sebagai bahan baku pembentukan biogas.

## 2. Saluran output (pembuangan)

Saluran pembuangan ini digunakan untuk mengeluarkan endapan limbah yang sudah difermentasi oleh bakteri. Saluran pembuangan bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatik. Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang disebabkan oleh zat cair yang berada dalam kesetimbangan atau statis. Apabila suatu zat cair berada dalam keadaan kesetimbangan atau statis, maka setiap bagian zat cair itu juga berada dalam keadaan kesetimbangan atau statis.

## 3. Saluran gas

Saluran gas terbuat dari bahan polimer untuk menghindari terjadinya korosi.

## 4. Katup pengatur tekanan (*clamp*)

*Clamp* digunakan sebagai pengatur tekanan gas pada reaktor.

## 5. Sistem pengaduk

Pengadukan dilakukan bertujuan untuk mengurangi pengendapan substrat dalam reaktor.

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember dari bulan April 2015 sampai selesai, dan observasi telah dilakukan pada bulan Desember 2014.

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Blender listrik, digunakan untuk menghaluskan limbah nanas
2. Galon, sebagai wadah fermentasi atau reaktor dengan kapasitas 5 liter
3. *Analyzer kit*, terdiri dari kontainer dan botol pengukur volume yang digunakan untuk mengukur volume gas bio yang terbentuk
4. Botol plastik, digunakan untuk mengukur volume  $V_1$  dan  $V_2$
5. *Beaker Glass*, sebagai alat untuk mengukur volume larutan starter
6. *Clamp* atau penjepit, sebagai untuk mengatur jalan masuknya gas
7. pH meter digital, sebagai alat untuk mengukur pH dari larutan HCl, KOH, dan substrat
8. Selang plastik dengan panjang 1 meter, sebagai selang penghubung biogas dari reaktor menuju gelas ukur plastik, dan alat pembakar
9. Termometer digital, sebagai alat untuk mengukur suhu dari larutan HCl, KOH dan substrat

10. Timbangan digital, sebagai alat untuk mengukur massa limbah buah dan KOH
11. *Stirrer*, sebagai alat untuk melarutkan padatan KOH
12. Statip, sebagai alat untuk penyangga botol pengukur volume
13. Timba plastik dan pengaduk, sebagai alat untuk mencampurkan antara substrat dan starter
14. Corong plastik, sebagai alat untuk memasukkan adonan ke dalam reaktor
15. Peralatan kecil seperti lem, gunting, plaster, pisau, bolpoin dan tabel data

### 3.2.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Limbah buah nanas yang terdiri dari daun, kulit, dan buah
2. Larutan hydrochloric acid (HCl) 700 ml dengan konsentrasi 0,5M
3. Larutan potassium hydroxide (KOH) dengan konsentrasi 1 M
4. Aquadest
5. Variasi starter yaitu *Efectife Microrganism 4* (EM4) dan ragi. EM4 dan ragi digunakan dalam penelitian ini sebagai starter fermentasi. Takaran untuk EM4 adalah 10cc setiap satu liter substrat dan ragi sebanyak 9 gr setiap satu liter substrat.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

