

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 mengidentifikasikan 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 menggalangkan 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, seperti yang ditunjukkan oleh Menteri ESDM Darwin Zahedy Saleh yang menyempatkan untuk melakukan kunjungan kerja ke Desa Mandiri Energi di desa Haurngombong, Sumedang. Menteri ESDM menjanjikan

akan memberikan bantuan untuk mengembangkan potensi energi yang walaupun terlihat kecil, namun dampaknya sangat besar bagi pemenuhan energi di Indonesia, khususnya bagi masyarakat desa Haurngombong.

2.2 Pengertian Biogas

Biogas merupakan bahan bakar gas dan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara *anaerobic digestion* atau fermentasi anaerob dari bahan organik dengan bantuan bakteri metana (Hamida, 2011). Biogas dapat dibakar seperti elpiji, dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan (Musnif, dkk, 2006). Komposisi biogas yang umumnya telah dihasilkan dari beberapa penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Biogas

No	Komponen	Satuan	Komposisi (%)		
			1*)	2**)	3***)
1	Metana (CH ₄)	% Vol	40 – 55	50 – 60	45 – 65
2	Karbon dioksida (CO ₂)	% Vol	25 – 45	24 – 40	27 – 45
3	Nitrogen (N ₂)	% Vol	0 – 0,3	< 2	0 – 1
4	Hidrogen (H ₂)	% Vol	1 – 5	< 1	0 – 1
5	Karbonmonoksida (CO)	% Vol	-	-	0,1
6	Oksigen (O ₂)	% Vol	0,1 – 0,5	< 2	0,1

Sumber : *) Setiawan, 2011, **) Hambali, 2007, ***) Hanif, 2000

Pemanfaatan biogas memegang peranan penting dalam manajemen limbah karena metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dalam pemanasan global bila dibandingkan dengan karbon dioksida. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.

2.2.1 Sifat 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 karbon dioksida 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). Sifat-sifat metana pada karbondioksida dapat dilihat Tabel 2.

Tabel 2. Sifat-sifat Metana dan Karbon Dioksida

	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

Proses pembentukan biogasdi dalam digester disebut dengan fermentasi *anaerob* (pembusukkan tanpa oksigen). Proses fermentasi *anaerob* di dalam digester dibagi dalam 3 tahapan, yaitu:

- Hidrolisa merupakan perubahan zat organik menjadi bahan cairan mikroba oleh mikroba asam
- Asidifikasi adalah perubahan organik cair menjadi asam – asamorganikoleh mikroba asam
- Metanasi adalah perubahan asam organik menjadi metana,karbon dioksida, asam sulfida, nitrogen,dan sel-sel mikroba oleh mikrobametanasi.

Pada tahap pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari gula sederhana pada tahap ini akan ada beberapa golongan bakteri yang memegang peranan penting dalam proses terbentuknya biogas ini, yaitu:

a. Golongan bakteri pengguna selulosa

Bakteri-bakteri ini akan mengubah selulosa menjadi gula. Selulosa merupakan komponen terbesar penyusun bahan-bahan organik. pada kondisi anaerob akan menghasilkan karbondioksida, etanol panas.

b. Golongan bakteri pembentuk asam

Bakteri pembentuk asam ini aktif menguraikan substans-substans polimer kompleks, yaitu protein, karbohidrat, dan lemak menjadi asam-asam organik sederhana yaitu asam-asam butirat, propinat, laktat, asetat, dan alkohol. Pada kondisi anaerob, bakteri ini masih dapat berkembang biak dan aktif menguraikan bahan organik menjadi asam-asam organik. Tetapi tahap awal pada proses pembentukan biogas dalam digester, tahapan ini disebut juga tahap oksidagenik. Adapun jenis bakteri yang aktif memproduksi asam-asam tersebut adalah bakteri *Hethanobacterium Propiunicum* dan *Methanobacterium suboxydan*.

c. Golongan bakteri pembentuk gas metana

Kondisi anaerob merupakan kondisi yang sangat mendukung terjadinya proses pembentukan biogas, proses ini disebut juga *methanogenik*. Bakteri yang aktif dan memproduksi gas metana antara lain, *Methonobacterium Sohngeniei*, *Methonococcus Mozei*, *Methono Sarcina Methanica*. Bakteri pembentuk metana sangat sensitif terhadap pH, komposisi substansi dan temperatur. Apabila kadar pH di bawah 6.0 maka proses pembentukan metana akan terhenti dan tidak ada penurunan kandungan organik pada endapan.

