

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Pengembangan Teknologi Biogas

Sejarah awal penemuan biogas muncul di benua Eropa. Biogas yang merupakan hasil dari proses *anaerobic digestion* ditemukan seorang ilmuwan bernama Alessandro Volta yang melakukan penelitian terhadap gas yang dikeluarkan rawa-rawa pada tahun 1770. Gas dari rawa tersebut teridentifikasi sebagai gas *methana*. Pada perkembangannya, pada tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses *anaerobik digestion*. Selanjutnya, tahun 1884 seorang ilmuwan lainnya bernama Pasteour melakukan penelitian tentang biogas menggunakan mediasi kotoran hewan. Era penelitian Pasteour inilah yang menjadi landasan untuk penelitian biogas hingga saat ini.

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. Prof Li Kangmin dan Dr Mae-Wan Ho, *director of the The Institute of Science in Society*, mengungkapkan bahwa biogas merupakan jantung dari tumbuhnya *eco-economi* 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. 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.

Pada abad ke 21, berbagai negara mulai sadar akan kebutuhan energi pengganti energi fosil. Oleh karena itu, negara-negara tersebut mulai menggalangkan energi baru dan terbarukan, salah satunya biogas. Tak terkecuali 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.

Teknologi biogas mulai diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1970-an. Pada awalnya teknik pengolahan limbah dengan instalasi biogas dikembangkan di wilayah pedesaan, tetapi saat ini teknologi ini sudah mulai diterapkan di wilayah perkotaan. Pada tahun 1981, pengembangan instalasi biogas di Indonesia dikembangkan melalui Proyek Pengembangan Biogas dengan dukungan dana dari Food and Agriculture Organization (FAO) dengan dibangun contoh instalasi biogas di beberapa provinsi. Mulai tahun 2000-an telah dikembangkan reaktor biogas skala kecil (rumah tangga) dengan konstruksi sederhana yang terbuat dari plastik secara siap pasang dan dengan harga yang relative murah (Sriyanti, Widayati dkk. 2014).

2.2 Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi

Kotoran ternak merupakan bahan baku potensial dalam pembuatan biogas karena mengandung pati dan lingoselulosa. Salah satu ternak yang kotorannya biasa dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi biogas adalah sapi. Populasi sapi perah semakin meningkat setiap tahunnya, di Sumatera Selatan jumlah sapi perah sudah mencapai 163 ekor (Direktorat Jendral Peternakan, 2012). Untuk satu ekor sapi rata-rata menghasilkan 20 kg kotoran per hari, dan setara dengan 1 sd 1,2 m³. Pada proses perhitungan gas metan yang dihasilkan dari 20 kg kotoran sapi per

hari, maka akan dihasilkan gas metan campuran 0,10285 kg dan gas metan murni sebesar 0,061714 Kg. Setiap ekor sapi per hari menghasilkan kotoran sebanyak 10-30 kg, berpotensi menghasilkan 0,36 m³ biogas, atau setara dengan 0,75 liter minyak tanah (Latiefah, Dwi N, 2014). 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 : Latiefah, Dwi N, 2014

2.3 Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi langka oksigen (Anaerob). Biogas memiliki kandungan energi yang tidak kalah dari kandungan energi dari bahan bakar fosil. Nilai kalori dari 1 m³ biogas setara dengan 0,6-0,8 liter minyak solar. Oleh karena itu, biogas sangat cocok menggantikan minyak tanah, LPG dan bahan bakar fosil lainnya (Sri Wahyuni, 2013).

Biogas memiliki kandungan energi yang tinggi, untuk menghasilkan listrik 1kwh dibutuhkan 0,62-1 m³ biogas. Bahan baku biogas adalah bahan non-fosil, umumnya adalah biomassa yang mengandung bahan organik, diantaranya adalah limbah dari industri makanan dan limbah peternakan (Sri Wahyuni, 2013).

Komposisi gas yang terdapat di dalam Biogas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Gas yang Terdapat dalam Biogas

Jenis Gas	Volume (%)
Metana (CH ₄)	55 – 75
Karbondioksida (CO ₂)	25 – 45
Nitrogen (N ₂)	0 – 0,3
Hidrogen (H ₂)	1 – 5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0 – 3
Oksigen (O ₂)	0,1 – 0,5