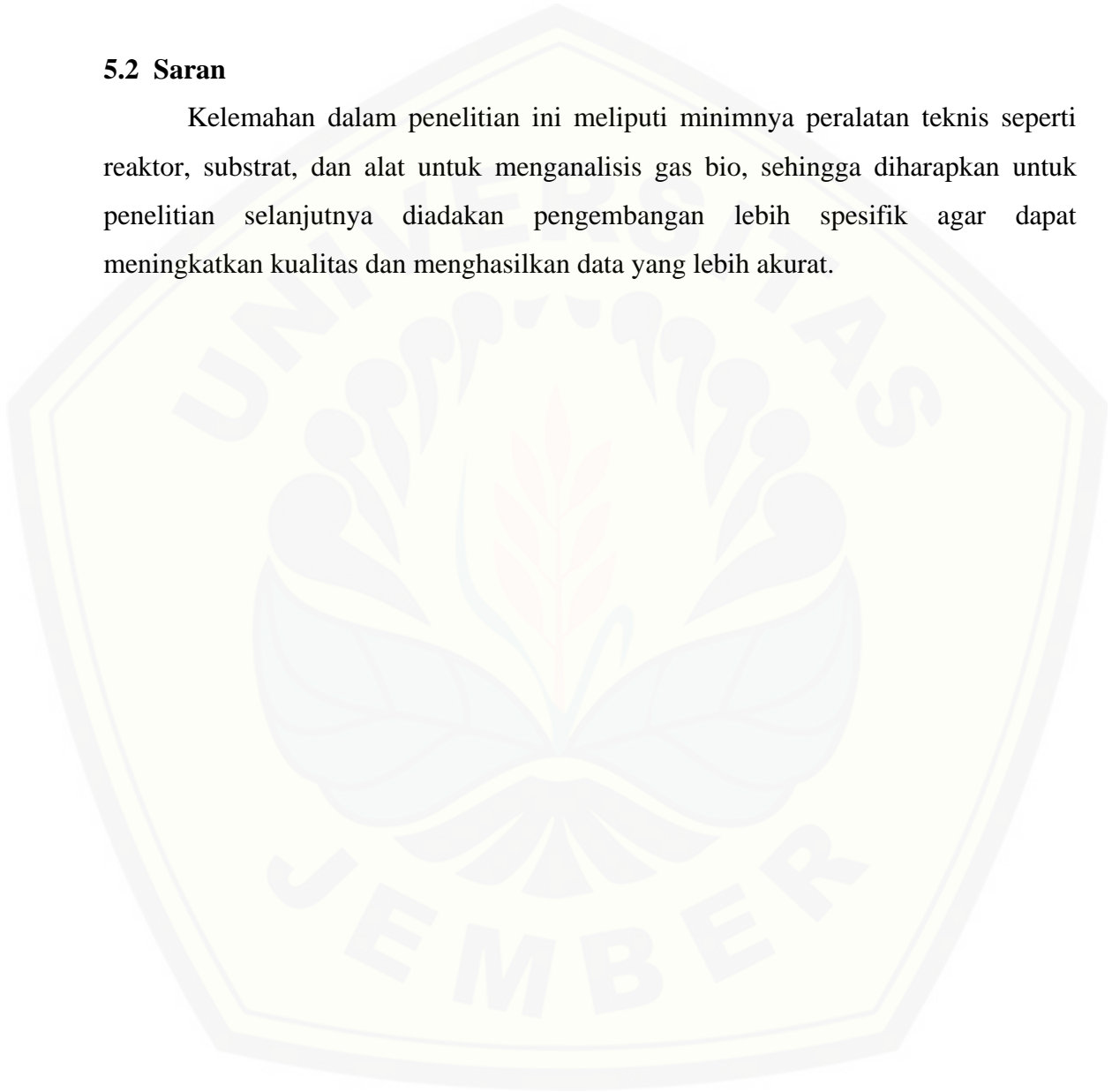
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Perubahan temperatur pada masing-masing substrat dengan dua variasi starter yaitu EM4 dan ragi selama proses *digesting* berlangsung memiliki kesamaan karakteristik yaitu mengalami fluktuasi temperatur yang disebabkan oleh kondisi suhu lingkungan yang tidak konstan. Perubahan suhu lingkungan memberikan pengaruh pada suhu substrat yang berpengaruh pada kualitas *methane* ( $\text{CH}_4$ ) yang terbentuk.
2. Mengacu pada hasil analisis dapat diprediksi bahwa starter EM4 dengan substrat campuran buah nanas mampu menghasilkan *methane* sebesar 27.49% lebih tinggi dibandingkan substrat daging buah sebesar 15.72%, substrat daun sebesar 17.70%, dan substrat kulit sebesar 21.58%. Sedangkan penggunaan starter ragi dengan substrat campuran hanya menghasilkan *methane* sebesar 22.38%, substrat daging buah sebesar 13.99%, substrat daun sebesar 14.36%, dan substrat kulit sebesar 14.77%. Dari uji statistik membuktikan bahwa adanya perbedaan rata-rata volume *methane* pada variasi substrat dan starter. Besar energi kalor yang dihasilkan berbanding lurus dengan volume *methane* ( $\text{CH}_4$ ) yang terbentuk. Nilai kalor substrat campuran, daging buah, daun, dan kulit dengan starter EM4 secara berurutan sebesar (20, 12, 13, 15) kJ. Sedangkan nilai kalor substrat campuran, daging buah, daun, dan kulit dengan starter ragi secara berurutan sebesar (15, 8,

11, 13) kJ. Dari uji statistik membuktikan adanya perbedaan rata-rata nilai kalor (Q) biogas.

## 5.2 Saran

Kelemahan dalam penelitian ini meliputi minimnya peralatan teknis seperti reaktor, substrat, dan alat untuk menganalisis gas bio, sehingga diharapkan untuk penelitian selanjutnya diadakan pengembangan lebih spesifik agar dapat meningkatkan kualitas dan menghasilkan data yang lebih akurat.





**DAFTAR PUSTAKA**

- Ashari, S. 1995. *Hortikultura Aspek Budidaya Nanas*. Jakarta: Universitas Indonesia Press (UI-Press).
- Asmara, A. 2013. Analisis Potensi Produksi Dan Persepsi Masyarakat Dalam Pengembangan Biogas Pada Sentra Usaha Ternak Sapi Perah Di Kabupaten Bogor. *Jurnal Agribisnis Indonesia*. Vol 1(1):71-80.
- Bohumil, S. 1987. *Methods In Industrial Microbiology*. England: Press.
- Buckle, K. A. 1985. *Pembentukan Biogas*. Jakarta: UI Press.
- Currel, G. 2002. *Analytical Instrumentation Performance Characteristics and Quality*. England: John Wiley and Sons.
- Chang, R. 2004. *Kimia Dasar Jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Debby, S. 1989. *Teknologi Fermentasi*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Fardiaz, W. 1984. *Biofermentasi Dan Biosintesa Protein*. Bandung: Angkasa.
- Fernandes, J. 2008. Effect of Substrate Concentration On Dry Mesophilic Anaerobic Digestion of Organic Fraction Municipal Solid Waste (OFMSW). *Bioresource Technology*. Vol.99:6075-6080.
- Gate. 1999. *Biogas Digest Volume I Biogas Basics*. [Serial on line]. Diakses melalui <http://www2.gtz.de/dokumente/bib/04-5364>. [25 Desember 2015].

