

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sejarah Pengembangan Teknologi Biogas**

Sejarah awal penemuan biogas pada awalnya muncul di benua Eropa. Biogas yang merupakan hasil dari proses anaerobik *digestion* ditemukan seorang ilmuwan bernama Alessandro Volta yang melakukan penelitian terhadap gas yang dikeluarkan rawa-rawa pada tahun 1770. Dan pada tahun 1776 mengaitkannya dengan proses pembusukan bahan sayuran, sedangkan Willam Henry pada tahun 1806 mengidentifikasi gas yang dapat terbakar tersebut sebagai metan. Pada perkembangannya, pada tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses anaerobik *digestion*. Selanjutnya, tahun 1884 seorang ilmuwan lainnya bernama Pasteur melakukan penelitian tentang biogas menggunakan mediasi kotoran hewan. Becham (1868), murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882), memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan metan. Sedangkan dalam kebudayaan Mesir, China, dan Roma kuno diketahui telah memanfaatkan gas alam ini untuk dibakar dan digunakan sebagai penghasil panas.

Perkembangan biogas mengalami pasang surut, seperti pada akhir abad ke-19 tercatat Jerman dan Perancis memanfaatkan limbah pertanian menjadi beberapa unit pembangkit yang berasal dari biogas. Selama perang dunia II banyak petani di Inggris dan benua Eropa lainnya yang membuat digester kecil untuk menghasilkan biogas. Namun, dalam perkembangannya karena harga BBM semakin murah dan mudah diperoleh, pada tahun 1950-an pemakaian biogas di Eropa mulai ditinggalkan. Jika era tahun 1950-an Eropa mulai meninggalkan biogas dan beralih ke BBM, hal sebaliknya justru terjadi di negara-negara berkembang seperti India dan Cina yang membutuhkan energi murah dan selalu tersedia. Cina menggunakan teknologi biogas dengan skala rumah tangga yang telah dimanfaatkan oleh hampir sepertiga rumah tangga di daerah pinggiran Cina. Perkembangan biogas di Cina bisa dikatakan mengalami perkembangan yang signifikan, pada tahun 1992 sekitar lima juta rumah tangga menggunakan instalasi biogas sehingga biogas menjadi bahan bakar utama sebagian penduduk Cina. Seperti yang diungkapkan Prof Li

Kangmin dan Dr Mae-Wan Ho, *director of the The Institute of Science in Society*, biogas merupakan jantung dari tumbuhnya eco-economy di Cina, namun beberapa kendala harus diselesaikan untuk meraih potensi yang lebih besar.

Perkembangan yang senada juga terjadi di India, tahun 1981 mulai dikembangkan instalasi biogas di India. India merupakan negara pelopor dalam penggunaan energi biogas di benua Asia dan pengguna energi biogas ini dilakukan sejak masih dijajah oleh Inggris. India sudah membuat instalasi biogas sejak tahun 1900. Negara tersebut mempunyai lembaga khusus yang meneliti pemanfaatan limbah kotoran ternak yang disebut *Agricultural Research Institute dan Gobar Gas Research Station*. Data yang diperoleh menyebutkan bahwa pada tahun 1980 di seluruh India terdapat 36.000 instalasi gas bio yang menggunakan feses sapi sebagai bahan bakar. Teknik biogas yang digunakan sama dengan teknik biogas yang dikembangkan di Cina yaitu menggunakan model sumur tembok dan dengan drum serta dengan bahan baku kotoran ternak dan limbah pertanian. Tercatat sekitar tiga juta rumah tangga di India menggunakan instalasi biogas pada tahun 1999. Menginjak abad ke 21 ketika sadar akan kebutuhan energi pengganti energi fosil, di berbagai negara mulai menggalang energi baru terbarukan, salah satunya biogas. Tak ketinggalan negara adidaya seperti Amerika Serikat menunjukkan perhatian khususnya bagi perkembangan biogas. Bahkan, Departemen Energi Amerika Serikat memberikan dana sebesar US\$ 2,5 juta untuk perkembangan biogas di California.

Sedangkan di Indonesia, teknologi biogas masuk pada 1970-an yang perkembangannya diawali di daerah perdesaan. Dewasa ini biogas merupakan salah satu jenis energi baru terbarukan yang menjadi salah satu perhatian bagi Kementerian ESDM. Menteri ESDM menjanjikan akan memberikan bantuan untuk mengembangkan potensi energi walaupun terlihat kecil, namun dampaknya sangat besar bagi pemenuhan energi di Indonesia. (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2014).

## 2.2 Potensi Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi

Kotoran sapi adalah limbah hasil pencernaan sapi dan hewan dari subfamili *Bovinae* lainnya. Kotoran sapi memiliki warna yang bervariasi dari kehijauan hingga kehitaman, tergantung makanan yang dimakannya. Setelah terpapar udara, warna dari kotoran sapi cenderung menjadi gelap. Kotoran sapi adalah limbah dari usaha peternakan sapi yang bersifat padat dan dalam proses pembuangannya sering bercampur dengan urin dan gas, seperti metana dan amoniak. Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis, jumlah konsumsi pakan, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1988). Komposisi kotoran sapi yang umumnya telah diteliti dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kotoran Sapi

Senyawa	Persentase
Hemisellulosa	18,6 %
Selulosa	25,2 %
Lignin	20,2 %
Protein	14,9 %
Debu	13 %

Sumber : Candra, 2012

## 2.3 Konversi Kotoran Sapi ke Biogas

### 2.3.1 Biogas

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik. Bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas yaitu seperti biomassa (bahan organik bukan fosil), kotoran, sampah padat hasil aktivitas perkotaan dan lain-lain. Akan tetapi, biogas biasanya dibuat dari kotoran ternak seperti kerbau, sapi, kambing, kuda dan lain-lain. Kandungan utama dari biogas adalah gas metana ( $\text{CH}_4$ ) apabila terjadi proses pembakaran akan menghasilkan energi panas yang dapat dikembangkan pemanfaatannya untuk teknologi tertentu (Artayana, 2014).

