

SKRIPSI

**PRODUKTIVITAS KOTORAN SAPI DENGAN CAMPURAN
TANAH SAWAH DAN EM4 (*EFFECTIVE
MICROORGANISMS*) SEBAGAI ENERGI GAS**

OLEH :

EKO NURMAWAN

D211 14 011



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2019



SKRIPSI

**PRODUKTIVITAS KOTORAN SAPI DENGAN CAMPURAN
TANAH SAWAH DAN EM4 (*EFFECTIVE
MICROORGANISMS*) SEBAGAI ENERGI GAS**

OLEH

EKO NURMAWAN

D21114011

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

**PRODUKTIVITAS KOTORAN SAPI DENGAN CAMPURAN
TANAH SAWAH DAN EM4 (*EFFECTIVE
MICROORGANISMS*) SEBAGAI ENERGI GAS**

EKO NURMAWAN
D211 14 011

Makassar, 24 Desember 2019

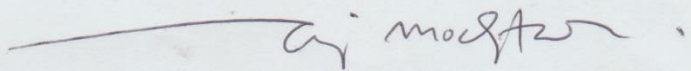
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT
NIP. 19720825 200003 1 002

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc
NIP. 19760216 201012 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. H. Hvas Renreng, MT
NIP. 19570914 198703 1 001



ABSTRAK

Eko Nurmawan. *Produktivitas Kotoran Sapi Dengan Campuran Tanah Sawah Dan Em4 (Effective Microorganisms) Sebagai Energi Gas* (dibimbing oleh Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar. ST., M.Sc. dan Dr. Eng. Jalaluddin. ST., MT).

Pada penelitian ini bertujuan (1) Untuk mendapatkan hasil gas CH₄ yang diperoleh dari kotoran sapi sebagai energi alternatif dalam rumah tangga, (2) Untuk membandingkan presentasi produksi gas *methane* (CH₄) yang di hasilkan dari kotoran sapi yang dicampur tanah sawah : 5%, 10%, dan 15%, (3) membandingkan besar titik nyala api biogas dengan gas LPJ pada kompor.

Proses fermentasi yang dilakukan dengan mencampurkan 8 kg kotoran dan 8 liter air sapi dan menggunakan 2 jenis katalis yaitu tanah sawah sebanyak 5%, 10%, dan 15% serta EM4 (*Effectiv Microorganism*), sebanyak 7%, 8%, dan 9%, fermentasi dilakukan selama 20 hari, menggunakan galon sebagai wadah kotoran sapi yang merupakan reaktor biogas.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan tekanan gas berbanding lurus dengan kenaikan volume, nilai temperatur yang terukur adalah temperatur lingkungan Pengujian kandungan gas menggunakan alat detector X-am 7000 menghasilkan 236480 ppm CH₄.

Kata kunci : Biogas, kotoran sapi, fermentasi, tanah sawah, methane (CH₄)



ABSTRACT

In this research aims (1) To get the results of CH₄ gas obtained from cow dung as an alternative energy in the household, (2) To compare the percentage of methane (CH₄) production produced from cow dung mixed with lowland rice: 5%, 10%, and 15%, (3) comparing the magnitude of the biogas flame to the LPJ gas on the stove.

The fermentation process is done by mixing 8 kg of manure and 8 liters of cow water and using 2 types of catalysts namely 5%, 10%, and 15% lowland rice and EM4 (Effectiv Microorganism), as much as 7%, 8%, and 9%, The fermentation is carried out for 20 days, using gallons as containers of cow dung which is a biogas reactor.

The results showed that the increase in gas pressure is directly proportional to the increase in volume, the measured temperature value is the ambient temperature. Testing the gas content using the X-am 7000 detector produces 236480 ppm CH₄.

Keywords: Biogas, cow dung, fermentation, lowland rice, methane (CH₄)



KATA PENGANTAR

Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas nikmat dan petunjuk-Nya dalam penyusunan tugas akhir ini sehingga dapat kami selesaikan dengan baik. Shalawat dan salam tak lupa kami haturkan kepada sang revolusioner sejati Rasulullah SAW yang membawa kita dari zaman yang gelap gulita menuju zaman yang terang benderang seperti saat ini.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Meskipun banyak hambatan dan tantangan yang kami alami selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dan kerjasama berbagai pihak, akhirnya kami dapat mengatasi hambatan dan tantangan tersebut. Untuk semua itu, pada kesempatan ini kami dengan tulus mengucapkan syukur dan terima kasih kepada bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT., selaku pembimbing pertama dan bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc., selaku pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu, dan tenaga untuk memberi bimbingan, saran, motivasi dan menyumbangkan ide-ide kepada penulis dalam melakukan penelitian hingga skripsi ini terselesaikan. Dengan penuh rasa hormat dan tulus juga penulis haturkan banyak terima kasih kepada tim penguji bapak Dr-Ing Ir. Wahyu H. Piarah, MSME., dan ibu Dr.Ir. Zuryati Djafar, MT.

Tak lupa secara khusus penulis haturkan ucapan terima kasih kepada ibunda Rahmawati dan saudari Eka Nurmala Nur yang selama ini telah memberikan pengorbanan baik berupa moril maupun moral serta doa yang terus dipanjatkan beliau demi kemudahan dan kesuksesan penulis dalam menjalani studi.

Pada kesempatan ini pula perkenaan penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian skripsi ini,ucapan terima kasih kepada :



1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT. sebagai Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf.
3. Seluruh dosen pengajar Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Saudara-saudara seperjuangan Radiator 2014 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Senior-senior dan adik-adik angkatan di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
6. Saudara Amran Maulana, ST., Amirullah, ST., dan Andi Baso sebagai partner tugas akhir.
7. Saudari Nurul Awalia, A.md yang selalu memberikan motivasi

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin agar tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, namun keterbatasan kemampuan kami sehingga tugas akhir ini tampil dengan segala kekurangannya. Oleh karena itu, kami senantiasa membuka diri terhadap saran dan kritik yang bertujuan untuk penyempurnaan tugas akhir ini. Dan akhirnya semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan.

Makassar, Desember 2019

Penulis



DAFTAR ISI

SAMPUL	
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
NOMENKLATUR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah.....	3
E. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. Energi Terbarukan.....	4
B. Biomassa	7
C. Biogas.....	8
D. Kotoran Sapi Dalam Produksi Biogas.....	19
E. Tanah Sawah	26
F. EM4 (<i>Effective Microorganisms-4</i>)	28
METODOLOGI PENELITIAN	29
Waktu dan Tempat	29



B. Alat dan Bahan.....	29
C. Metode Penelitian.....	29
D. Analisis Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
A. Pembuatan Reaktor	36
B. Hasil Analisis Penelitian	37
BAB V PENUTUP	57
A. Kesimpulan	57
B. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Api biogas yang biru	10
Gambar 2.2. Tahapan pembentukan biogas	13
Gambar 2.3. (a.) pengambilan biogas (b.) setup alat kompressibilitas	32
Gambar 2.4. Setup alat ekspansivitas.....	33
Gambar 2.5. Grafik hubungan V terhadap P Biogas.....	34
Gambar 2.6. Grafik hubungan V terhadap T Biogas.....	34
Gambar 3.1. Skema Instalasi Biogas.....	41
Gambar 4.1. Reaktor Biodigester.....	46
Gambar 4.2. Hubungan antara tekanan dan waktu	49
Gambar 4.3. Hubungan antara volume dan waktu	50
Gambar 4.4. Hubungan antara temperatur dan waktu	51
Gambar 4.5. Hubungan antara tekanan dan waktu	52
Gambar 4.6. Hubungan antara volume dan waktu	53
Gambar 4.7. Hubungan antara temperatur dan waktu	53
Gambar 4.8. Hubungan antara tekanan dan waktu	54
Gambar 4.9. Hubungan antara volume dan waktu	55
Gambar 4.10. Hubungan antara temperatur dan waktu	56
Gambar 4.11. Perbedaan warna api biogas dan api dari kompor.....	59
Gambar 4.12. Karakteristik warna api pada biogas. (a). warna api pada biogas menggunakan filter, (b). warna api pada biogas menggunakan filter arang aktif.....	60

7. Dokumentasi Alat dan Bahan



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Parameter yang digunakan untuk memperkirakan produksi limbah biomassa dan sejumlah sumber daya.	19
Tabel 2.2. Rasio C/N pada kotoran makhluk hidup	22
Tabel 2.3. Komposisi kandungan biogas kotoran sapi.....	23
Tabel 2.4. Bakteri kemoautotrofik dengan reaksi biokimia.....	38
Tabel 2.5. Berbagai proses reduksi oleh mikroba anaerobic fakultatif pada tanah sawah.....	39
Tabel 3.1. Komposisi setiap pengujian	41
Tabel 3.2. Kegiatan dan waktu penelitian.....	44
Tabel 4.1. Komposisi dan perlakuan kotoran sapi	48
Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Laju Aliran Gas	59
Tabel 4.3. Laju Produksi Gas.....	60
Tabel 4.4. Nilai kalor setiap pengujian biogas	63
Tabel 4.5. Kandungan Gas pada Reaktor Biogas.....	66
Table 4.5. Perbandingan penelitian sebelumnya.....	68
Lampiran 1. Data Tekanan, Volume, dan Temperatur	
Lampiran 2. Hasil Analisis Kandungan Biogas Kode A.2	
Lampiran 3. Hasil Analisis Kandungan Biogas Kode A.1	
Lampiran 4. Hasil Analisis Kandungan Biogas Kode C	
Lampiran 5. Hasil Analisis Kandungan Biogas Kode B	
Lampiran 6. Hasil Analisis Kandungan Biogas Kode A	



NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
P	Tekanan	Psi
V	Volume	ml
T	Suhu	°C
T _{0 air}	Suhu Awal Air	°C
T _{1 air}	Suhu Akhir Air	°C
T _{api}	Suhu Api	°C
ΔT	Suhu Total	°C
C _p	Kalor Jenis	$\frac{KJ}{Kg}^{\circ}C$
m	Massa	m ³
Q	Besar Kalor Pembakaran	KJ



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia adalah Negara berkembang, dalam kehidupan sehari-hari tentunya energi sangat diperlukan. Energi fosil seperti bahan bakar minyak dan gas sudah menjadi kebutuhan primer masyarakat. Dari tahun ke tahun sumber energi fosil semakin berkurang. Melihat masyarakat Indonesia sangat tergantung dengan energi tersebut, sehingga Pemerintah Pusat memutuskan kebijakan untuk menaikkan harga BBM dan gas, dampak sangat berat dirasakan oleh seluruh rakyat khususnya masyarakat menengah kebawah. Dalam situasi seperti ini pencarian, pengembangan, dan penyebaran teknologi energi Non BBM yang ramah lingkungan menjadi amat penting, terutama ditujukan kepada keluarga miskin sebagai golongan yang banyak terkena dampak kenaikan BBM. Terlepas dari itu upaya mengembangkan energi alternatif sangat diperlukan. Dan alternatif energi yang mulai di kembangkan adalah energi dari limbah biomassa serta sampah yang dapat menjadi salah satu pilihan sumber energi alternatif bahan bakar, sebab biomassa ini sangat mudah ditemukan dari aktivitas pertanian, peternakan, kehutanan, perkebunan, perikanan di berbagai daerah (Sunaryo & Widiatmo, 2014).

Biomassa secara umum lebih dikenal sebagai bahan kering material organik atau bahan yang tersisa setelah suatu tanaman atau material organik dihilangkan kadar airnya (dikeringkan). Material organik hidup seperti manusia, tumbuhan, hewan dan kotorannya, umumnya mengandung 80 – 90% air, namun setelah kering sekitar 6% kandungan air lembabnya akan mengandung senyawa hidrokarbon yang sangat tinggi. Karena ketersediaan limbah yang sangat banyak menyebabkan timbulnya permasalahan limbah biomassa tidak termanfaatkan secara optimal. Berawal dari itu dimungkinkan bahwa biomassa dapat digunakan untuk potensi

ernatif karena senyawa hidrokarbon merupakan hal terpenting juga dalam
nan bakar. Untuk membuktikan hal tersebut maka diambilah sampel



biomassa dari limbah kotoran hewan yang banyak dternakkan yaitu kotoran Sapi (Sunaryo & Widiatmo, 2014).

Biomassa merupakan bahan-bahan organik dari jasad hidup berupa limbah pertanian, tumbuh-tumbuhan, dan hewan. Penggunaan biomassa sebagai energi alternatif sangat efektif sebagai pengganti energi fosil dalam rangka menciptakan energi yang ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang sesuai dengan keadaan tersebut ialah teknologi biogas. Biogas dapat dihasilkan dari pengolahan limbah rumah tangga dan buangan dari sisa kotoran ternak, dengan demikian biogas memiliki peluang yang besar dalam pengembangannya karena bahannya dapat diperoleh dari sekitar tempat tinggal masyarakat (I Gede Bawa Susana, 2017).

Teknologi biogas dengan konsep zero waste (tidak dihasilkan limbah) diharapkan dapat membantu memperlambat laju pemanasan global. Selain bisa menjadi energi alternatif, biogas juga dapat mengurangi permasalahan lingkungan, seperti polusi udara, polusi tanah, dan pemanasan global (Sanjaya, Haryanto, & Tamrin, 2015).

Pemanfaatan limbah peternakan (kotoran sapi) merupakan salah satu alternatif yang sangat tepat untuk mengatasi naiknya harga pupuk dan kelangkaan bahan bakar minyak, terutama pemanfaatan kotoran ternak sapi sebagai sumber bahan bakar dalam bentuk biogas. Teknologi dan produk tersebut merupakan hal baru bagi masyarakat petani dan para peternak. Pemanfaatan kotoran ternak sebagai sumber energi tidak mengurangi jumlah pupuk organik yang bersumber dari kotoran ternak. Hal ini karena pada pembuatan biogas kotoran ternak yang sudah diproses dikembalikan ke kondisi semula yang diambil hanya gas *methane* (CH_4) yang digunakan sebagai bahan bakar (Sugi Rahayu, 2009).

Maka hal ini yang mendasari untuk melakukan penelitian yang berjudul **“Produktivitas Kotoran Sapi Dengan Campuran Tanah Sawah dan EM4 (*Microorganisms*) Sebagai Energi Gas”**.



B. Rumusan Masalah :

- Bagaimana cara membuat reaktor yang dapat menyimpan kotoran sapi sehingga menghasilkan gas yang menjadi energi alternatif dalam rumah tangga?
- Bagaimana perbandingan produksi gas *methane* (CH_4) dengan menggunakan campuran tanah sawah pada kotoran sapi terhadap penelitian sebelumnya?
- Bagaimana perbandingan besar nyala api menggunakan biogas dengan gas LPG?

C. Tujuan Penelitian :

- Untuk mendapatkan hasil gas yang diperoleh dari kotoran sapi sebagai energi alternatif dalam rumah tangga.
- Untuk membandingkan presentasi produksi gas *methane* (CH_4) yang dihasilkan dari kotoran sapi yang dicampur tanah sawah : 5%, 10%, dan 15% (seperti pada penelitian sebelumnya).
- Untuk membandingkan besar titik nyala api biogas dengan gas LPJ pada kompor.

D. Batasan Masalah :

1. Gas *methane* (CH_4) dari kotoran sapi untuk dapur rumah tangga
2. Reaktor gas kotoran sapi (*biodigester/digester*)
3. Campuran tanah sawah sebagai peningkatan produksi biogas kotoran sapi.

E. Manfaat Penelitian :

1. Dapat menjadi energy alternatif dalam pemakaian minyak dan gas bumi yang jumlahnya terbatas dan harganya yang cukup mahal.
2. Untuk mengurangi limbah kotoran sapi dan memanfaatkan untuk keperluan sehari-hari.
3. Sebagai energi alternatif sangat efektif sebagai pengganti energi fosil dalam
ka menciptakan energi yang ramah lingkungan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan (Contained Energy Indonesia, 2013).

Energi Terbarukan (*renewable energy, ath-thaqah almutajaddadah*) merupakan kebutuhan yang sangat penting dan tidak bisa ditunda lagi. Kita tidak bisa lagi terus-menerus bergantung pada energi fosil. Ketersediaan sumber energi fosil selain tidak dapat diperbarui juga semakin menipis baik di Indonesia maupun di dunia. Menurut beberapa ahli, dengan pola konsumsi seperti sekarang, dalam waktu hanya belasan hingga puluhan tahun cadangan minyak dan gas Indonesia akan habis. Ini antara lain bisa dilihat dari naiknya harga minyak dalam negeri dan tidak stabilnya harga minyak di pasar internasional. Oleh karena itu, demi keberlangsungan kehidupan umat manusia dan mengantisipasi kelangkaan energi, upaya-upaya menuju pengolahan energi terbarukan merupakan alternatif terbaik untuk dilakukan (Ghazali et al., 2017).

sekitar seperlima penduduk dunia saat ini masih tetap hidup miskin. Kemiskinan dapat diukur antara lain dengan *Global Multidimensional Poverty Index* (MPI). MPI ini melibatkan variable kesehatan, pendidikan dan standar hidup masing-masing rumah tangga (Alkire, 2015). Menurut indeks ini sebanyak 1,45 milyar orang yang tinggal di 103 negara tergolong miskin. Kebutuhan untuk meningkatkan taraf hidup penduduk, termasuk lapisan miskinnya dan sekian banyak penduduk lagi yang akan lahir menuntut berbagai kemajuan di bidang ekonomi. Jika pola pertumbuhan yang dianut saat ini terus berlanjut, maka tekanan destruktif pada daya dukung lingkungan dan ketersediaan berbagai sumber daya alam akan terus meningkat Indonesia juga menghadapi masalah serupa (Rachmawan Budiarto, Ahmad R Wardhana, & Aishah Prastowo, 2016).

Tenaga Surya, Tenaga Angin, Biomassa dan Tenaga Air adalah teknologi yang sesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerah terpencil dan lain-lain. Energi terbarukan lainnya termasuk Panas Bumi dan Energi Pasang



Surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat. Indonesia memiliki sumber panas bumi yang melimpah; yakni sekitar 40% dari sumber total dunia. Akan tetapi sumber-sumber ini berada di tempat-tempat yang spesifik dan tidak tersebar luas. Teknologi energi terbarukan lainnya adalah tenaga ombak, yang masih dalam tahap pengembangan (Contained Energy Indonesia, 2013).