2.2.2 Biogas Sebagai Energi Ramah Lingkungan

Sejak diperkenalkan pada tahun 1970-an, biogas banyak mengalami perkembangan dalam hal teknologi maupun jumlah yang terpasang. Pemanfaatan biogas umumnya ditujukan untuk memenuhi kebutuhan energi dan listrik rumah tangga, meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mengurangi masalah lingkungan akibat limbah peternakan, industri dan rumah tangga. Pemanfaatan biogas juga seringkali dipakai sebagai program atau proyek energi yang ramah lingkungan dengan mengukung pembangunan berkelanjutan sebagai salah satu persyaratan dari program tersebut, termasuk didalamnya adalah pembangunan

sosial ekonomi yang berkelanjutan. Penggunaan biogas juga menyadarkan masyarakat akan pentingnya menjaga lingkungan sekitar.

2.2.3 Manfaat Biogas Dalam Kehidupan Sehari-hari

Seperti yang anda ketahui biogas merupakan salah satu energi alternatif yang sangat bersih dan modern. Hal ini dikarenakan bahan bakar ini tidak menggunakan bahan bakar fosil. Adapun manfaat biogas lainnya yaitu :

1. Bahan Bakar Kendaraan

Hingga saat ini bahan bakar minyak masih menggunakan bahan bakar fosil. Akan tetapi bahan bakar fosil merupakan salah satu sumber energi tak terbarukan yang akan cepat habis jika digunakan secara terus-menerus. Oleh karena itu saat ini banyak sekali para ilmuwan yang mulai mengembangkan energi alternatif pengganti. Beberapa alasan mengapa biogas baik untuk bahan bakar kendaraan adalah lebih mudah untuk biaya operasional, ramah lingkungan dan tidak mempengaruhi kinerja dari kendaraan itu sendiri.

2. Pengganti Gas LPG

Sama halnya dengan BBM, harga gas LPG, sama halnya dengan BBM, harga gas LPG hingga saat ini juga terus mengalami kenaikan. Namun jangan khawatir, karena anda bisa menggantinya dengan biogas. Biogas yang diolah dengan baik akan dapat diandalkan sebagai pengganti gas LPG. Mengganti gas LPG dengan biogas juga akan berdampak pada tertekannya pada harga produksi, seperti usaha katering dan rumah makan, mengeluarkan biaya energi memasak lebih irit dan pengalihan dari LPG untuk keperluan rumah tangga lainnya.

3. Memanfaatkan Sampah Lingkungan

Manfaat biogas berikutnya adalah dapat membantu mengurangi sampah rumah tangga. Seperti yang kita ketahui pengolahan biogas dalam menggunakan jenis limbah apapun, yang penting biogas tersebut memanfaatkan jenis limbah yang dapat terurai. Efeknya lingkungan akan menjadi lebih bersih dan bebas sampah, menjauhkan diri dari penyakit, mengurangi lingkungan kumuh dan menghilangkan bau tidak sedap yang dihasilkan penumpukan sampah.

2.2.4 Potensi Pengembangan Biogas di Indonesia

Pemanfaatan biogas di Indonesia sebagai energi alternatif sangat memungkinkan untuk diterapkan di masyarakat, apalagi sekarang ini harga bahan bakar minyak yang makin mahal dan kadang-kadang langka keberadaannya. Besarnya potensi limbah biomassa padat diseluruh Indonesia adalah 49.807,43 MW. Biomassa seperti kayu, pertanian, perkebunan, dan limbah kotoran hewan sangat banyak dijumpai di seluruh provinsi Indonesia dengan kualitas yang berbeda-beda. Pada saat ini sebagai sumber bahan baku biogas tersedia secara melimpah dan belum dimanfaatkan secara maksimal (Fadly, Suparjo dkk. 2012). Secara umum, penggunaan limbah pertanian sebagai bahan dasar biogas lebih sulit dibandingkan kotoran ternak, waktu yang dibutuhkan untuk proses hidrolisis bahan selulosa dari limbah pertanian lebih lama.

Beberapa program telah dilaksanakan oleh pemerintah Indonesia untuk meningkatkan penggunaan teknologi biogas, seperti demonstrasi instalasi dan pelatihan mengoperasikan digester untuk masyarakat. Ditahun 1984, jumlah digester yang telah dibangun di Indonesia hanya 100 unit, sembilan tahun kemudian menjadi 350 unit. Peningkatan jumlah digester yang tidak signifikan ini disebabkan mahalnya biaya yang harus dikeluarkan untuk membangun instalasi digester. Teknologi ini sudah banyak digunakan oleh peternak sapi di daerah Boyolali sejak tahun 1990-an dan masih beroperasi sampai sekarang. Penelitian yang dilakukan pada tahun 2000 menghasilkan rancangan digester biogas yang terbentuk dari bahan plastik dan pada tahun 2005 rancangan tersebut dipasarkan dengan harga 1,5 juta rupiah per instalasi diharapkan juga akan meningkatkan minat para peternak untuk menggunakannya.