### 2.3.2 Proses Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas dilakukan secara anaerob, bakteri merombak bahan organik yang terdapat pada kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk organik, proses pelapukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob. Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut dengan *digester* atau bioreaktor anaerobik. Proses perombakan bahan organik pada kotoran sapi secara anaerob yang terjadi di dalam *digester* terdiri dari 3 tahap proses yaitu *hidrolisis*, *asetogenesis*, dan *metanogenesis*. Pembentukan Biogas melalui tiga tahap proses yaitu:

#### 1) *Hidrolisis*/Tahap Pelarutan

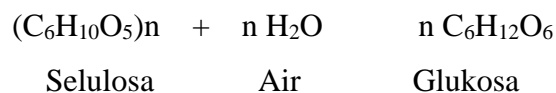
Pada tahap ini terjadi penguraian bahan – bahan organik mudah larut yang terdapat pada kotoran sapi dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer yang larut dalam air). Senyawa kompleks ini, antara lain protein, karbohidrat, dan lemak, dimana dengan bantuan eksoenzim dari bakteri anaerob, senyawa ini akan diubah menjadi monomer (Deublein et al., 2008).

Protein → asam amino, dipecah oleh enzim protease

Selulosa → glukosa, dipecah oleh enzim selulase

Lemak → asam lemak rantai panjang, dipecah oleh enzim lipase

Reaksi selulosa menjadi glukosa adalah sebagai berikut :

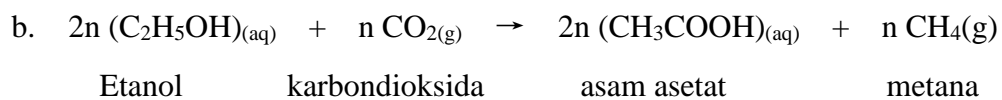
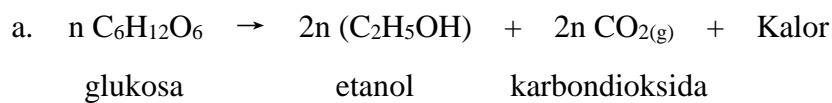


#### 2) *Asetogenesis*/Pengasaman

Pada tahap pengasaman, komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap *hidrolisis* akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari perombakan gula – gula sederhana tadi yaitu asam asetat, propionate, format, laktat, alkohol dan sedikit butirrat, gas karbondioksida, hidrogen dan ammonia. Monomer yang dihasilkan dari tahap hidrolisis akan didegradasi pada tahap ini. Pembentukan asam organik tersebut terjadi dengan bantuan bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* (Hambali et al., 2007). Asam organik rantai

pendek yang dihasilkan dari tahap fermentasi dan asam lemak yang berasal dari *hidrolisis* lemak akan difermentasi menjadi asam asetat, H<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub> oleh bakteri asetogenik. Pada fase ini, mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein et al., 2008). Tahap *asetogenesis* berlangsung pada temperatur 25°C didalam digester (Price dan Cheremisinoff, 1981).

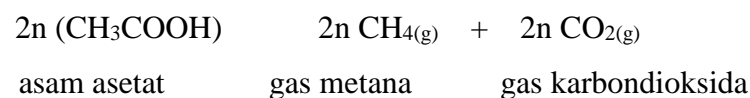
Reaksi :



### 3) *Metanogenesis*

Pada tahap *metanogenesis*, terjadi pembentukan gas metan. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini yang akan mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hidrogen sulfida. Bakteri yang berperan dalam proses ini, antara lain *Methanococcus*, *Methanobacillus*, *Methanobacterium* dan *Methanosarcina*. Terbentuknya gas metana terjadi karena adanya reaksi dekarboksilasi asetat dan reduksi CO<sub>2</sub>. Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25°C di dalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH<sub>4</sub>, 30 % CO<sub>2</sub>, sedikit H<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi :



### 2.3.3 Parameter Proses Pembuatan Biogas

Laju proses pembuatan biogas sangat ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi mikroorganisme, diantaranya ialah temperatur, pH, nutrisi, konsentrasi padatan, *volatile solid*, konsentrasi substrat, lama proses pencernaan, pengadukan bahan organik serta pengaruh tekanan. Berikut ini adalah pembahasan tentang faktor-faktor tersebut :

a. Temperatur

Temperatur sangat menentukan lamanya proses pencernaan di digester. Bila temperatur meningkat, umumnya produksi biogas juga meningkat sesuai dengan batas-batas kemampuan bakteri mencerna sampah organik. Bakteri yang umum dikenal dalam proses fermentasi anaerob, misalnya : *Psychrophilic* ( $< 15^{\circ}\text{C}$ ), bakteri *Mesophilic* ( $15^{\circ}\text{-}45^{\circ}\text{C}$ ), bakteri *Thermophilic* ( $45^{\circ}\text{C-}65^{\circ}\text{C}$ ). Umumnya digester anaerob skala kecil yang terdapat di sekitar bekerja pada suhu antara  $25^{\circ}\text{C-}37^{\circ}\text{C}$ , atau pada lingkungan tempat bakteri *Mesophilic* hidup.