- Energi Solar : Matahari terletak berjuta-juta kilometer dari Bumi (149 juta kilometer) akan tetapi menghasilkan jumlah energi yang luar biasa banyaknya. Energi yang dipancarkan oleh matahari yang mencapai Bumi setiap menit akan cukup untuk memenuhi kebutuhan energi seluruh penduduk manusia di planet kita selama satu tahun, jika bisa ditangkap dengan benar. Setiap hari, kita menggunakan tenaga surya, misal untuk mengeringkan pakaian atau mengeringkan hasil panen. Tenaga surya bisa dimanfaatkan dengan cara-cara lain: Sel Surya (yang disebut dengan sel 'fotovoltaik' yang mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik secara langsung. Pada waktu memanfaatkan energi matahari untuk memanaskan air, panas matahari langsung dipakai untuk memanaskan air yang dipompakan melalui pipa pada panel yang dilapisi cat hitam.
- Tenaga Angin : Pada saat angin bertiup, angin disertai dengan energi kinetik (gerakan) yang bisa melakukan suatu pekerjaan. Contoh, perahu layar memanfaatkan tenaga angin untuk mendorongnya bergerak di air. Tenaga angin juga bisa dimanfaatkan menggunakan balingbaling yang dipasang di puncak menara, yang disebut dengan turbin angin yang akan menghasilkan energi mekanik atau listrik,
- Energi Biomassa : Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang telah digunakan orang sejak dari jaman dahulu kala: orang telah membakar kayu untuk memasak makanan selama ribuan tahun. Biomassa adalah semua benda organik (misal: kayu, tanaman pangan, limbah hewan & manusia) dan bisa digunakan sebagai sumber energi untuk memasak, memanaskan dan membangkitkan listrik. Sumber energi ini bersifat terbarukan karena pohon dan tanaman pangan akan selalu tumbuh dan akan selalu ada limbah tanaman.



- Tenaga Air : Tenaga air adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir atau air terjun. Air yang mengalir ke puncak baling-baling atau baling-baling yang ditempatkan di sungai, akan menyebabkan baling-baling bergerak dan menghasilkan tenaga mekanis atau listrik. Tenaga air sudah cukup dikembangkan dan ada banyak pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang menghasilkan listrik di seluruh Indonesia. Pada umumnya, bendungan dibangun di seberang sungai untuk menampung air di mana sudah ada danau. Air selanjutnya dialirkan melalui lubang-lubang pada bendungan untuk menggerakkan balingbaling modern yang disebut dengan turbin untuk menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Akan tetapi, hampir semua program PLTA kecil di Indonesia merupakan program yang memanfaatkan aliran sungai dan tidak mengharuskan mengubah aliran alami air sungai.

a. Manfaat energi terbarukan (Contained Energy Indonesia, 2013)

- Tersedia secara melimpah
- Lestari : tidak akan habis
- Ramah lingkungan (rendah atau tidak ada limbah dan polusi)
- Sumber energi bisa dimanfaatkan secara cuma-cuma dengan investasi teknologi yang sesuai
- Tidak memerlukan perawatan yang banyak dibandingkan dengan sumber-sumber energi konvensional dan mengurangi biaya operasi.
- Membantu mendorong perekonomian dan menciptakan peluang kerja
- 'Mandiri' : energi tidak perlu mengimpor bahan bakar fosil dari negara ketiga
- Lebih murah dibandingkan energi konvensional dalam jangka panjang, Bebas dari fluktuasi harga pasar terbuka bahan bakar fosil
- Beberapa teknologi mudah digunakan di tempat-tempat terpencil
- Distribusi : Energi bisa diproduksi di berbagai tempat, tidak tersentralisir.

Kerugian Energi Terbarukan (Contained Energy Indonesia, 2013)

- Biaya awal besar



- Keandalan pasokan : Sebagian besar energi terbarukan tergantung kepada kondisi cuaca.
- Saat ini, energi konvensional menghasilkan lebih banyak volume yang bisa digunakan dibandingkan dengan energi terbarukan.
- Energi tambahan yang dihasilkan energi terbarukan harus disimpan, karena infrastruktur belum lengkap agar bisa dengan segera menggunakan energi yang belum terpakai, dijadikan cadangan di negara-negara lain dalam bentuk akses terhadap jaringan listrik.
- Kurangnya tradisi/pengalaman : Energi terbarukan merupakan teknologi yang masih berkembang
- Masing-masing energi terbarukan memiliki kekurangan teknis dan sosialnya sendiri.

B. Biomassa

Menurut Kamus Bahasa Inggris Oxford, istilah “biomassa” pertama kali muncul di literatur pada tahun 1934. Di dalam *Journal of Marine Biology Association*, ilmuwan Rusia bernama Bogorov menggunakan biomassa sebagai tatanama. Ia mengukur bobot plankton laut (*Calanus finmarchicus*) setelah dikeringkan yang ia kumpulkan untuk menyelidiki perubahan pertumbuhan musiman plankton. Plankton yang telah kering ini dinamakan sebagai biomassa. Biomassa secara spesifik merujuk pada limbah pertanian seperti jerami, sekam padi, limbah perhutanan seperti serbuk gergaji, MSW, tinja, kotoran hewan, sampah dapur, lumpur kubangan, dan sebagainya. Dalam kategori jenis tanaman, yang termasuk biomassa adalah kayu putih, poplar hybrid, kelapa sawit, tebu, rumput, rumput laut, dan lain-lain (Yokoyama, 2008).

a. Jumlah produksi limbah biomassa

Penting mengetahui produksi limbah biomassa untuk menaksir stok limbah biomassa saat ini, namun sulit untuk mengetahui jumlah produksi limbah biomassa di setiap negara dan kawasan di seluruh dunia. Oleh karena itu,

produksi limbah biomassa seringkali ditaksir berdasarkan rasio antara produksi limbah biomassa relatif terhadap produksi sumber daya biomassa. Contoh parameter untuk produksi limbah biomassa disajikan pada **Tabel 2.1**. Perhatikan bahwa



parameter-parameter ini disamaratakan dalam basis global, dan penting untuk mengatur parameter yang diinginkan untuk masing-masing daerah, dalam sebuah penelitian yang meliputi area yang terbatas (Yokoyama, 2008).

Tabel 2.1. Parameter yang digunakan untuk memperkirakan produksi limbah biomassa dan sejumlah sumber daya.

Spesies biomassa	Rasio produksi limbah (t/t)	Koefesien konversi energi (GJ/t)
Padi	1.4	16.3
Gandum	1.3	17.5
Jagung	1.0	17.7
Akar dan umbi	0.4	6.0
Residu tebu (bagian atas dan daun)	0.28	17.33
Kotoran Sapi	1.10 (ton/tahun/kepala)	15.0
Kotoran Babi	0.22 (ton/tahun/kepala)	17.0
Kotoran Unggas	0.037 (ton/tahun/kepala)	13.5
Kotoran Kuda	0.55 (ton/tahun/kepala)	14.9
Kotoran Kerbau dan unta	1.46 (ton/tahun/kepala)	14.9
Kotoran Domba dan kambing	0.18 (ton/tahun/kepala)	17.8
Kayu industry	1.17	16.0
Kayu bahan bakar	0.67	16.0
Limbah kayu	0.784	16.0

*laju produksi kotoran, basis ton kering (Yokoyama, 2008).

C. Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor (*biodigester*) dalam kondisi *anaerob* (tanpa oksigen). Reaktor yang dipergunakan untuk menghasilkan biogas umumnya adalah *anaerobik digester* atau *biodigester*, karena di tempat inilah bakteri tumbuh dengan memanfaatkan bahan-bahan organik. Untuk menghasilkan biogas dalam jumlah dan



kualitas tertentu, maka digester perlu diatur suhu, kelembaban, dan tingkat keasaman supaya bakteri dapat berkembang dengan baik. Biogas sendiri merupakan gabungan dari gas metana (CH_4), gas CO_2 dan gas lainnya (Suyitno, Nizam, & Darmanto, 2010).

Di Indonesia, pemanfaatan biogas masih terbatas pada bahan bakar kompor untuk memasak. Pemanfaatan biogas untuk kebutuhan rumah tangga ini, beberapa penduduk di Indonesia sudah mampu membuat reaktor biogas sendiri dengan skala kecil. Reaktor biogas (*biodigester*) untuk skala kecil umumnya dibuat dari plastik maupun dari drum. Bahan baku biogas diperoleh dari kotoran sapi dengan jumlah sapi bervariasi dari 3-5 ekor untuk skala kecil (Suyitno et al., 2010).

Ketertarikan akan sumber energi biogas akhir-akhir ini meningkat. Hal ini didasarkan pada fakta bahwa cadangan sumber energi fosil semakin berkurang. Salah satu buktinya adalah adanya kebijakan pemerintah dalam konversi minyak tanah ke gas (LPG). Dengan fakta ini sebenarnya beberapa anggota masyarakat yang mempunyai potensi mengolah bahan organik menjadi biogas dapat berperan serta lebih aktif. Manfaatnya adalah masyarakat dapat memperoleh energi yang relatif lebih murah dan lingkungannya juga lebih bersih. Memang, karena biogas dihasilkan dari kotoran sehingga beberapa masyarakat masih canggung untuk menggunakan biogas khususnya untuk memasak (Suyitno et al., 2010).

Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan *methane* (CH_4) yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi. CH_4 sendiri mempunyai nilai kalor 50 MJ/kg. *Methane* (CH_4) yang memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dapat menghasilkan pembakaran yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar berantai karbon panjang. Hal ini disebabkan karena jumlah CO_2 yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar berantai karbon pendek adalah lebih sedikit (Suyitno et al., 2010).