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

2.4 Sifat Fisik dan Kimia Biogas

Sifat fisik dan kimia dari biogas mempengaruhi pemilihan teknologi yang akan digunakan, dimana pengetahuan tentang sifat-sifat dari biogas bermanfaat untuk mengoptimalkan peralatan yang menggunakan gas ini, karena kandungan utama biogas terdiri dari metana dan karbondioksida maka sifat biogas difokuskan pada sifat-sifat dari masing-masing gas tersebut. Unsur-unsur seperti nitrogen (N_2). Hidrogen sulfida mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap material yaitu dapat menyebabkan korosi jika bereaksi dengan air (H_2O) (Fadly, Suparjo dkk, 2012). Sifat-sifat metana dan karbondioksida dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat-sifat Gas Metana dan Karbon Dioksida

Sifat Fisik dan Kimia	Metana (CH_4)	Karbon dioksida (CO_2)
Berat molekul	16,04	44,1
Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)	0,554	1,52
Titik didih @ 14,7 psia	26,43 °C	42,99 °C
Titik beku @ 14,7 psia	182,53 °C	-56.60 °C
Volume jenis	4,2 ft ³ /lb	8,8 ft ³ /lb
Temperatur kritis	46,6 °C	31,10 °C
Tekanan kritis	673 psia	1072 psia
Perbandingan panas jenis	1,307	1,303

Sumber : Fadly, Suparjo dkk, 2012

2.5 Keunggulan Biogas

Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang terus dikembangkan. Hal ini dikarenakan biogas memiliki keunggulan atau manfaat yang sangat besar. Berikut ini keunggulan dari biogas.

1. Biogas memiliki pembakaran yang sempurna

Biogas sangat potensial untuk dijadikan sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan metana (CH_4) yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 4.800 – 6.700 kkal/m³ (Harahap, 1980). Metana (CH_4) yang hanya memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dapat membuat pembakarannya 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 sehingga akan dihasilkan pembakaran yang sempurna (Ageng, 2014).

2. Biogas memiliki kandungan sulfur dan logam berat yang rendah

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (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. Biogas mengandung gas hidrogen yulfida yang sangat rendah yaitu, 0 – 3 %. Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang di iijinkan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakarmaka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama – samaoksigen, yaitu sulphur dioksida /sulphur trioksida ($\text{SO}_2 / \text{SO}_3$). Senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk asam sulfat (H_2SO_3) suatu senyawa yang lebih korosi (Ageng, 2014).

3. Biogas memiliki nilai kalor yang tinggi

Biogas memiliki nilai kalor pembakaran yang tinggi yaitu sekitar 6.720 – 9.660 Kkal/kg dimana 8800.85 kkal/kg setara dengan 0,8 kg bahan bakar diesel dan kerosin atau setara dengan 1 kg bahan bakar batubara (Ketut, 2014).

4. Biogas merupakan bahan bakar yang murah

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik yang berasal dari alam termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah biodegradable atau setiap limbah organik yang biodegradable dalam kondisi anaerobik. Hal ini penggunaan dan proses pembuatan biogas tidak membutuhkan biaya yang besar. Sehingga pemanfaatan biomassa yang ada akan dihasilkan bahan bakar biogas yang memiliki nilai kalor yang tinggi (Ageng, 2014).

2.6 Digester Biogas

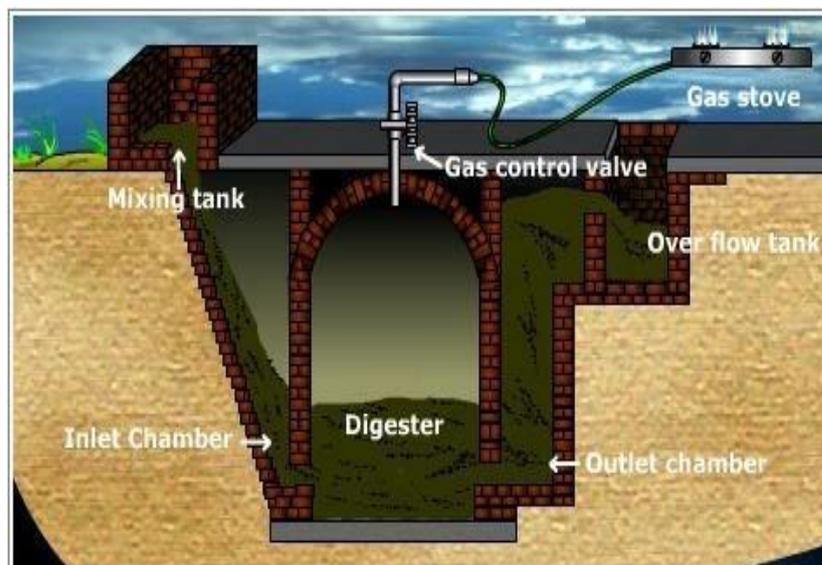
Digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana bahan organik diuraikan oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas CH_4 dan CO_2 .