b. Derajat keasaman (pH)

Pada dekomposisi anaerob, faktor pH sangat berperan karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum. Bahkan dapat menyebabkan kematian yang pada akhirnya dapat menghambat perolehan gas metana. Bakteri-bakteri anaerob membutuhkan pH optimal antara 6,2 – 7,6, tetapi pH yang terbaik adalah 6,6 – 7,5. Pada awalnya media mempunyai pH  $\pm 6$  selanjutnya naik sampai 7,5. Bila pH lebih kecil atau lebih besar maka akan mempunyai sifat toksik terhadap bakteri metanogenik. Bila proses anaerob sudah berjalan menuju pembentukan biogas, pH berkisar 7-7,8. Pengontrolan pH secara alamiah dilakukan oleh ion  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{HCO}_3^-$ .

c. Faktor Konsentrasi Padatan (*Total Solid Content/TS*)

*Total solid content* adalah jumlah material padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses *digester* terjadi yang mengindikasikan laju penghancuran/pembusukan material padatan limbah organik. Konsentrasi ideal padatan untuk memproduksi biogas adalah 7-9% kandungan kering. Kondisi ini dapat membuat proses *digester* anaerob berjalan dengan baik. Nilai TS sangat mempengaruhi proses pencernaan/*digester* bahan organik.

d. *Volatile Solids* (VS)

VS merupakan bagian padatan TS yang berubah menjadi fase gas pada tahap asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik. Dalam pengujian skala laboratorium, berat saat bagian padatan bahan organik hilang terbakar pada proses gasifikasi pada suhu  $538^{\circ}\text{C}$  disebut *volatile solid*.

e. Lama Proses Pencernaan

Lama proses pencernaan (*Hydraulic Retention Time/HRT*) adalah jumlah waktu (dalam hari) proses pencernaan/*digesting* pada tangki anaerob terhitung mulai dari pemasukan bahan organik sampai dengan proses awal pembentukan biogas dalam digester anaerob. HRT meliputi 70-80% dari total waktu pembentukan biogas secara keseluruhan. Lamanya waktu HRT sangat tergantung dari jenis bahan organik dan perlakuan terhadap bahan organik sebelum dilakukan proses pencernaan/*digester*.

f. Konsentrasi Substrat

Sel mikroorganisme mengandung Carbon, Nitrogen, Posfor dan Sulfur dengan perbandingan 100:5:1:1. Untuk pertumbuhan mikroorganisme, unsur-unsur diatas harus ada pada sumber makananya (substrat). Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat.

Kandungan air dalam substart dan homogenitas sistem juga mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Karena kandungan air yang tinggi akan memudahkan proses penguraian, sedangkan homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substart menjadi lebih intim.

g. Pengadukan Bahan Organik

Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam *digester* anaerob karena memberikan peluang material tetap bercampur dengan bakteri dan temperatur terjaga merata di seluruh bagian *digester*. Dengan pengadukan, potensi material yang mengendap di dasar *digester* semakin kecil, konsentrasi merata, dan potensi seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob besar.

h. Pengaruh Tekanan

Semakin tinggi tekanan di dalam digester maka semakin rendah produksi biogas di dalam digester, terutama pada proses hidrolisis dan asidifikasi. Tekanan dipertahankan di antara 1.15-1.2 bar di dalam *digester* (Budiman, 2010).

i. Penjernihan Biogas

Kandungan gas atau zat lain dalam biogas seperti air, karbondioksida, dan asam sulfida merupakan polutan yang mengurangi kadar panas pembakaran biogas bahkan dapat menyebabkan karat yang merusak mesin.

### 2.3.4 Faktor yang mempengaruhi Proses Anaerobik

Aktivitas metabolisme mikroorganisme penghasil gas metana tergantung pada beberapa faktor berikut ini:

1. Temperatur

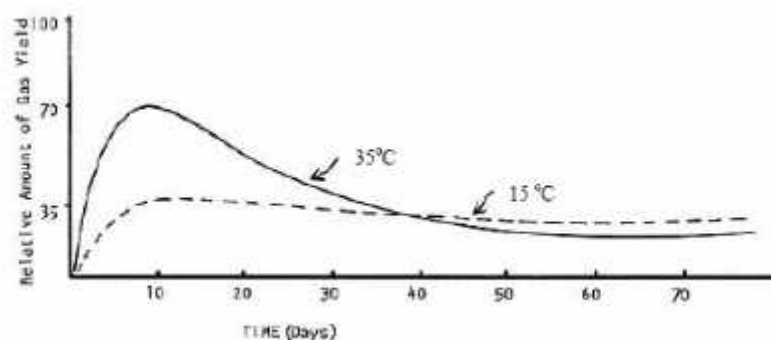
Gas metana dapat diproduksi pada tiga range temperatur sesuai dengan bakteri yang hadir. Bakteri *psychrophilic* 0–7°C, bakteri *mesophilic* pada temperatur 13 – 40°C sedangkan *thermophilic* pada temperatur 55 – 60°C (Fry). Temperatur yang optimal untuk *digester* adalah temperatur 30 – 35°C, kisaran temperatur ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi metana di dalam *digester* dengan lama proses yang pendek. Temperatur yang tinggi/range *thermophilic* jarang digunakan karena sebagian besar bahan sudah dicerna dengan baik pada range temperatur *mesophilic*, selain itu bakteri *thermophilic* mudah mati karena perubahan temperatur, keluaran/*sludge* memiliki kualitas yang rendah untuk pupuk, berbau dan tidak ekonomis untuk mempertahankan pada temperatur yang tinggi, khususnya pada iklim dingin (Fry).