Gambar 2.1. Api biogas yang biru (Suyitno et al., 2010)

Sebagaimana bentuk bahan bakar yang lain, selain dimanfaatkan untuk memasak (lihat **Gambar 2.1.**), biogas dapat dimanfaatkan juga sebagai bahan bakar untuk penerangan, untuk proses pengeringan, untuk penghasil panas, untuk pembangkit listrik, atau bahkan untuk kendaraan bermotor. Pada saat biogas dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dan kendaraan bermotor, maka biogas perlu diolah (*treatment*) (Suyitno et al., 2010).

a. Bahan Penghasil Biogas

Biogas dapat diproduksi dari bahan organik dengan bantuan bakteri untuk proses fermentasi *anaerobnya*. Pada umumnya hampir semua jenis bahan organik dapat diolah menjadi biogas. Untuk biogas sederhana, bahan organik yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah dari kotoran dan *urine* hewan. Beberapa bahan lain yang digunakan adalah dari kotoran manusia, sampah bio (organik), dan sisa proses pembuatan tahu (Suyitno et al., 2010).

Jenis-jenis bahan organik yang diproses termasuk beberapa contoh di atas sangat mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan. Pemilihan bahan biogas dapat ditentukan dari perbandingan kadar C (karbon) dan N (nitrogen) dalam bahan tersebut. Bahan organik yang umumnya mampu menghasilkan kualitas biogas yang tinggi mempunyai rasio C/N sekitar 20-30 (Sasse, 1988) atau 20-25 (E, 2001). Perbandingan C dan N dalam bahan biogas merupakan faktor penting untuk berkembangnya bakteri yang akan menguraikan bahan organik tersebut. Pada perbandingan C/N kurang dari 8, dapat menghalangi aktivitas bakteri akibat kadar amonia yang berlebihan (Werner, Stöhr, & Hees, 1989).

Pada perbandingan C/N lebih dari 43 mengakibatkan kerja bakteri juga lambat (E, 2001). Walaupun demikian, parameter ini bukan jaminan satu-satunya untuk kualitas biogas yang tinggi karena masih terdapat beberapa



parameter lain yang harus diperhatikan khususnya pada reaktor biogas (*biodigester*) (Suyitno et al., 2010).

Untuk mendapatkan produksi biogas yang tinggi, maka penambahan bahan yang mengandung karbon (C) seperti jerami, atau N (misalnya: urea) perlu dilakukan untuk mencapai rasio C/N = 20–30. **Tabel 2.2.** adalah harga rasio C/N pada beberapa jenis kotoran hewan (Werner et al., 1989).

Tabel 2.2. Rasio C/N pada kotoran makhluk hidup (Werner et al., 1989)

Jenis Kotoran	Rasio C/N
Urine	0,8
Kotoran sapi	10-20
Kotoran babi	9-13
Kotoran ayam	5-8
Kotoran kambing	30
Kotoran manusia	8
Jerami padi-padian	80-140
Jerami jagung	30-65
Rumput hijau	12
Sisa sayuran	35

Kandungan gas dalam biogas dapat dilihat pada **Tabel 2.3** (Jørgensen, n.d.).



Tabel 2.3. Komposisi kandungan biogas kotoran sapi (Jørgensen, n.d.)

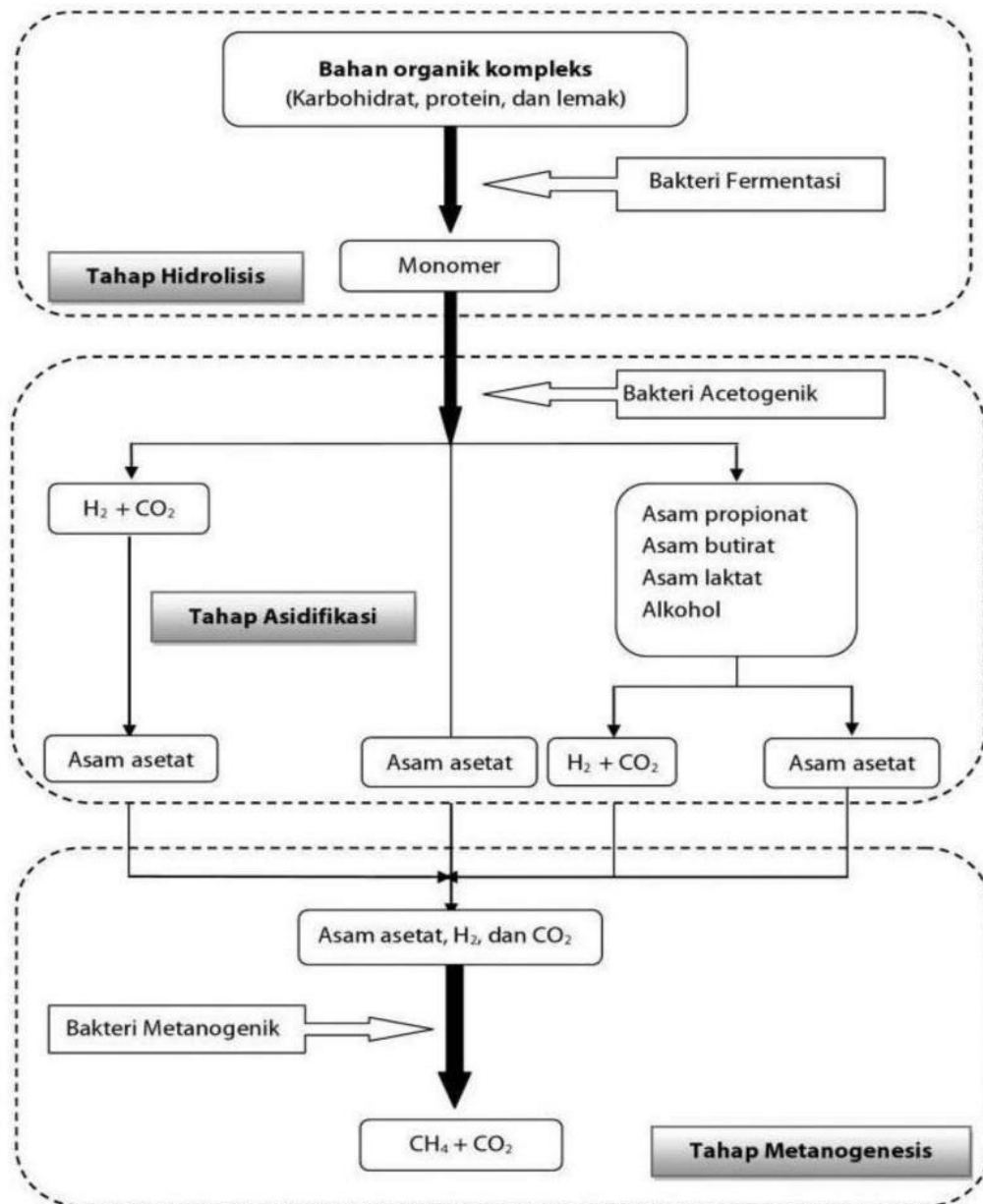
Gas	%
Metana (CH ₄)	55-70
Karbon dioksida (CO ₂)	30-45
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	1-2
Hidrogen (H ₂)	1-2
Amonia (NH ₃)	1-2
Karbon monoksida (CO)	Sangat rendah
Nitrogen (N ₂)	Sangat rendah
Oksigen (O ₂)	Sangat rendah

Biogas terbentuk dari beberapa tahapan yaitu proses hidrolisis, proses pengasaman (asidifikasi), dan proses metanogenesis. Hidrolisis adalah tahap awal dari proses fermentasi. Proses ini terjadi penguraian bahan organik menjadi senyawa sederhana dengan senyawa kompleks yang mudah larut seperti lemak, protein, dan karbohidrat. Proses hidrolisis juga dapat disebut sebagai proses perubahan struktur dari bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa yang dihasilkan yaitu senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂, dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa tersebut akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan. Mikroorganisme menggunakan senyawa hasil proses hidrolisis sebagai energi untuk proses pengasaman (asidifikasi). Bakteri akan menghasilkan senyawa asam organik seperti asam asetat, asam propinat, asam an asam laktat serta menghasilkan produk sampingan seperti alkohol, CO₂, dan zat *ammonia*. Bakteri metanogen bekerja pada tahap metanogenesis,



yaitu mengubah produk dari tahap pengasaman menjadi gas metana, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas.

Proses perombakan bahan organik secara *anaerob* yang terjadi di dalam *digester*, terdiri atas empat tahapan proses (Kurniawan, 2018) yaitu:

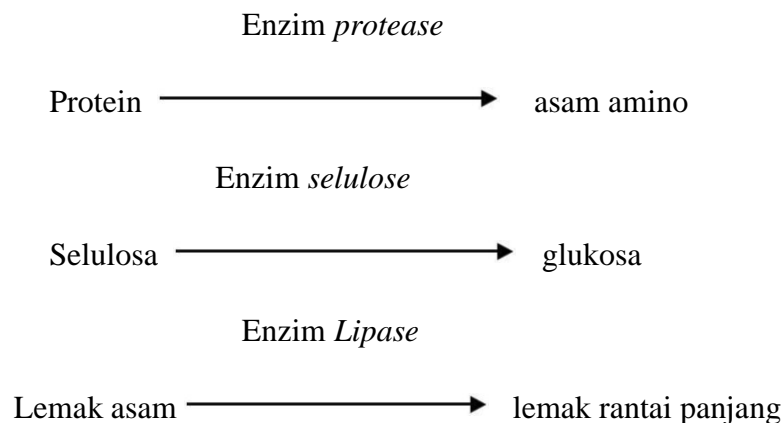


2.2. Tahapan pembentukan biogas (Yahya, Tamrin, & Triyono, 2018)



1. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan tahapan yang paling awal proses perombakan, terjadi secara *anaerob*. Dalam tahap hidrolisis terjadi pemecahan dari senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana (*monomer*). Senyawa kompleks ini, antara lain protein, karbohidrat, dan lemak, dimana dengan bantuan *eksoenzim* dari bakteri *anaerob*, senyawa ini akan diubah menjadi *monomer* (Deublein & Steinhauser, 2010).