- Gosh, S. 1987. Anaerobic Process. *Literatur Review J Water Poll. Control Federation*. Vol.10:50.
- Hamidi, N. 2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam. *Jurnal Rekayasa Mesin*. ISSN 0216-468X. Vol 2(3):227-231.
- Hansen, T. L., J. E. Schmidt, I. Angelidaki, E. Marca, J. C. Jansen, H. Mosbæk and T. H. Christensen. 2004. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Manag.* 24:393-400.
- Hermawan. 2007. *Sampah Organik sebagai Bahan Baku Biogas untuk Mengatasi Krisis Energi Dalam Negeri*. [Serial on line]. Diakses melalui <http://chemistryaddict.wordpress.com>. [28 Desember 2014].
- Lukman. 2009. *Mengenal Kegunaan Larutan Asam Klorida (HCl)*. [Serial on line]. Diakses melalui <http://anekailmu.blogspot.com/2009/06/mengenal-kegunaan-larutan-asam-klorida.html>. [25 Oktober 2014].
- Mahyanti, S. E. 2007. *Studi Pendahuluan Bubuk Kulit Nanas*. Depok: Universitas Indonesia.
- Mujdalipah, S. 2014. Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Digester Dua Tahap Pada Berbagai Konsentrasi Palm Oil-Mill Effluent dan Lumpur Aktif. *Agritech*. Vol.34 No 1
- Mochamad. 2013. *Terapan Bioteknologi Terhadap Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Mointi. 2011. *Taksonomi Nanas*. [Serial on line]. Diakses melalui <http://mointi.wordpress.com/2011/9/2/taksonomi-nanas>. [13 Oktober 2014].
- Meynell, P. J. 1976. *Methane: Planning a Digester*. Britain: Prism Press.
- Muljoharjo, M. 1984. *Nanas Dan Teknologi Pengolahannya*. Bandung: Liberty.
- Pambudi. 2008. *Pemanfaatan Biogas Sebagai Energi Alternatif*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret

- Pavia, D. 2006. *Introduction to Organic Laboratory Techniques*. Thompson Brooks/Cole. Pp 797-817.
- Rahayu, I. 2009. *Praktis Belajar Kimia*. Jakarta: Visindo media persada.
- Riadi, L. 2007. *Teknologi Fermentasi*. Yogyakarta: Graha ilmu.
- Richard, A.2011. *Biogas as a potential renewable energy source* 36: pp. 1510-15  
DOI: [10.1016/j.renene.2010.11.012](https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.11.012).
- Rocky. 2009. *Sejarah dan Klasifikasi dan Morfolofi Nanas*. [Serial on line]. Diakses melalui <http://rocky16amelungi.wordpress.com/2009/09/14/v-panen-dan-pasca-panen-nanas.html>. [29 September 2014].
- Lasman. 2013. *Produksi Buah Nusantara Dan Penanganannya*. [Serial on line]. Diakses melalui <http://lasman.wordpress.com/2013/6/12/produksi-buah-nusantara>. [1 Oktober 2014].
- Sacher, R. 2004. *Tinjauan Klinis Hasil Pemeriksaan Laboratorium*. Jakarta: EGC.
- Saragih, B. 2010. *Analisis Potensi Biogas Dari Limbah Organi*. Jakakrta: UI Press.
- Sasongko, W. 2009. *Teknik Pembuatan Biogas Sederhana*. [Serial on line]. Diakses melalui <http://teknik-pembuatan-biogas-sederhana.html>. [1 Januari 2015].
- Shalahuddin, I. 2012. *Mengenal Kromatografi Gas*. [Serial on line]. Diakses melalui <http://iqshalahuddin.wordpress.com/2012/03/15/mengenal-kromatografi-gas>. [27 Januari 2015]
- Srikandi, F. 1988. *Fisiologi Fermentasi*. Bogor: IPB.
- Sudarmadji, S. 1981. *Prosedur Analisa Untuk Bahan Makanan dan Pertanian*.
- Suprihatin. 2010. *Teknologi Fermentasi*. Surabaya: UNESA Press.
- Thahir, M. 2007. *Pemanfaatan Limbah Untuk Dijadikan Biogas sebagai Energi Alternatif*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Waites, M. J., Morgan, N. S., dan Gary, H. 2001. *Industrial Microbiology: An Introduction*. USA: Blackwell Science.

Wahyudi, M.A., Widhiyanuriyawan, D., dan Hamidi, N. Tanpa tahun. Pengaruh Kondisi Temperatur Mesophilic dan Thermophilic Anaerobic Digester Terhadap Parameter Karakteristik Biogas. Universitas Brawijaya.

Yadava, L. S., dan Hcsc, P. R. 1981. *The Development and Use of Biogas Technology in Rural Areas of Asia*. Yogyakarta: Liberty.