Bakteri *mesophilic* adalah bakteri yang mudah dipertahankan pada kondisi *buffer* yang mantap (*well buffered*) dan dapat tetap aktif pada perubahan temperatur yang kecil, khususnya bila perubahan berjalan perlahan. Pada temperatur yang rendah 15°C laju aktivitas bakteri sekitar setengahnya dari laju aktivitas pada temperatur 35°C. Pada temperatur 10 – 7°C dan dibawah temperatur aktivitas, bakteri akan berhenti beraktivitas dan pada range ini bakteri fermentasi menjadi dorman sampai temperatur naik kembali hingga batas aktivasi. Apabila bakteri bekerja pada temperatur 40°C produksi gas akan berjalan dengan cepat hanya beberapa jam tetapi untuk sisa hari itu hanya akan diproduksi gas yang sedikit (Fry).

Massa bahan yang sama akan dicerna dua kali lebih cepat pada 35°C dibanding pada 15°C dan menghasilkan hampir 15 kali lebih banyak gas pada waktu



proses yang sama. Di dalam Gambar 1 dapat dilihat bagaimana perbedaan jumlah gas yang diproduksi ketika digester dipertahankan pada temperatur 15°C dibanding dipertahankan 35°C. Seperti halnya proses secara biologi tingkat produksi metana berlipat untuk tiap peningkatan temperatur sebesar 10 – 15°C. Jumlah total dari gas yang diproduksi pada jumlah bahan yang tetap, meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur (Meynell, 1976).



Gambar 1. Perbandingan Tingkat Produksi Gas Pada 15°C dan 35°C

Sumber : [rires2.umm.ac.id](http://rires2.umm.ac.id)

Lebih lanjut, yang harus diperhatikan pada proses biometanisasi adalah perubahan temperatur, karena proses tersebut sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Perubahan temperatur tidak boleh melebihi batas temperatur yang diijinkan. Untuk bakteri *psychrophilic* selang perubahan temperatur berkisar antara 2°C/jam, bakteri *mesophilic* 1°C/jam dan bakteri *thermophilic* 0.5°C/jam. Walaupun demikian perubahan temperatur antara siang dan malam tidak menjadi masalah besar untuk aktivitas metabolisme (Sufyandi, 2001).

## 2. Ketersediaan Unsur Hara

Bakteri Anaerobik membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung Nitrogen, Fosfor, Magnesium, Sodium, Mangan, Kalsium dan Kobalt (*Space and McCarthy didalam Gunerson and Stuckey, 1986*). Level nutrisi harus sekurangnya lebih dari konsentrasi optimum yang dibutuhkan oleh bakteri metanogenik, karena apabila terjadi kekurangan nutrisi akan menjadi penghambat bagi pertumbuhan bakteri. Penambahan nutrisi dengan bahan yang sederhana seperti glukosa, buangan industri, dan sisa tanaman terkadang diberikan dengan tujuan menambah pertumbuhan di dalam digester. Walaupun demikian kekurangan

nutrisi bukan merupakan masalah bagi mayoritas bahan, karena biasanya bahan memberikan jumlah nutrisi yang mencukupi (*Gunerson and Stuckey, 1986*).

Nutrisi yang penting bagi pertumbuhan bakteri, dapat bersifat toksik apabila konsentrasi di dalam bahan terlalu banyak. Pada kasus nitrogen berlebihan, sangat penting untuk mempertahankan pada level yang optimal untuk mencapai digester yang baik tanpa adanya efek toksik (*Gunerson and Stuckey, 1986*).

### 3. Lama Proses

Lama proses atau jumlah hari bahan terproses didalam biodigester. Pada *digester* tipe aliran kontinyu, bahan akan bergerak dari inlet menuju outlet selama waktu tertentu akibat terdorong bahan segar yang dimasukkan, setelah itu bahan akan keluar dengan sendirinya. Misalnya apabila lama proses atau pengisian bahan ditetapkan selama 30 hari, maka bahan akan berada didalam biodigester atau menuju outlet selama 30 hari.

Setiap bahan mempunyai karakteristik lama proses tertentu, sebagai contoh untuk kotoran sapi diperlukan waktu 20 – 30 hari. Sebagian gas diproduksi pada 10 sampai dengan 20 hari pertama (*Fry, 1974*), pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa hari ke – 10 adalah puncak dari jumlah relatif gas yang diproduksi, setelah hari ke-10 maka produksi gas mulai menurun. Oleh karena itu digester harus didesain untuk mencukupi hanya hari terbaik dari produksi dan setelah itu *sludge*/lumpur dapat dikeluarkan atau dipindahkan ke *digester* selanjutnya.