Proses hidrolisis karbohidrat membutuhkan waktu beberapa jam, sedangkan hidrolisis pada protein dan lemak memerlukan waktu beberapa hari (Kurniawan, 2018).

2. Fermentasi (*Asidogenesis*)

Monomer yang dihasilkan dari tahap hidrolisis akan didegradasi pada tahap ini, Fermentasi merupakan tahap yang akan mengubah monomer menjadi asam organik rantai pendek, *asam butirat*, *asam propionat*, *asam asetat*, *asam asetic*, *alkhohol*, *hidrogen*, dan karbon *dioksida* (Deublein & Steinhauser, 2010). Selain itu, terjadi pula pertumbuhan dan perkembangan sel bakteri. Pembentukan asam asam organik tersebut terjadi dengan bantuan bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes*.

Asidogenesis

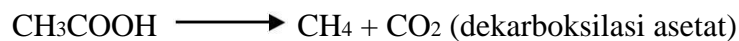
Asam organik rantai pendek yang dihasilkan dari tahap fermentasi dan asam lemak yang berasal dari hidrolisis lemak akan difermentasi menjadi



asam asetat, H₂, dan CO₂ oleh bakteri asetogenik. Pada fase ini, mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi H₂ dan CO₂ untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein & Steinhauser, 2010).

4. *Metanogenesis*

Merupakan tahapan dominasi perkembangan sel mikroorganisme dengan spesies tertentu yang menghasilkan gas metan sebagai komponen utama biogas. Bakteri yang berperan dalam proses ini, antara lain *Metanococcus*, *Metanobacillus*, *Metanobacterium*, dan *Metanosarcina*. Terbentuknya gas metan terjadi karena adanya reaksi dekarboksilasi asetat dan reduksi CO₂, seperti yang terlihat pada reaksi dibawah ini (Kurniawan, 2018).



b. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Biogas

1. Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor yang menentukan keberlangsungan hidup mikroorganisme anaerobik. Temperatur tidak terlalu berpengaruh pada terjadinya proses hidrolisis, karena pada proses hidrolisis bakteri tidak terlalu peka terhadap perubahan Temperatur (Gerardi, 2003). Suhu optimal untuk bakteri pembentuk asam yaitu 32-42 °C (*mesophilik*) dan 48-55 °C (*thermophilik*), sedangkan bakteri *metanogenik* kebanyakan hidup pada suhu *mesofil* dan sebagian kecil lainnya hidup pada suhu *thermofil*. Bakteri metanogenik sangat sensitif terhadap perubahan suhu, bakteri *metanogenik* yang hidup pada suhu *thermofil* lebih sensitif terhadap perubahan suhu jika dibandingkan dengan bakteri *metanogenik mesofil* (Kurniawan, 2018).

Gas metan dapat dihasilkan pada temperatur antara 0°C sampai 100°C. Bakteri *termofilik* ditemukan di daerah beroperasi secara optimum pada temperatur 50°C sampai 75°C. *Metanothermus fervidus* ditemukan



di *Iceland* dan tumbuh pada temperatur 63°C sampai 97°C. Penjagaan suhu digester agar tetap konstan ini didukung oleh pernyataan Price dan Cheremisinoff yang menyebutkan bahwa produksi gas pada proses perombakan secara anaerobik dapat berlangsung pada kisaran suhu 4°C-60°C jika suhu konstan dan apabila terjadi fluktuasi suhu maka proses akan terganggu. Selanjutnya Price dan Cheremisinoff berpendapat bahwa, walaupun digester yang memiliki suhu yang rendah (20-25°C) membutuhkan waktu retensi dua kali lebih lama dari digester dengan suhu mesofil, namun produksi gas, kualitas, dan parameter lain dari kestabilan proses dinilai menguntungkan. Selain itu, digester dengan suhu rendah ini dapat dijadikan alternatif pembuatan biogas di daerah beriklim dingin. Suhu tidak hanya mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk gas metan, tetapi juga mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk asam *volatile* (Kurniawan, 2018).

Fluktuasi suhu dapat menguntungkan salah satu kelompok bakteri, namun merugikan bakteri kelompok lain. Contohnya, peningkatan suhu sebesar 10°C dapat menghentikan produksi metan atau aktivitas bakteri pembentuk metan selama 12 jam, sedangkan pada kondisi yang sama terjadi peningkatan asam *volatil*. Perubahan aktivitas pada bakteri pembentuk asam *volatil* akan berpengaruh pada jumlah asam organik dan alkohol yang dihasilkan dari proses fermentasi. Asam organik dan alkohol ini digunakan sebagai substrat bagi bakteri pembentuk metan, sehingga akan mempengaruhi keseluruhan performa digester (Gerardi, 2003).

2. Nilai pH

Bakteri pembentuk gas metan hidup pada pH optimum 6,7-7,5 tetapi optimalnya pada kisaran pH antara 7,0 sampai 7,2, proses pembentukan gas metan dapat gagal jika pH mendekati 6,0 (Deublein & Reinhauer, 2010). Nilai pH pada proses *anaerobik* akan mengalami penurunan dengan diproduksi *asam volatil* dan akan meningkat



dengan dikonsumsinya asam *volatil* oleh bakteri pembentuk *metan* (Gerardi, 2003). Apabila nilai pH turun hingga di bawah 6,5 maka asam organik mulai terbentuk dengan bantuan bakteri *hidrolitik* dan tahap fermentasi mulai berhenti. Tetapi pada kenyataannya, nilai pH pada tahap ini berada pada kisaran netral karena adanya sistem penyangga (*buffering sistem*).

Selama proses fermentasi terjadi, karbon dioksida disusun secara terus menerus dan dibebaskan ke udara. Penurunan nilai pH membuat karbon dioksida larut pada substrat, sedangkan peningkatan pH membuat karbon dioksida terlarut diubah menjadi asam *karbonat* yang terionisasi, sehingga ion hidrogen dibebaskan (Deublein & Steinhauser, 2010). Peningkatan pH paling tinggi akan terjadi pada tahap metanogenesis, dimana bakteri akan tumbuh optimal pada kondisi pH tersebut. Akan tetapi, terdapat satu jenis bakteri pembentuk metan yang dapat hidup pada pH rendah yaitu $>6,5$, bakteri tersebut adalah *Metanosarcina* (Deublein & Steinhauser, 2010).

3. *Total Volatile Solids (TVS)*

Total Volatile Solids atau total padatan yang teruapkan merupakan kandungan bahan kering organik yang berpotensi untuk dikonversi menjadi biogas. Jumlah TVS pada bahan baku pembuatan biogas akan mempengaruhi produksi biogas yang dihasilkan. Sebanyak $0,7 \text{ m}^3$ metan dihasilkan dari perombakan 1 kg *volatile solids* (VS) (Deublein & Steinhauser, 2010). Gerardi menyatakan bahwa, dari 100 kg lumpur digester, sebanyak 70% berupa VS. Semakin banyak bahan organik yang terkandung di dalam substrat, maka semakin tinggi pula VFA yang diproduksi. *Volatile fatty acids* (VFA) yang terlalu tinggi akan menyebabkan gangguan pada nilai pH. Penurunan nilai pH yang terlalu tinggi dapat menghambat aktivitas bakteri pembentuk metan (Gerardi, 2003).



4. Rasio C/N

Rasio C/N merupakan nilai perbandingan antara karbon dan nitrogen yang terdapat pada substrat. Kisaran rasio C/N yang optimal menurut Deublein (Deublein & Steinhauser, 2010) adalah 16:1 – 25:1 dan 20:1 - 30:1. Tetapi, hal ini hanya indikasi karena Nitrogen dapat juga terikat pada struktur lignin. Substrat dengan rasio C/N yang terlalu rendah akan mengakibatkan peningkatan kadar ammonia yang dapat menghambat produksi metan. Sebaliknya, jika rasio C/N terlalu tinggi mengindikasikan terjadinya kekurangan nitrogen pada substrat, dimana hal ini membawa dampak buruk pada pembentukan protein yang diperlukan mikroba untuk tumbuh (Kurniawan, 2018).

5. Kompetisi Bakteri Metanogen dengan Bakteri Pemakan Sulfat

Bakteri pereduksi sulfat dan metanogen memperebutkan donor elektron yang sama, asetat dan H_2 . Bakteri pemakan sulfat memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap asetat ($K_s = 9,5 \text{ mg/l}$) dari pada metanogen ($K_s = 32,8 \text{ mg/l}$). Ini berarti bahwa bakteri pemakan sulfat akan memenangkan kompetisi pada kondisi konsentrasi asetat yang rendah. Bakteri pemakan sulfat dan metanogen sangat kompetitif pada rasio COD:SO₄ berkisar 1,7 sampai 2,7. Pada kondisi rasio yang lebih tinggi baik untuk metanogen, sedangkan bakteri pemakan sulfat lebih baik pada rasio yang lebih kecil (Kurniawan, 2018).