Ada beberapa jenis digester biogas yang dikembangkan diantaranya adalah digester jenis kubah tetap (Fixed-dome), digester terapung (Floating drum), reaktor jenis puxin digester (Irvan Adhin, 2012).

Berikut ini adalah jenis-jenis digester biogas.

1. Fixed Dome Digester

Sebuah digester biogas tipe kubah tetap terdiri dari digester tertutup berbentuk kubah dengan pipa gas yang kaku dan dilengkapi dengan lubang perpindahan substrat atau biasa disebut tangki kompensasi. Gas akan terkumpul di bagian atas digester. Ketika produksi gas dimulai, *slurry* (bahan baku berbentuk seperti bubur) dipindahkan ke dalam tangki kompensasi. Tekanan gas akan meningkat jika volume gas yang tersimpan bertambah. Hal ini ditandai dengan perbedaan ketinggian antara *slurry* di dalam digester tangki kompensasi. Jika ada sedikit gas di *gas holder* (tabung gas), maka tekanan gas rendah (Agency, Ardhin I dkk, 2012).



Gambar 1. Fixed Dome Digester

Sumber : <http://www.build-a-biogas-plant.com/fixed-dome-biogas/>

Digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti pada Tabel 4.

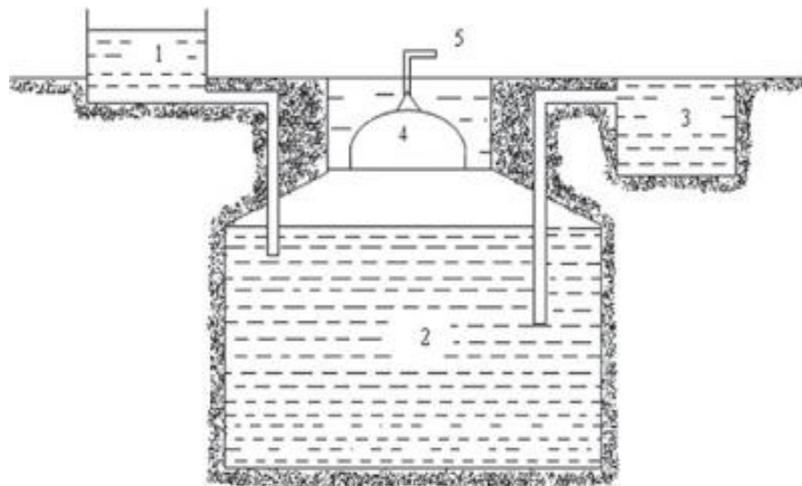
Tabel 4. Kelebihan dan Kekurangan *Digester Fixed Dome Type*

Kelebihan	Kekurangan
1. Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah.	1. Bagian dalam digester tidak terlihat, khususnya yang dibuat di dalam tanah sehingga kebocoran tidak terdeteksi.
2. Biaya konstruksi rendah.	2. Tekanan gas berfluktuasi dan bahkan fluktuasinya sangat tinggi.
3. Tidak terdapat bagian yang bergerak.	3. Temperatur digester rendah.
4. Dapat dipilih dari material yang tahan karat.	
5. Umurnya panjang.	

Sumber : <http://www.kulonprogokab.go.id/>

2. *Puxin Digester*

Digester biogas *Puxin* adalah biogas digester dengan tekanan hidrolik. Digester ini terdiri dari tangki fermentasi yang dibangun dengan beton. Sebuah tabung gas dibuat dari serat gelas yang diperkuat plastik dan penutup outlet (saluran pembuangan) digester dibuat dari serat gelas yang diperkuat plastik atau beton. Tabung gas ini dipasang di atas digester. Tabung gas dan digester ditutup dengan air (Agency, Ardhin I dkk, 2012).