Apabila terlalu banyak volume bahan yang dimasukkan (*overload*) maka akibatnya lama pengisian menjadi terlalu singkat. Bahan akan terdorong keluar sedangkan gas masih diproduksi dalam jumlah yang cukup banyak.

#### **2.3.5 Green Phoskko-7**

*Green Phoskko-7* merupakan aktivator pembangkit gas metana sebagai pengurai secara fermentatif, semua jenis biomassa termasuk sampah dan limbah organik dalam digester anaerob. Bakteri anaerob GP-7 hidup secara saprofit dan bernafas secara anaerob dimanfaatkan dalam proses pembuatan biogas. Bakteri ini memecah persenyawaan organik dan menghasilkan gas metana. Dalam lingkungan mikro dalam reaktor atau *digester* biogas yang sesuai dengan kebutuhan bakteri ini

(kedap udara, material memiliki pH > 6, kelembaban 60% dan temperatur 30°C) akan mengurai atau mendegradasi semua biomassa termasuk jenis sampah dan bahan organik.

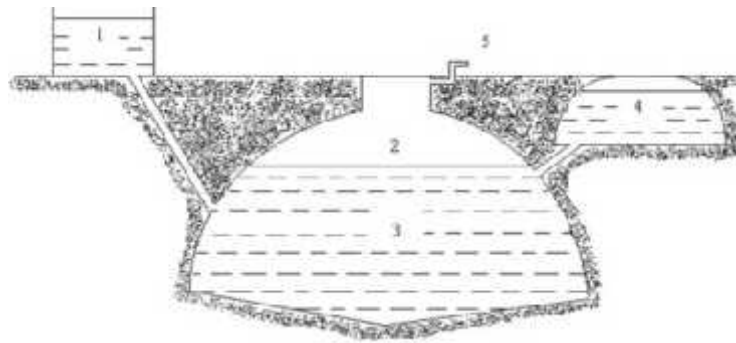


Gambar 2. Bakteri Green Phoskko 7 (GP7)  
Sumber : [www.kencanaonline.com](http://www.kencanaonline.com)

### 2.3.6 *Fixed Dome Digester*

*Digester* ini dibuat pertama kali di Cina sekitar tahun 1930-an, kemudian sejak saat itu *digester* ini berkembang dengan berbagai model. *Digester* ini memiliki dua bagian. Bagian pertama adalah *digester* sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam maupun bakteri pembentuk gas metana. Bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu menggunakan batu, batubata atau beton. Strukturnya harus kuat karena menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian kedua adalah kubah tetap (*fixed dome*). Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*). Gas yang dihasilkan dari material organik pada *digester* akan mengalir dan disimpan di bagian kubah.

Keuntungan dari *digester* ini adalah biaya konstruksi lebih murah daripada menggunakan reaktor terapung karena tidak memiliki bagian yang bergerak menggunakan besi yang tentunya harganya relatif lebih mahal dan perawatannya lebih mudah. Sementara itu, kerugian dari *digester* ini adalah mudah retak apabila terjadi gempa bumi dan sulit untuk diperbaiki jika bocor. Reaktor tipe ini juga mempunyai pori-pori agak besar sehingga gas mudah bocor.



Gambar 3. *Fixed Dome Digester*  
 Sumber : perpustakaan cyber.blogspot.com

Gambar diatas memiliki keterangan gambar sebagai berikut:

1. *Mixing Tank With Inlet Pipe*
2. *Gas Holder*
3. *Digester*
4. *Compensation Tank*
5. *Gas Pipe*

### 2.3.7 Nilai Potensial Biogas

Biogas merupakan campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dari biogas adalah gas metana ( $\text{CH}_4$ ) apabila terjadi proses pembakaran akan menghasilkan energi panas yang dapat dimanfaatkan baik untuk keperluan memasak maupun sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik. Metana dalam biogas memiliki karakteristik mudah terbakar (*flammable*) dan dapat mengakibatkan ledakan. Hasil pembakarannya relatif lebih bersih dibandingkan batu bara, dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang relatif lebih sedikit. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif terbaik, karena biogas dapat menjadi bahan bakar ramah lingkungan, memiliki kandungan energi dalam jumlah yang besar, dan limbah biogas (residu) dan dimanfaatkan sebagai pupuk.

Tabel 2. Komposisi Gas yang Terdapat dalam Biogas

Jenis Gas	Volume (%)
Metana (CH <sub>4</sub> )	40 – 70
Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )	30 – 60
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	0 – 1
Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0 – 3

Sumber: <http://www.energi.lipi.go.id>

## 2.4 Kualitas Biogas

### 2.4.1 Rumen Sapi

Rumen sapi, dianggap substrat yang cocok untuk pemanfaatan biogas. Substrat dalam kotoran sapi telah mengandung bakteri penghasil gas metana yang terdapat di dalam perut hewan ruminansia. Keberadaan bakteri di dalam usus besar ruminansia tersebut membantu proses fermentasi, sehingga proses pembentukan biogas pada digester dapat dilakukan lebih cepat. Selain itu kotoran dalam kondisi segar lebih mudah diproses dibandingkan dengan kotoran yang lama dan atau dikeringkan, disebabkan karena hilangnya substrat *volatile solid* selama waktu pengeringan.