6. Laju Pembebanan (Loading rate)

Laju pembebanan atau disebut juga *loading rate* adalah besaran yang menyatakan jumlah material organik dalam satu satuan volume yang diumpangkan pada reaktor. Substrat cair yang diumpangkan dapat didegradasi oleh mikroba, kemudian diubah menjadi metan melalui proses biologis oleh mikroba-mikroba pengurai di dalam reaktor. Perubahan laju pembebanan yang mendadak dapat mengakibatkan kenaikan yang setara dengan produksi asam, yang tidak dapat disesuaikan oleh kenaikan yang terjadi dalam pembentukan metan. Pembentukan produk asam asetat



(asam lemak organik) akan mengakibatkan penurunan pH dan penghambatan lebih jauh dari produksi metan akan terjadi. Satuan laju pembebanan adalah kg COD/m³ hari (Kurniawan, 2018).

D. Kotoran Sapi dalam Produksi Biogas

Kotoran sapi adalah limbah peternakan berupa sisa hasil pencernaan (Gunawan, 2013). Menurut Ramadhani (Gunawan, 2013), makanan yang telah tertelan masuk ke dalam rumen (ruang perut) dan mengalami proses fermentasi oleh mikroorganisme di dalam rumen. Sisa hasil pencernaan sapi (kotoran sapi) juga mengandung beberapa jenis bakteri. Salah satu bakteri rumen adalah bakteri yang terkandung di dalam kotoran sapi yaitu bakteri metanogen (Here, 2012).

Di dalam isolat anaerobik terdapat bakteri metanogenik dan non metanogenik yakni *Methanobacterium ruminantium*, *Methanobacterium formicicum*, *Methanotherix soehngeniei*, *Methanotherix soehngeniei*, *Methanosarcina frisia* (Khalid & Naz, 2013).

Bakteri non metanogen yang terlibat dalam proses pembentukan biogas sebagai bakteri hidrolitik dan pembentuk asam yakni *Bacteroides fragilis*, *Peptostreptococcus*, *Clostridium difficile*, *E. coli*, *micrococcus*, *Bacillus anthracis*, *Enterococcus*, *Burkholderia vietnamiensis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus anthracis*, *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium amycolatum*, *Pseudomonas borbori*, *Salmonella enteric*, *Streptococcus bovis*, *Enterococcus* (Khalid & Naz, 2013). Dan juga *Cellulomonas* sp., *Cellvibrio* sp., *Bacillus lichenformis*, *Pseudomonas* sp., *Acetobacter aceti*, *Lactobacillus plantarum*, *Cytopaga* sp. (Khalid & Naz, 2013)

Peranan dari bakteri hidrolitik adalah untuk menghidrolisis bahan-bahan yang ada di dalam digester. Seperti salah satunya adalah *Bacillus subtilis* yang merupakan bakteri Gram positif dan motilitas positif. Bakteri ini membentuk spora dengan bentuk endospora bulat atau silinder dan sangat resisten terhadap kondisi yang merugikan (Noel R. Krieg, et. al. 2010). Saat sporulasi, jika terpapar ke udara, struktur spora tidak akan terjadi jika sel sedang berada



pada fase pembelahan secara eksponensial, tetapi akan dibentuk terutama pada kondisi nutrisi terbatas misalnya jumlah karbon dan nitrogen sedikit. Bakteri ini bersifat aerob dan anaerob (fermentasi), katalase positif, dan dapat ditemukan pada berbagai jenis habitat. *Bacillus subtilis* menghasilkan berbagai jenis enzim seperti alfa-amilase, beta-glukanase, glutaminase, maltogenik amilase, protease, pullulanase, dan xilanase (Ingredients, 2015).

Peran bakteri asam adalah membentuk asam dari hasil metabolisme bakteri hirolitik, dan salah satu bakteri pembentuk asam adalah *Acetobacter aceti* yang memiliki bentuk elips hingga batang, berukuran mikroskopis yaitu 0,6-0,8 mikrometer x 1,0-1,4 mikrometer, sel tunggal, berpasangan ataupun membentuk suatu rantai, motil dengan flagelle peritrikus, tidak membentuk endospora, dan Gram negatif. Bakteri ini bersifat aerob obligat sehingga metabolisme selalu dengan respirasi. Katalase positif, memproduksi indol dan H₂S. Mampu mengoksidasi etanol menjadi asam asetat, kemudian asam asetat dan asam laktat diubah menjadi C₂O dan H₂O. Sumber karbon yang baik digunakan untuk pertumbuhan yaitu gliserol, etanol dan laktat. Bersifat kemoorganotrop, suhu optimal untuk tumbuh berkisar 25-30°C, dan pH optimum 5,4-6,3 (Ingredients, 2015)

Bakteri metanogen adalah bakteri yang terdapat pada bahan-bahan organik dan menghasilkan metana secara anaerob (Gunawan, 2013). Bakteri metanogen menggunakan senyawa karbon dan energi untuk melakukan proses metanogenesis. Senyawa karbon yang digunakan misalnya campuran senyawa H₂ dan CO₂, *formiat, methanol, methilamin, dan asetat*. Bakteri metanogen juga berperan penting terhadap perputaran H₂ pada lingkungan yang anaerob (Maryani, 2016). Kebanyakan bakteri metanogen bersifat mesofilik dengan

suhu optimum 20-40°C, namun bakteri metanogen juga dapat ditemui pada termofilik (UNIDO, 2007).



Empat genera bakteri anaerob yang diketahui memproduksi metana (UNIDO, 2007).

1. *Methanobacterium*, bakteri berbentuk batang dan tidak membentuk spora.
2. *Methanobacillus*, bakteri berbentuk batang dan membentuk spora.
3. *Methanococcus*, bakteri berbentuk kokus dan tidak membentuk spora.
4. *Meyhanosarcina*, bakteri berbentuk delapan kokus yang bergerombol dan tidak membentuk spora.

Methanobacterium bersifat non motil, anaerob, temperatur optimum 37-45°C untuk bakteri mesofilik dan 55°C untuk yang termofilik, energi diperoleh melalui metabolisme CO₂ menjadi CH₄, menggunakan amonia sebagai sumber nitrogen, dan sulfida sebagai sumber sulfur. *Methanococcus* bersifat non motil, Gram negatif, tumbuh pada kisaran suhu 30-35°C, pH 7-7,5, mereduksi mtilamin menjadi CH₄, CO₂ dan NH₃. *Methanosarcina* bersifat Gram variabel, non motil, anaerob, suhu optimum untuk tumbuh berkisar 30-40°C untuk bakteri mesofilik dan 50-55°C untuk yang termofilik, energi didapatkan dengan mereduksi metilamin atau methanol menjadi CO₂, CH₄, H₂, dan asetat (Maryani, 2016).

Permasalahan yang ada pada biogas, masih didistribusikan secara lokal, karena biogas masih didistribusikan melalui pipa-pipa paralon pemakaiannya hanya pada daerah setempat disekitar tempat pembuatan. Biogas juga membutuhkan volume yang besar ketika akan digunakan. Agar dapat didistribusikan seperti LPG yang sekarang ada, maka biogas perlu dibuat cair (Wicaksono, 2015).

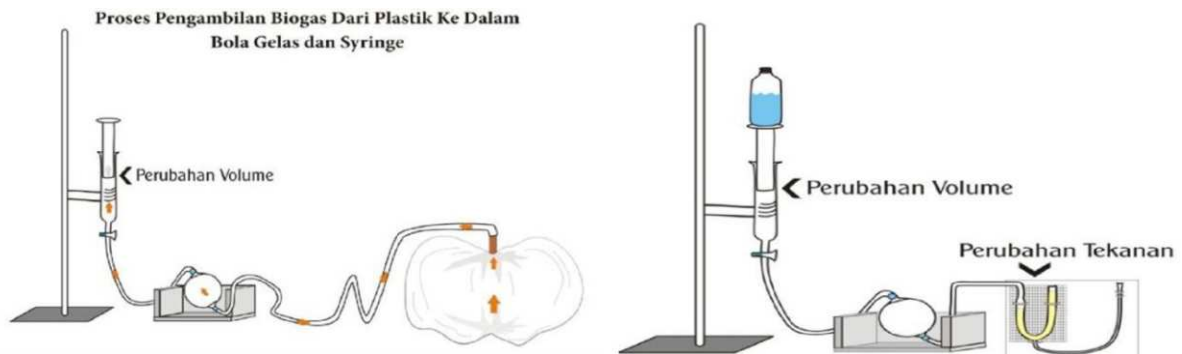
Kompresibilitas adalah fraksi pengurangan volume persatuan kenaikan perubahan tekanan dalam suatu tekanan seperti diberikan oleh persamaan

$$K = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \quad (1)$$

di mana K adalah besaran kompresibilitas, ∂V adalah perubahan volum, dan ∂P adalah perubahan tekanan (Pezaro, Clyne, & Fulton, 2017)



Gambar 2.3.a dan **Gambar 2.3.b** adalah desain eksperimen kompresibilitas yang digunakan (Wicaksono, 2015).