Gambar 2. *Puxin Digester*

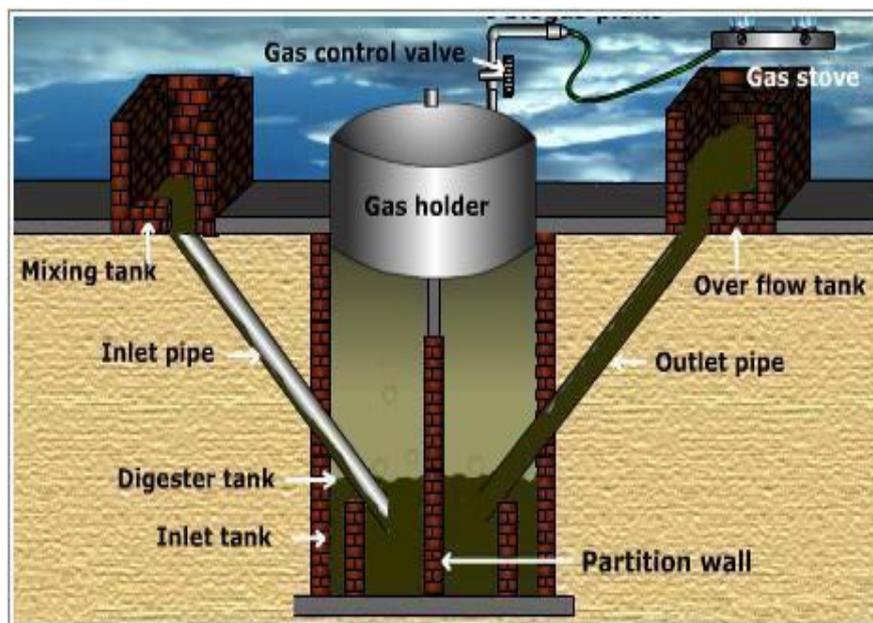
Sumber : <http://www.build-a-biogas-plant.com/>

Gambar diatas memiliki keterangan gambar sebagai berikut.

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

3. *Floating Drum Digester*

Reaktor biogas tipe *floating drum* (drum mengapung) terdiri dari digester bawah tanah dan tabung gas diatasnya yang dapat bergerak naik turun. Gas dikumpulkan pada tabung gas, yang dapat naik atau turun, sesuai dengan jumlah gas yang tersimpan. Tabung gas dijaga supaya tetap tegak dan tidak miring menggunakan struktur kerangka yang berisi air (*water jacket*). Jika kadar gas di digester bertambah, maka tabung gas akan tertekan sehingga bergerak naik. Namun, jika kadar gas berkurang, maka tabung gas tersebut akan bergerak turun (Agency, Ardhin I dkk, 2012).



Gambar 3. *Floating Drum Digester*
 Sumber : <http://www.build-a-biogas-plant.com/>

2.7 Proses Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses pembentukan gas metana dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester sehingga akan dihasilkan gas metana (CH₄) dan gas karbon dioksida (CO₂) yang volumenya lebih besar dari gas hidrogen (H₂), gas nitrogen (N₂) dan asam sulfida (H₂S). Proses fermentasi memerlukan waktu 7 sampai 10 hari untuk menghasilkan biogas dengan suhu optimum 35°C dan pH optimum pada *range* 6,4 – 7,9 (Jumiati, 2014).

Proses pembentukan biogas pada kotoran sapi secara anaerob yang terjadi di dalam digester terdiri dari 3 tahap proses yaitu hidrolisis, asetogenesis, dan metanogenesis (Haryati T, 2006).

1. Hidrolisis/Tahap Pelarutan

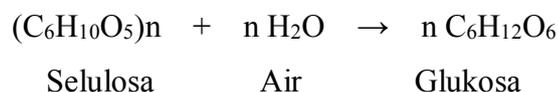
Pada tahap ini terjadi penguraian bahan – bahan organik mudah larut yang terdapat pada kotoran sapi dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer yang larut dalam air). Senyawa kompleks ini, antara lain protein, karbohidrat, dan lemak, dimana dengan bantuan eksoenzim dari bakteri anaerob, senyawa ini akan diubah menjadi monomer (Haryati T, 2006).

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 :

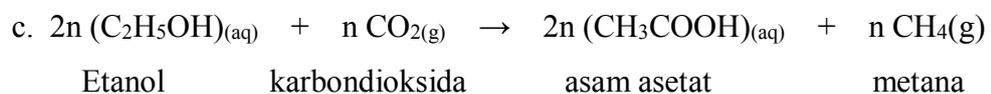
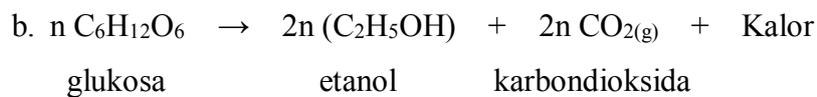


2. Pengasaman/Asetogenesis

Pada tahap pengasaman, komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Monomer yang dihasilkan dari tahap hidrolisis akan didegradasi pada tahap ini. Pembentukan asam-asam organik tersebut terjadi

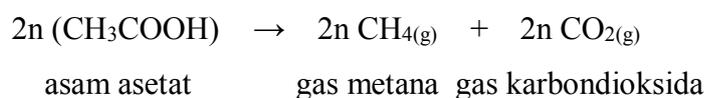
dengan bantuan bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes*. Asam organik rantai pendek yang dihasilkan dari tahap fermentasi dan asam lemak yang berasal dari hidrolisis lemak akan difermentasi menjadi asam asetat, H₂, dan CO₂ oleh bakteri asetogenik. Pada fase ini, mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi H₂ dan CO₂ untuk diubah menjadi asam asetat (Haryati T, 2006).