Berdasarkan hasil penelitian Gustiar, R, dkk (2014) bahwa konsentrasi gas metana (CH<sub>4</sub>) tertinggi ditemukan pada sapi dengan pakan 100% rumput dibandingkan dengan pencampuran 20% rumput + 80% konsentrat. Akan tetapi berbanding terbalik dengan volume biogas yang dihasilkan. Dari hasil penelitian Gustiar, R. Dkk (2014) menunjukkan bahwa pencampuran 20% rumput + 80 % konsentrat menghasilkan volume biogas yang tinggi dibandingkan dengan 100% rumput akan tetapi menghasilkan gas metana paling rendah. Hal ini juga sejalan dengan apa yang telah dikemukakan oleh yohanes (2010) yang mengatakan sapi dengan pakan yang menghasilkan gas metan paling rendah dari sitem pencernaan akan memberikan potensi menghasilkan biogas yang tinggi dari fesesnya.

Pemberian 80% konsentrat akan meningkatkan kandungan protein dan lemak pada pakan di mana fesesnya akan mengemisikan gas metan lebih banyak. Meningkatnya kandunga protein dan lemak dalam pakan akan meningkatkan gas metan dari feses ternak, Hal ini ungkapkan oleh Moller (2004) dalam penelitiannya yang menemukan bahwa biogas dari feses ternak dengan pakan yang kaya akan

lemak akan menyumbangkan emisi metan yang lebih tinggi pada berbagai kondisi temperatur. Komposisi dan kandungan nutrisi bahan pakan ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi dan kandungan nutrisi bahan pakan

Bahan Pakan	Berat Kering	Komposisi Nutrisi Bahan Pakan			
		Protein Kasar	Serat Kasar	Total Digestable Nutrien	%
Dedak Padi	86	13.8	11.6	81	30.5
Bungkil Sawit	86	17.9	11.2	83	31
Onggok	88.7	1.8	11	85	2
Kulit kopi	88.9	8.4	26.1	53.2	5
Kulit ubi	23	11.2	6.5	33	25
Tetes tebu	77	5.4	10	53	5
Urea	94	64.4	-	-	0.05
Garam	94	-	-	-	1
Kapur	-	-	-	-	0.5
<b>Total</b>					<b>100</b>

Sumber: F, Gustiar. dkk. 2014

#### 2.4.2 Nilai Kalor Pembakaran Biogas

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana ( $\text{CH}_4$ ). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ). Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang di ijinakan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, sulphur dioksida/sulphur trioksida ( $\text{SO}_2/\text{SO}_3$ ). Senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) suatu senyawa yang lebih korosif. Parameter kedua adalah menghilangkan kandungan karbon dioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalaan biogas serta menimbulkan korosif.

Widodo dkk. (2005) menyatakan bahwa biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran 4800 – 6700 kkal/m<sup>3</sup>, untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m<sup>3</sup>. Biogas sebanyak 1000 f<sup>3</sup> (=28,32 m<sup>3</sup>) mempunyai nilai pembakaran yang sama dengan 6,4 galon (=3,785 liter) butana, atau 5,2 galon gasolin (besin), atau 4,6 galon minyak diesel. Kandungan utama biogas adalah gas metan (CH<sub>4</sub>) dengan konsentrasi sebesar 50-80% vol. Kandungan lain dalam biogas yaitu gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), gas hidrogen (H<sub>2</sub>), gas nitrogen (N<sub>2</sub>), gas karbon monoksida (CO) dan gas hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S). Gas dalam biogas yang dapat berperan sebagai bahan bakar yaitu gas metana (CH<sub>4</sub>), gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dan gas CO (Price dan Cheremisinoff, 1981).

#### **2.4.3 Kandungan gas yang merugikan dalam biogas**

Di dalam komposisi biogas terdapat beberapa kandungan gas lain yang merugikan. Oleh sebab itu untuk memperoleh hasil pembakaran yang optimal perlu dilakukan tahapan proses penyaringan atau pemurnian. Beberapa gas yang merugikan dalam biogas yaitu :

a) Gas Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)

Gas CO<sub>2</sub> dalam biogas perlu dihilangkan karena gas tersebut dapat mengurangi nilai kalor pembakaran biogas. Selain itu, kandungan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam biogas cukup besar yaitu sekitar 30-45 % sehingga nilai kalor pembakaran biogas akan berkurang cukup besar. Nilai kalor pembakaran gas metana murni pada tekanan 1 atm dan temperatur 15,5 °C yaitu 9100 Kkal/m<sup>3</sup> (12.740 Kkal/kg). Sedangkan nilai pembakaran biogas sekitar 4.800 – 6.900 Kkal/m<sup>3</sup> (6.720 – 9.660 Kkal/kg) (Harasimowicz dkk., 2007).

b) Gas Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S)

Menurut Lastella dkk. (2002), konsentrasi gas ini dalam biogas relatif kecil ± 0,1 – 2%. Gas ini bersifat korosif sehingga konsentrasi yang besar dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada ruang pembakaran. Selain itu, gas ini mempunyai bau yang tidak sedap, bersifat racun dan hasil pembakarannya menghasilkan gas sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>).

## 2.5 Proses Pemurnian Biogas

Proses pemurnian biogas dilakukan karena didalam biogas masih terkandung unsur-unsur yang tidak bermanfaat untuk pembakaran khususnya  $H_2O$ ,  $CO_2$ , dan  $H_2S$  dan senyawa lainnya. Pemurnian gas  $CO_2$  didalam biogas dilakukan dengan teknik absorpsi menggunakan absorben berupa  $NaOH$ . Absorpsi adalah pemisahan suatu gas tertentu dari campuran gas-gas dengan cara pemindahan massa ke dalam suatu liquid. Hal ini dilakukan dengan cara mengantarkan aliran gas dengan liquid yang mempunyai selektivitas pelarut yang berbeda dari gas yang akan dipisahkannya (Purnomo, J. 2009).