Gambar 2.3 : a. pengambilan biogas, b. setup alat kompresibilitas

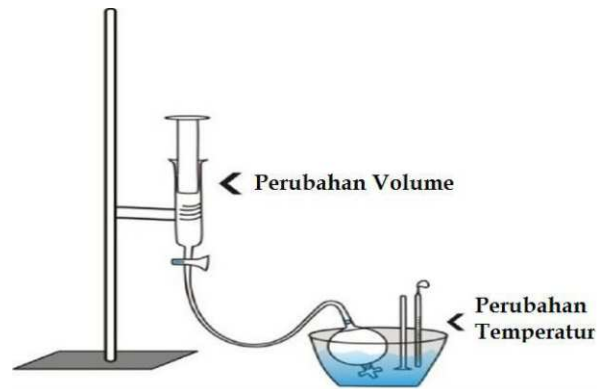
kompresibilitas dapat diamati dengan memberikan tekanan terhadap tabung *syringe*, ditunjukkan oleh **Gambar 2.3.b**. Tekanan berasal dari beban yang berupa botol berisi air yang divariasikan massanya. Tabung *syringe* dilengkapi piston untuk mengetahui perubahan volume yang terjadi, digunakan statif untuk menyangga syringe. Ketika diberikan tekanan maka akan terjadi pemampatan volume, ketika volume bertambah maka akan terjadi perubahan tekanan pada gas. Perubahan tekanan gas dapat diamati melalui pipa U. Terdapat selang yang menghubungkan dari *syringe*, *sphere*, dan pipa U. *Sphere* merupakan bola gelas berisi biogas. Dengan menggunakan Pers.(1), dapat diperoleh nilai kompresibilitasnya(Kuliah, 2007). Ketika beban yang massanya diketahui diletakkan pada piston, maka akan terjadi penyusutan volume yang ditunjukkan oleh penurunan skala pada *syringe* sebesar ΔV_1 , dan yang terjadi pada pipa U akan terjadi kenaikan tekanan ditunjukkan kenaikan permukaan air raksa pada salah satu tabung pipa U sebesar ΔP_1 . Langkah tersebut dilakukan berulang ulang dengan variasi massa semakin bertambah, artinya biogas akan dikompres dengan tekanan yang semakin besar. Sehingga diperoleh data perubahan volume (ΔV) dan perubahan tekanan (ΔP).

Ekspansivitas merupakan fraksi perubahan volume terhadap perubahan temperatur apabila tekanan dijaga konstan. Seperti diberikan persamaan

$$\beta_P = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (2)$$



dengan β adalah besaran ekspansivitas, ∂V adalah perubahan volum, ∂T adalah perubahan temperatur(Callen & Griffiths, 1987). Dalam penelitian ini bola gelas diletakan ke dalam *waterbath*.

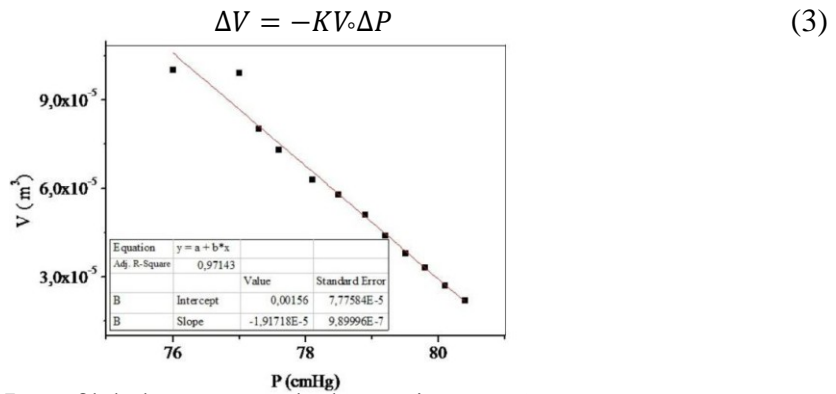


Gambar 2.4. Setup alat ekspansivitas (Wicaksono, 2015)

Gambar 2.4. adalah desain eksperimen ekspansivitas yang digunakan. Ekspansivitas dapat diamati dengan cara menaikkan temperatur air, air ditempatkan pada *waterbath*, air ini berfungsi sebagai pengatur temperatur. termometer diletakan pada *waterbath* tersebut berfungsi mengetahui perubahan temperatur air tersebut, ketika temperatur air meningkat volume air juga akan bertambah, peningkatan temperatur menggunakan tambahan air panas, digunakan *heater* untuk memanaskan air. Pertambahan volume dapat kita amati dengan naiknya piston pada skala *syringe* (J, 2010). dalam hal ini digunakam statif untuk menyangga *syringe*. maka ketika data pertambahan volume air dan pertambahan temperatur sudah diketahui, nilai ekspansivitas akan dapat diperoleh dengan menggunakan Pers.(2)(Kuliah, 2007). Ketika air panas ditambahkan perlahan-lahan sampai terjadi kenaikan temperatur setiap 1°C , maka akan terjadi pengembangan volume ditunjukan dengan naiknya piston pada skala *syringe* sebesar ∂V_1 , dan yang terjadi pada temperatur air akan meningkat dengan variasi kenaikan temperatur ∂T 1°C . Langkah tersebut dilakukan berulang ulang dengan variasi temperatur semakin bertambah, artinya biogas akan dinaikan temperaturnya dengan temperatur yang besar. Sehingga diperoleh data perubahan volume (∂V) dan perubahan temperatur (∂T) (Wicaksono, 2015).



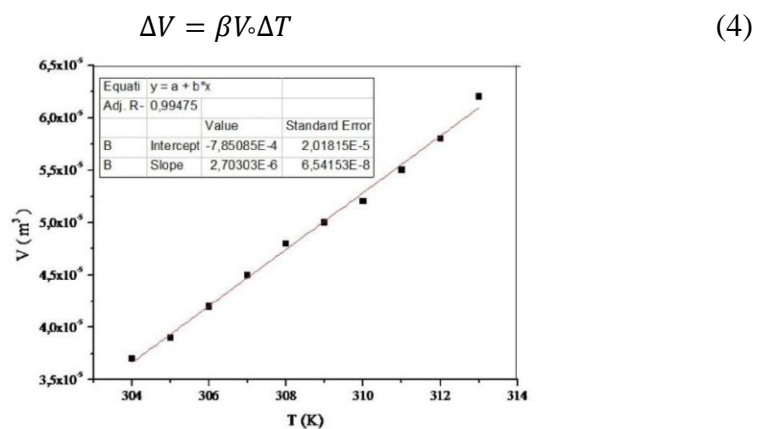
dengan kaitan perubahan volume (∂V) dan perubahan tekanan (∂P) pada T tetap dapat dibuat grafik hubungan P-V dengan menggunakan persamaan.



Gambar 2.5. Grafik hubungan V terhadap P Biogas (Wicaksono, 2015).

Gambar 2.5. memberikan ilustrasi hubungan di atas, terlihat bahwa ketika tekanan diperbesar maka volume akan mengecil. Dari Pers.(3) terlihat bahwa kompressibilitas dapat dicari dengan persamaan garis yang terbentuk dari grafik pada Gambar 3. Dengan P sebagai variabel bebas dan V sebagai variabel terikat maka gradien senilai dengan $K.V_0$ sebesar $1,9 \times 10^{-5}$, melalui Pers.(1) dengan membagi gradien dengan V_0 (10^{-4}) maka nilai kompressibilitas diperoleh sebesar $1,9 \times 10^{-15}$ m³/cmHg.

Berdasar data kaitan perubahan volume (∂V) dan perubahan temperatur (∂T) pada P tetap dapat dibuat grafik hubungan T-V yaitu dengan menggunakan persamaan



Gambar 2.6. Grafik hubungan V terhadap T Biogas (Wicaksono, 2015)



Gambar 2.6. memberikan ilustrasi hubungan di atas, terlihat bahwa ketika temperatur dinaikan maka volume akan mengembang. Berdasar Pers.(4) terlihat bahwa ekspansivitas dapat dicari dengan persamaan garis yang terbentuk dari grafik pada Gambar 4. T sebagai variabel bebas dan V sebagai variabel terikat maka gradien senilai dengan βV° sebesar $2,7 \times 10^{-6}$, melalui Pers.(2) dengan membagi gradien dengan V° ($3,7 \times 10^{-5}$) maka nilai ekspansivitas diperoleh sebesar $7,3 \times 10^{-2}$ m³/K. Persamaan keadaan biogas dapat ditentukan melalui persamaan.

$$\Delta V = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP \quad (5)$$

dengan mensubstitusi nilai β dan K ke Pers.(5), diperoleh persamaan

$$\Delta V = \beta V dT - kV dP$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta dT - K dP \int_{V_0}^V \frac{\Delta V}{V} = \beta \int_{T_0}^T dT - K \int_{P_0}^P dP$$

Maka persamaan keadaannya menjadi

$$\ln \frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T - K \Delta P \quad (6)$$

nilai $\beta = 7,31 \times 10^{-2}$ m³/K, $K = -1,9 \times 10^{-5}$ m³/cmHg, maka persamaan keadaan biogas diperoleh.

$$\ln \frac{\Delta V}{V} = 7,3 \times 10^{-2} m^3/K (T - T_0) + 1,9 \times 10^{-5} m^3/cmHg (P - P_0) \quad (7)$$

Makna persamaan di atas adalah dV merupakan perubahan volume apabila temperatur dan tekanan diubah atau perubahan total volume $(\partial V/\partial T)_P dT$ merupakan perubahan volume apabila temperatur diubah sebesar $7,3 \times 10^{-2}$ m³/K sedangkan tekanan (P) dijaga tetap. Sedangkan $(\partial V/\partial P)_T dp$ adalah perubahan volume apabila tekanan diubah sebesar $-1,9 \times 10^{-5}$ m³/cmHg sedangkan temperatur (T) dijaga tetap (Sunaryo & Widiatmo, 2014).