Tahap asetogenesis berlangsung pada temperatur 25°C didalam digester.



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*. Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25oC di dalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH₄, 30 % CO₂, sedikit H₂ dan H₂S (Haryati T, 2006).



2.8 Parameter Proses Produksi Biogas

Laju proses produksi biogas sangat ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi mikroorganisme, diantaranya temperatur, tekanan, derajat keasaman, nutrisi dan penghambat bagi bakteri anaerob, rasio karbon dan nitrogen serta kecepatan degradasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses produksi biogas adalah sebagai berikut.

1. Temperatur

Temperatur sangat menentukan lamanya proses pencernaan di digester. Bila temperatur meningkat, produksi biogas juga meningkat sesuai dengan batas-batas kemampuan bakteri mencerna sampah organik. Bakteri yang umum dikenal dalam proses fermentasi anaerob, misalnya: *Psychrophilic* (< 15°C), bakteri *Mesophilic* (15°-45°C), bakteri *Thermophilic* (45°C-65°C). Umumnya digester anaerob skala kecil bekerja pada suhu antara 25°C-37°C atau pada lingkungan tempat bakteri *Mesophilic* hidup (Budiman, 2010).

2. 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).

3. 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. 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 (Budiman, 2010).

4. 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 (Budiman, 2010).

5. Nutrisi dan Penghambat bagi Bakteri Anaerob

Bakteri anaerobik membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi untuk menjalankan proses reaksi anaerob. Nutrisi tersebut dapat berupa vitamin esensial dan asam amino yang dapat disuplai ke media kultur dengan memberikan nutrisi tertentu untuk pertumbuhan dan metabolismenya. Selain itu, juga dibutuhkan mikronutrien untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme, misalnya besi, magnesium, kalsium, natrium, barium, selenium, kobalt dan lain-lain. Bakteri anaerobik membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung nitrogen, fosfor, magnesium, sodium, mangan, kalsium dan kobalt (Budiman, 2010). Di bawah ini tabel konsentrasi kandungan kimia mineral-mineral yang diizinkan yang terdapat dalam proses pencernaan/digestion limbah organik :

Tabel 5. Kandungan Kimia yang Diizinkan pada Limbah Organik

Metal	Mg/Liter
Sulfat	5000
Natrium klorida	40000
Tembaga	100
Krom	200
Nikel	200-500
Sianida	25
ABSS (<i>Alkyl Benzene Sulfonate</i>)	40 ppm
Amonia	3000
Natrium	5500
Kalium	4500
Kalsium	4500
Magnesium	1500

Sumber : Budiman., 2010

6. Lama Proses Degradasi

Lama proses degradasi (*Hydraulic Retention Time/HRT*) adalah jumlah waktu (dalam hari) proses *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 (Budiman, 2010).

7. Rasio Carbon Nitrogen (C/N)

Karbon dan Nitrogen adalah sumber makanan utama bagi bakteri anaerob sehingga pertumbuhan optimum bakteri sangat dipengaruhi unsur ini, karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi sedangkan nitrogen dibutuhkan untuk membentuk struktur sel bakteri. Limbah organik yang bernilai C/N tinggi dapat dicampur dengan yang lebih rendah sehingga diperoleh nilai rasio C/N yang ideal dan produksi biogas dapat berjalan dengan optimum. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme dari bakteri methanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20 (Budiman, 2010).

Tabel 6. Rasio C/N Material Organik

Bahan Mentah	C/N Ratio
Kotoran manusia	8
Kotoran kambing	12
Kotoran domba	19
Air bakau	25
Limbah jagung	60
Limbah gandum	90
Kotoran bebek	8
Kotoran ayam	10
Kotoran babi	18
Kotoran sapi	24
Kotoran gajah	43
Limbah padi	70
Serbuk gergaji	Diatas 200

Sumber : Saragih, B. R., 2010

8. 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 (Budiman, 2010).

9. *Volatile Solids (VS)*

Volatile Solid merupakan bagian padatan *total solid* 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°C disebut *volatile solid* (Budiman, 2010).

Berikut ini adalah tabel persentase potensi produksi gas untuk beberapa bahan organik.