Untuk absorpsi kimia, transfer massanya dilakukan dengan bantuan reaksi kimia. Suatu pelarut kimia yang berfungsi sebagai absorben akan bereaksi dengan gas asam ( $CO_2$  dan  $H_2S$ ) menjadi senyawa lain, sehingga gas alam yang dihasilkan sudah tidak lagi mengandung gas asam yang biasanya akan mencemari lingkungan apabila ikut terbakar. Secara umum penghilangan (pengurangan)  $H_2S$  dari biogas dapat dilakukan secara fisika, kimia, atau biologi. Pemurnian secara fisika misalnya penyerapan dengan air, pemisahan dengan menggunakan membran atau absorpsi dengan absorben misalnya dengan menggunakan absorben karbon aktif. Metode fisika ini relatif mahal karena absorben sulit diregenerasi dan pengurangan  $H_2S$  rendah serta masih berupa larutan dan gas yang dibuang di lingkungan (Purnomo, J. 2009).

Pemurnian dengan cara biologi dengan menggunakan bakteri yang menguraikan  $H_2S$  menjadi sulfat. Metode ini efektif untuk mereduksi kandungan  $H_2S$  dalam biogas, tetapi metode ini selain sulit dalam pengoperasiannya juga sangat mahal. Pemurnian biogas dari kandungan  $H_2S$  yang sering dilakukan adalah diserap secara kimiawi. Pada metode ini  $H_2S$  diserap secara kimiawi (bereaksi secara kimia) oleh larutan absorben. Selanjutnya absorben yang kaya  $H_2S$  diregenerasi untuk melepas kembali  $H_2S$  -nya dalam bentuk gas atau sulfur padat (Purnomo, J. 2009). Absorben yang banyak digunakan di Industry adalah MEA (*Methyl Ethanol Amine*). Absorben menggunakan MEA sangat efektif mengurangi kandungan sulfur dari gas, tetapi  $H_2S$  yang diserap selanjutnya dibuang ke udara



saat regenerasi MEA. Hal ini tentu mencemari udara dan hanya sesuai untuk pengolahan gas dengan kandungan sulfur yang kecil.

Air ( $H_2O$ ) merupakan salah satu produk utama dari proses fermentasi. Oleh karena itu dilakukan suatu cara untuk mengurangi kadar air dari biogas yang dihasilkan sehingga kemurniannya cukup tinggi. Cara paling mudah dari proses penghilangan air adalah dengan cara kondensasi dari uap tersebut cara kondensasi ini dapat dilakukan secara alami dengan menggunakan pipa berlekuk pada proses penyaluran biogas dari *digester* menuju penampungan biogas. Pipa-pipa berlekuk dan suhu yang rendah secara alami akan mengkondensasikan uap air menjadi air sehingga jumlah air dalam biogas akan berkurang. Alat penjebak air ini disebut watertrap, berfungsi untuk penjebak air, agar air tidak ikut dibakar pada mesin pembakaran.

## **2.6 Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi alternatif**

Biogas atau metana dapat digunakan seperti gas alam, manfaat dari pembuatan biogas dari kotoran ternak sapi dapat mengganti fuel seperti LPG atau natural gas, dimana  $1,7\text{ m}^3$  biogas setara dengan 1 liter gasoline. Pupuk sapi yang dihasilkan dari satu sapi dalam satu tahun dapat dikonversi menjadi gas metana yang setara dengan lebih dari 200 liter gasoline. Tujuan utama pembuatan biogas adalah untuk mengisi kekurangan atau mensubstitusi sumber energi alternatif sebagai bahan bakar keperluan rumah tangga, terutama untuk memasak dan lampu penerangan. Selain itu dapat digunakan untuk menjalankan generator untuk menghasilkan listrik (genset) dan menggerakkan motor bakar.

Biogas mengandung berbagai macam zat, baik yang terbakar maupun yang dapat dibakar. Seperti terlihat pada Tabel 4 walaupun kandungan kalornya relative rendah dibanding dengan gas alam, butana dan propana, tetapi masih lebih tinggi dari gas batubara. Selain itu biogas ramah lingkungan, karena sumber bahannya memiliki rantai karbon yang lebih pendek dibandingkan dengan minyak tanah, sehingga gas CO yang dihasilkan relatif lebih sedikit.

Tabel 4. Perbandingan nilai kalor biogas

Jenis Gas	Nilai Kalor (Joule/cm <sup>3</sup> )
Gas batubara	16.7-18.5
Gas Bio	20-26
Gas metana	33.2-39.6
Gas alam	38.9-81.4
Gas Propane	81.4-96.2
Gas butana	103.3-125.8

Sumber: Meynell, P.J., (1976) [di dalam Murjito, 2009]

Nilai kalori biogas tergantung pada komposisi metana dan karbondioksida, dan kandungan air di dalam gas. Gas mengandung banyak kandungan air akibat dari temperatur pada saat proses, kandungan air pada bahan dapat menguap dan bercampur dengan metana. Pada biogas dengan kisaran normal yaitu 60-70% metana dan 30-40% karbondioksida, nilai kalor antara 20 – 26 J/cm<sup>3</sup> (Meynell, P. J., (1976) [di dalam Murjito, 2009]. Komponen utama biogas adalah gas metana (54–57%) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yakni yakni sebesar 27–45% yang merupakan hidrokarbon paling sederhana berbentuk gas. Gas metana dapat timbul dari proses fermentasi anaerobik (tanpa udara) dari bahan organik seperti limbah kotoran. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO<sub>2</sub> (Karbon dioksida) dan dua molekul H<sub>2</sub>O (air).