E. Tanah Sawah

Tanah sawah dapat terbentuk dari tanah kering dan tanah basah atau tanah rawa sehingga karakterisasi sawah-sawah tersebut akan sangat dipengaruhi oleh bahan pembentuk tanahnya. Tanah sawah dari tanah kering umumnya terdapat di daerah dataran rendah, dataran tinggi vulkanik atau nonvulkanik yang pada awalnya merupakan tanah kering yang tidak pernah jenuh air, sehingga morfologinya akan sangat berbeda dengan tanah sawah dari tanah rawa yang pada awalnya memang sudah jenuh air (Prasetyo, Adiningsih, & Subagyono, 2004).

Proses reduksi dan oksidasi merupakan proses-proses utama yang dapat mengakibatkan perubahan baik sifat mineral, kimia fisika dan biologi tanah sawah. Secara lebih rinci perubahan tersebut antara lain hancurnya suatu jenis mineral tanah oleh proses *ferrolysis* (ferrolisis), turunnya pH tanah secara drastis karena teroksidasinya lapisan tanah yang mengandung pirit, terjadinya iluviasi ataupun eluviasi bahan kimia ataupun partikel tanah dan perubahan sifat fisik dan biologi tanah sawah akibat proses pelumpuran dan perubahan drainase tanah (Prasetyo et al., 2004)

Berbagai proses mikrobiologis terjadi di sawah, seperti fiksasi nitrogen, perombakan bahan organik, metanotrofi, denitrifikasi, dan nitrifikasi. Mikroba perombak memainkan peranan yang penting pada perombakan bahan organik seperti alga dan tanaman air yang sudah mati. Laju perombakan bahan organik ini tergantung pada kondisi lingkungan, spesies, dan kondisi fisiologis tanaman tersebut. Mikroba merombak bahan organik untuk mendapatkan energi. Mikroba ini memerlukan energi oksigen atau zat-zat teroksidasi lain seperti nitrat (NO_3^-), mangan (Mn^{+3} atau Mn^{+4}), besi (Fe^{+3}), sulfat (SO_4^{-2}) atau CO_2 untuk berfungsi sebagai akseptor elektron (Prasetyo et al., 2004).

Lapisan tanah reduksi merupakan lingkungan anaerobik nonfotik, di mana potensial terutama negatif. Proses reduksi merupakan proses utama yang melibatkan NH_4^+ , sulfida, asam organik dan CH_4 , dan aktivitas mikrobial dalam agregat tanah yang mengandung sisa bahan organik. Perombakan



bahan organik pada lapisan reduksi melestarikan populasi cacing, *oligochaete* air dan larva *chironomid*. Hewan-hewan yang mendiami zona ini kerap kali mengandung hemoglobin atau memiliki kantong udara untuk adaptasi terhadap konsentrasi O₂ rendah (Prasetyo et al., 2004).

Sekelompok mikroba metanogen, misalnya *Metanosarcina* berperan dalam degradasi senyawa organik kompleks. Metanogen ini merupakan penghasil metan yang telah menjadi isu global beberapa tahun terakhir ini, karena gas ini dianggap sebagai salah satu penyebab pemanasan bumi. Metan diakui sebagai salah satu gas kamar kaca yang paling penting setelah CO₂. Lahan sawah merupakan satu sumber metan atmosfer yang signifikan. Selain itu terdapat sekelompok mikroba lain yang berperan sebagai metanotrof, yang dapat mengoksidasi metan, misalnya: *Methylomonas*, *Methylobacter*, *Methylococcus*. *Metanotrof* merupakan kelompok bakteri *Metilotrof* yang menggunakan metan sebagai sumber karbon dan energi mereka. Ada kelompok bakteri nitrifikasi (*Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*) berperan pada proses nitrifikasi-denitrifikasi, yang bertanggung jawab terhadap hilangnya N dari lahan sawah (Prasetyo et al., 2004).

Tabel 2.4. Bakteri kemoautotrofik dengan reaksi biokimia(Prasetyo et al., 2004).

Bakteri	Reaksi biokimia
<i>Nitrosomonas</i> sp.	$2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{NO}_2^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}^+$
<i>Nitrobacter</i> sp.	$2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{NO}_3^-$
Pengoksidasi mangan	$\text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{MnO}_2$
Bakteri besi	$4 \text{Fe}^{2+} + 4 \text{H}^+ + \text{O}_2 \longrightarrow 4 \text{Fe}^{3+} + 2 \text{H}_2\text{O}$
<i>Thiobacillus</i> sp.	$2 \text{S} + 3 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4$
<i>Beggiatoa</i> sp.	$2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$
Pengoksidasi metan	$\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
<i>Hydrogenomonas</i> sp.	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$

Bila mikroba aerob setelah penggenangan sudah menghabiskan oksigen bakteri anaerobik menjadi dominan. Respirasi aerobik merupakan reaksi reduksi yang menghasilkan energi secara biologis, dimana senyawa selain oksigen digunakan sebagai penerima elektron eksternal. Bakteri



anaerobik fakultatif ini mereduksi nitrat, oksida mangan, oksida besi, sulfat, karbonat, atau unsur-unsur oksida lain menjadi molekul nitrogen, senyawa mangan dan besi, sulfida, metan, atau produk-produk reduksi lain seperti diperlihatkan pada **Tabel 2.5.** (Prasetyo et al., 2004).

Tabel 2.5. Berbagai proses reduksi oleh mikroba anaerobic fakultatif pada tanah sawah (Prasetyo et al., 2004).

Bakteri	Proses reduksi
Heterotrofik	$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2 CO_2 + 2 C_2H_5OH$
Denitrifikasi	$C_6H_{12}O_6 + 4 NO_3^- \longrightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 2 N_2$
Denitrifikasi	$5 CH_3COOH + 8 NO_3^- \longrightarrow 10 CO_2 + 6 H_2O + 8 OH^- + 4 N_2$
Pereduksi nitrat	$CH_3COOH + NO_3^- \longrightarrow 2 CO_2 + OH^- + NH_3$
Pereduksi mangan	$CH_3COOH + MnO_2 \longrightarrow 2 CO_2 + Mn^{2+} + 4 H^+$
Pereduksi besi	$CH_3COOH + 8 Fe^{3+} + 2 H^+ \longrightarrow 2 CO_2 + 8 Fe^{2+} + 8 H^+$
<i>Desulfovibrio</i> sp.	$4 H_2 + SO_4^{2-} \longrightarrow S_2 + 4 H_2O$
Pereduksi sulfat	$2 CH_3CHOHCOOH + SO_4^{2-} \longrightarrow 2 CH_3COOH + 2 H_2O + 2 CO_2 + S^{2-}$
<i>Methanomonas</i> sp.	$CO_2 + 4 H_2O \longrightarrow CH_4 + 2 H_2O$

Pada penelitian ini, mikroba metanogen dimanfaatkan untuk meningkatkan produksi gas, sehingga diharapkan dengan menggunakan mikroba akan mempercepat waktu fermentasi dan meningkatkan produksi. Gas yang dihasilkan dari campuran tersebut akan disaring oleh batu *zeolite*. Batu *zeolite* akan menyaring sebagian besar gas yang tidak dibutuhkan dalam produksi biogas (CO_2) sehingga produksi biogas yang dihasilkan dapat lebih optimal.

F. EM4 (*Effective Microorganisms-4*)

Perkembangan probiotik di Indonesia belum pesat, namun sudah mulai dikembangkan dan salah satu probiotik yang telah mampu diproduksi dalam negeri berupa media kultur berbentuk cairan yang dapat disimpan lama adalah EM4 (*Effective Microorganisms-4*). EM4 mengandung 90% bakteri *Lactobacillus* sp. (bakteri penghasil asam laktat) pelarut fosfat, bakteri fotosintetik, *Streptomyces* sp, jamur pengurai selulosa dan ragi. EM4 merupakan suatu tambahan untuk

malkan pemanfaatan zat-zat makanan karena bakteri yang terdapat dalam at mencerna selulose, pati, gula, protein, lemak (Aji, 2015).



Jenis-jenis *Effective Microorganisms* mulai dari EM1 yang berupa media padat berbentuk butiran yang mengandung 90% actinomicetes. Berfungsi untuk mempercepat proses pembentukan kompos dalam tanah. EM2 terdiri dari 80 species yang disusun berdasarkan perbandingan tertentu. Berbentuk kultur dalam kaldu ikan dengan pH 8,5. dalam tanah mengeluarkan antibiotik untuk menekan patogen. EM3 terdiri dari 95% bakteri fotosintetik dengan pH 8,5 dalam kaldu ikan yang berfungsi membantu tugas EM2. Sakarida dan asam amino disintesa oleh bakteri fotosintetik sehingga secara langsung dapat diserap tanaman. EM4 terdiri dari 95% lactobacillus yang berfungsi menguraikan bahan organik tanpa menimbulkan panas tinggi karena mikroorganisme anaerob bekerja dengan kekuatan enzim. EM5 berupa pestisida organik (Susanto, 2011).