Tabel 7. Persentase Potensi Produksi Gas untuk Bahan Organik

Tipe Limbah Organik	<i>Volatile Solid</i> (%)
Sapi (lembu/kerbau)	20 - 40
Babi	40 - 59
Ayam	0.65
Manusia	0.28
Sampah sisa panen	0.37
Air bakau (water hyacinth)	0.05

Sumber : Budiman., 2010

10. Penentuan Kadar Metana

Gas yang dihasilkan dari proses produksi biogas akan dianalisa dengan menggunakan alat Chromathography Gas (GC) sehingga dapat diketahui kandungan gas-gas apa saja yang terdapat didalam gas tersebut, seperti methana dan karbon dioksida.

2.9 *Green Phoskko-7*

Aktivator Pembangkit Metan *Green Phoskko* adalah konsorium mikroba unggulan bahan organik (limbah kota, pertanian, peternakan dan lain- lainnya).

Bakteri anaerob dalam aktivator GP-7 dibawah ini hidup secara saprofit dan bernapas secara anaerob dimanfaatkan dalam proses pembuatan gas bio atau biogas. *Green Phoskko* (GP-7) ini sangat cepat untuk proses pembusukan bahan-bahan organik dibandingkan dengan GP-1, GP-2, GP-3, GP-4, GP-5, GP-6. *Green Phoskko* (GP-7) hanya membutuhkan waktu 5 sampai dengan 20 hari untuk menghasilkan metan. Sedangkan GP-1, GP-2, GP-3, GP-4, GP-5, GP-6 membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 60 hari baru menghasilkan metan.

Green Phoskko atau Bakteri saprofit yang ada di dalamnya hidup dan berkembang biak. Bakteri tersebut memecah persenyawaan organik dan menghasilkan gas CH_4 , H_2S , N_2 , H_2 dan CO_2 .

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 $\text{pH} > 6$, kelembaban 60% dan temperatur 30°C) akan mengurai atau mendegradasi semua biomassa termasuk jenis sampah dan bahan organik (Wiranata A, 2014).

Kelebihan dari *Green Phoskko* (Gp-7) :

1. Untuk mempercepat proses dekomposisi (menghancurkan bahan organik),
2. Menghilangkan bau busuk pada gas yang telah dihasilkan,
3. Menekan pertumbuhan mikroba,
4. Menambah hasil pembentukan Metana.

2.10 Nilai Kalor Pembakaran Biogas

Panas pembakaran dari suatu bahan bakar adalah panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna bahan bakar pada volume konstan dalam kalorimeter dan dinyatakan dalam kal/kg atau Btu/lb . Panas pembakaran dari bahan bakar bisa dinyatakan dalam *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). *High Heating Value* merupakan panas pembakaran dari bahan bakar yang di dalamnya masih termasuk *latent heat* dari uap air hasil pembakaran. *Low Heating Value* merupakan panas pembakaran dari bahan bakar setelah dikurangi *latent heat* dari uap air hasil pembakaran. Nilai kalor pembakaran yang terdapat pada biogas berupa *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). Nilai kalor pembakaran biogas dan *natural gas* dapat dilihat pada Tabel 8 (Tobing, Saleh A dkk, 2015).

Tabel 8. Nilai Kalor Pembakaran Biogas dan Natural Gas

Komponen	<i>High Heating Value</i>		<i>Low Heating Value</i>	
	Kkal/m ³	Kkal/Kg	Kkal/m ³	Kkal/Kg
Hidrogen (H ₂)	2842,21	33903,61	2402,62	28661,13
Karbon Monoksida (CO)	2811,95	2414,31	2811,95	2414,31
Gas Metana (CH ₄)	8851,43	13265,91	7973,13	11953,76
<i>Natural Gas</i>	9165,55	12943,70	8320,18	11749,33