Dalam pemanfaatannya, kandungan gas dalam biogas yang paling bisa dimanfaatkan adalah kandungan gas metana (CH<sub>4</sub>). Karena CH<sub>4</sub> ini mempunyai nilai panas/kalor yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Menurut Widodo dkk. (2005) untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m<sup>3</sup>.

## 2.7 Konversi Biogas Menjadi Listrik

Energi biogas sangat potensial untuk dijadikan sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan metana (CH<sub>4</sub>) yang tinggi dan nilai pembakaran biogas sekitar 4.800 – 6.900 Kkal/m<sup>3</sup> (6.720 – 9.660 Kkal/kg) (Harasimowicz dkk., 2007). Disamping itu, kenaikan tarif listrik, kenaikan harga LPG (Liquefied Petroleum Gas), premium, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel dan minyak

bakar telah mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang murah, berkelanjutan dan ramah lingkungan (Nurhasanah et al., 2012).

Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan Generator Set (Genset). Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi oleh potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban dan ketersediaan dana yang ada. Sebagai pembangkit tenaga listrik, energi yang dihasilkan oleh biogas setara dengan 60-100 watt lampu selama 6 jam penerangan. Kesetaraan biogas dibandingkan dengan bahan bakar lain dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kesetaraan Biogas dan Energi Lainnya

Aplikasi	1 m <sup>3</sup> Biogas setara dengan
1 m <sup>3</sup>	Elpii 0,46 kg Minyak Tanah 0,62 Liter Minyak Solar 0,52 Liter Bensin 0,8 Liter Kayu Bakar 3,50 Kg Listrik 4,7 Kwh

Sumber : Suyitno, 2012

Dalam buku *Renewable Energi Conversion, Transmsision and Storage*, Bent Sorensen, bahwa 1 Kg gas metana setara dengan  $6,13 \times 10^7$  J, sedangkan 1 kWh setara dengan  $3,6 \times 10^7$  J. Massa jenis gas metan 0,656 kg/m. Sehingga 1 m<sup>3</sup> gas metana manghasilkan energi listrik sebesar 11,17 kWh.

### 2.7.1 Generator Set

*Generator set* adalah sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik disebut sebagai *generator set* dengan pengertian satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu *engine* dan *generator* atau *alternator*. *Engine* dapat berupa perangkat mesin berbahan bakar solar atau mesin berbahan bakar bensin, sedangkan *generator* atau *alternator* merupakan kumparan atau gulungan tembaga yang terdiri dari *stator* (kumparan statis ) dan *rotor* (kumparan berputar) yang dapat membangkitkan listrik.

### a. *Generator atau alternator*

*Generator* adalah mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator ini memperoleh energi mekanis dari *prime mover* atau penggerak mula. Arus listrik yang diberikan pada *stator* akan menimbulkan momen elektromagnetik yang bersifat melawan putaran *rotor* sehingga menimbulkan EMF pada kumparan *rotor*.

Tegangan EMF ini akan menghasilkan suatu arus jangkar. Jadi diesel sebagai *prime mover* akan memutar rotor generator, kemudian *rotor* diberi eksitasi agar menimbulkan medan magnet yang berpotongan dengan *konduktor* pada *stator* dan menghasilkan tegangan pada *stator*. Karena terdapat dua kutub yang berbeda yaitu utara dan selatan, maka pada  $90^\circ$  pertama akan dihasilkan tegangan maksimum positif dan pada sudut  $270^\circ$  kedua akan dihasilkan tegangan maksimum negatif. Ini terjadi secara terus menerus/*continue*. Bentuk tegangan seperti ini lebih dikenal sebagai fungsi tegangan bolak-balik.

### b. *Motor Bakar*

Motor bakar merupakan suatu pesawat kalor yang digunakan untuk mentransformasikan energi panas menjadi suatu energi mekanik, dimana proses perubahan tersebut terjadi karena adanya suatu proses pembakaran campuran bahan bakar dan udara yang menghasilkan suatu energi panas yang dikonversikan menjadi suatu energi mekanik yang berguna melalui suatu konstruksi mesin.

Motor bakar terdiri dari motor dengan kerja bolak - balik (*reciprocating engine*) dan motor dengan kerja putar (*rotary engine*). Motor dengan kerja bolak-balik terdiri dari motor bensin (*Otto*) dan motor Diesel, dengan sistem 2 tak maupun 4 tak. Perbedaan utama motor bensin (*Otto*) dengan motor diesel adalah pada sistem penyalannya. Motor bensin dengan bahan bakar bensin dicampur terlebih dahulu dalam karburator dengan udara pembakaran sebelum dimasukkan ke dalam *silinder* (ruang bakar), dan dinyalakan oleh loncatan api listrik antara kedua elektroda busi karena itu motor bensin dinamai juga *Spark Ignition Engines*.