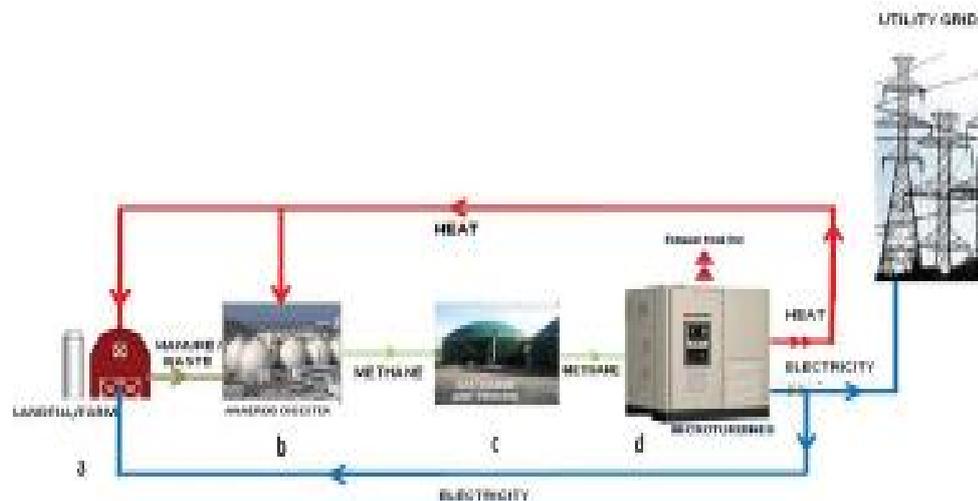
Sumber : Tobing, Saleh A dkk, 2015

2.11 Konversi Energi Biogas Untuk Ketenagalistrikan

Biogas selain dapat digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga listrik serta menghasilkan energi panas. Pembakaran 1 ft³ biogas yang setara dengan 6 kWh/m³ energi listrik atau 0.61 L bensin, 0.58 L minyak tanah, 0.55 L diesel, 0.45 L LPG (*natural gas*), 1.5 kg kayu bakar, dan 0.79 L bioetanol menghasilkan energi panas sebesar 10 Btu (BPPT Energi Outlook, 2013). Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan *gas turbine*, *microturbines*, dan *Otto Cycle Engine*. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi oleh potensi biogas yang ada, seperti konsentrasi gas metana, tekanan biogas, kebutuhan beban, dan ketersediaan dana (Putri, Santoso A dkk, 2013).

Secara umum, sistem PLTB terdiri dari digester anaerob, *feedstock*, *biogas conditioning* untuk memurnikan kandungan metan dalam biogas, *microturbines*, *heat recovery use*, dan *engine heat recovery* (Putri, Santoso A dkk, 2013).

Berikut ini adalah gambar sistem penyaluran energi listrik dan panas pembangkit listrik tenaga biogas (PLTB) :



Gambar 4. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Sumber : Putri, Santoso A dkk, 2013

Keterangan :

a. Sumber Pasokan Limbah Organik (*Feedstock*)

Sumber pasokan limbah organik adalah tempat asal bahan organik, seperti : peternakan, tempat sampah, atau tempat proses akhir dari proses pengolahan bahan hasil pertanian. Di dalam *feedstock* terdapat pula tangki pemasukan bahan organik (*inlet feed substrate/feedstock*) yang merupakan wadah penampungan yang terhubung ke *digester* melalui saluran dengan kemiringan tertentu. Peralatan *crusher* (pencacah), proses pencampuran (*mixing*), dan pengenceran untuk mempermudah penyaluran ke tangki *digester* (Putri, Santoso A dkk, 2013).

b. Tangki Pencernaan (*Digester*)

Digester merupakan tempat berlangsungnya reaksi fermentasi anaerob limbah organik menjadi biogas. Berdasarkan bentuknya, reaktor biogas dapat dikategorikan menjadi tipe *puxin digester*, tipe kubah tetap (*fixed-dome type*), dan tipe kubah penutup (*floating-drum type*) Sedangkan berdasarkan proses pengolahannya, reaktor biogas dapat dikategorikan menjadi beberapa *digester*, yakni : *Batch digester* yang proses

pengolahan limbahnya hanya dilakukan sekali proses yaitu pemasukan limbah organik, *digestion*, dan penghasilan biogas serta *slurry* kompos yang kaya nutrisi bagi tanah; *Plug Flow digester* dengan proses daur ulang/pencernaan limbah organik beberapa kali; *digester* pengadukan penuh (CFSTR) dan *digester* dengan pengadukan berkala (CSTR) yang pengadukannya digunakan untuk mempercepat waktu cerna (HRT). Dalam beberapa kondisi, pada *digester* anaerob dilengkapi dengan mesin pengaduk lumpur (*slurry mixture machine*) sehingga konsentrasi material merata di setiap bagian *digester*. Dengan pengadukan, potensi mengendapnya material di dasar *digester* menjadi kecil dan memberikan kemungkinan bahwa seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob secara merata (Putri, Santoso A dkk, 2013).

c. Katup penampung Gas (*Biogas Tank*)

Tangki penyimpanan biogas adalah tangki yang digunakan untuk menyimpan dan menyalurkan seluruh biogas hasil produksi dari *digester*. Tangki ini dapat terbuat dari plastik, semen, ataupun baja *stainless steel* tahan karat yang dilapisi epoxy dan dilengkapi regulator pengukur tekanan gas. Untuk *digester* biogas skala kecil, penampung gas berada di bagian atas *digester* biogas dan pada *digester* model *floating drum plant*, volum biogas yang dihasilkan mendorong tutup atas *digester* dan menjadi indikator apakah proses metanogenesis sudah terjadi atau belum (Putri, Santoso A dkk, 2013).

d. Generator Pembangkit Tenaga Listrik (*Microturbines Generator*)

Microturbines adalah generator listrik kecil yang membakar gas atau bahan bakar cair untuk menciptakan rotasi kecepatan tinggi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Perkembangan energi *microturbines* dewasa ini adalah hasil dari pengembangan pembangkit stasioner skala kecil dan turbin gas otomotif peralatan utama pembangkit listrik dan *turbochargers* yang sebagian besar dikembangkan pada sektor industri otomotif dan pembangkit tenaga listrik. Pemilihan teknologi pembangkit mikroturbin disebabkan karena pembangkit ini sesuai dengan potensi

sumber energi kecil, yakni untuk daya keluaran berkisar 25 kW sampai dengan 400 kW (Putri, Santoso A dkk, 2013).

2.12 Konstanta Kecepatan Degradasi

Konstanta kecepatan degradasi adalah tetapan laju spesifik dalam proses degradasi bahan-bahan organik didalam kotoran sapi sehingga tiap perubahan kondisi seperti volatile solid, akan mempunyai tetapan k yang berbeda pula (Tim Teaching MK UNSOED, 2013).

Penggunaan substrat untuk pembentukan biogas dapat didekati dengan model *first order reaction* seperti terlihat dalam persamaan di bawah ini (Herawati, 2010).

$$\frac{dC}{dt} = kC^n$$

Dimana C adalah konsentrasi substrat VS (mg/L), k adalah konstanta kecepatan degradasi, C_o adalah konsentrasi substrat VS awal (mg/L), C_t adalah konsentrasi substrat VS pada waktu t (mg/L) dan t adalah waktu degradasi (hari).

Berdasarkan persamaan diatas, untuk mendapatkan konstanta kecepatan degradasi dilakukan trial dan eror dari orde reaksi dengan grafik antara konsentrasi *volatile solid* dan waktu reaksi, bila terjadi garis lurus antara konstanta dan waktu reaksi maka dapat diketahui bahwa orde reaksi adalah n sehingga konstanta kecepatan degradasi akan didapat (Octave Levenspiel, 1972).

Persamaan laju reaksi dalam proses penguraian senyawa organik secara anaerob merupakan laju reaksi orde satu (Handayani, Ida Aciek, 2011).

2.13 Penentuan Konstanta Kecepatan Degradasi

Konstanta kecepatan degradasi Perhitungan desain awal *digester* dapat dilakukan dengan rumusan sebagai berikut :

1. Data Desain

Pada data desain ini dilakukan perhitungan untuk menghitung biogas yang harus diproduksi perhari nya (V_g), dengan rumus :

$$V_g = \text{Kebutuhan biogas genset/jam} \times \text{waktu operasi/hari}$$

2. Penentuan Kapasitas Volumetrik Produksi Gas Metana

Penentuan kapasitas volumetrik produksi gas metana dihitung berdasarkan persamaan Gummerson and Stucky (1986) sebagai berikut :

$$V_s = \frac{B_o \times S_o}{HRT} \times \left[1 - \frac{K}{((HRT \times \mu_m) - 1) + K} \right] \quad \dots (1)$$

Dimana :

$$K = 0,8 + (0,0016 \times e^{0,06 \times S_o}) \quad \dots (2)$$

$$\mu_m = 0,013 (T) - 0,129 \quad \dots (3)$$

$$V_s = \text{kapasitas volumetrik gas metana} \frac{m^3}{m^3 \text{ volume slurry}} \quad \dots (4)$$

$$= \frac{V_g (\text{volume biogas}, \frac{m^3}{m^3 \text{ volume slurry}})}{V_R (\text{volume slurry}, m^3 \text{ volume slurry})}$$

B_o = Kapasitas gas metana tertinggi dalam m^3 gas metana / kg *volatile solid* (VS) yg ditambahkan

S_o = Konsentrasi *volatile solid* (VS) didalam input material, kg/m^3

HRT = *Hydraulic Retention Time*

K = Koefisien kinetik, dt^{-1}

μ_m = Laju pertumbuhan spesifik maksimum dari mikroorganismen perhari

T = Temperatur operasi rata – rata perhari

Dari harga volume spesifik gas metana dan volume reaktor yang disiapkan didapat volume gas metana perhari yang diproduksi.

V_g = Volume spesifik (V_s) x Volume *slurry* dalam *digester* (V_D)