Penelitian terhadap teknologi pencernaan anaerobik yang lebih maju telah berlangsung dalam beberapa tahun ini. Penelitian tersebut dilakukan oleh perusahaan swasta, komunitas ilmiah, institusi perguruan, dan kerjasama antara industri dan pemerintah. Keuntungan pencernaan anaerobik sangat tergantung pada peningkatan proses yang lebih tinggi hasil biogas m^3 biomassa dan peningkatan derajat perombakan.

2.3 Potensi Kotoran Sapi

Kotoran sapi adalah limbah pencemaraan sapi. Sapi memiliki sistem pencernaan khusus yang menggunakan mikroorganisme dalam sistem pencernaan khusus yang menggunakan mikroorganisme dalam sistem pencernaan yang berfungsi untuk mencerna selulosa dan lignin dari rumput berserat tinggi, oleh karena itu kotoran sapi memiliki kandungan selulosa yang tinggi dan sangat cocok untuk diolah menjadi biogas karena kandungan selulosanya yang tinggi. Dengan mengolah limbah sapi menjadi biogas maka kita telah mengurangi pencemaran limbah dan menjaga lingkungan.

Kotoran sapi sangat cocok sebagai sumber penghasil biogas maupun sebagai biostarter dalam proses fermentasi, karena kotoran sapi tersebut mengandung bakteri penghasil gas metan yang terdapat dalam perut hewan.

Populasi hewan ternak sapi semakin meningkat setiap tahunnya, di Sumatera Selatan jumlah sapi sudah mencapai 216.277 ekor (Badan Pusat Statistik Sumatras Selatan, 2013). Produksi kotoran setiap ternak merupakan fungsi dari bobot badannya, ternak yang lebih besar memproduksi kotoran lebih banyak. Ternak dewasa yang makan hanya cukup untuk pemeliharaan tubuhnya akan mengeksresikan kotoran yang lebih sedikit secara proporsional. Sapi laktasi dan semua ternak bunting membutuhkan makanan lebih banyak dan umumnya memproduksi kotoran lebih banyak (Azevedo dan Stout, 1974).

Produksi limbah ternak diasumsikan dari proporsi bobot hidup ternak. Ternak babi akan menghasilkan limbah kurang lebih 3,6 % dari total bobot hidup, sapi 9,4 % dari total bobot hidup, domba 1,8 % untuk setiap bobot badan 50 kg, dan untuk sapi perah dengan bobot badan 500 kg akan menghasilkan limbah kurang lebih 47 kg/hari. Gangguan yang disebabkan oleh limbah peternakan meliputi gangguan estetika, lalat, bau, debu, dan bulu (Azevedo dan Stout, 1974), sehingga jika tidak dikelola dengan baik dapat mencemari perairan umum atau danau (Stafford et al, 1980). Komposisi kotoran sapi yang umumnya telah diteliti dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Kotoran Sapi

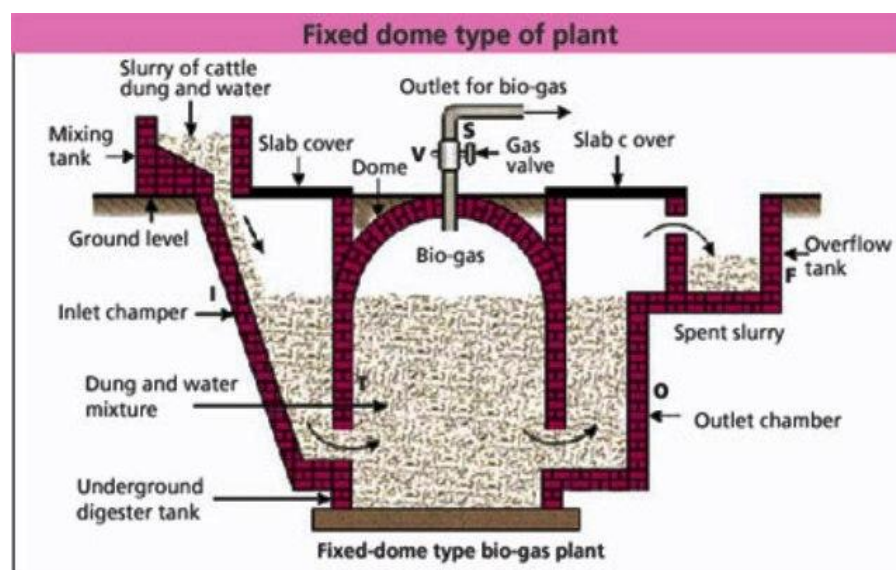
Senyawa	Persentase
Hemisellulosa	18,6 %
Selulosa	25,2 %
Lignin	20,2 %
Protein	14,9 %
Debu	13 %

Sumber : Candra, 2012

2.4 Tipe Reaktor Biogas

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.

2.4.1 Fixed Dome Digester



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

Gambar 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

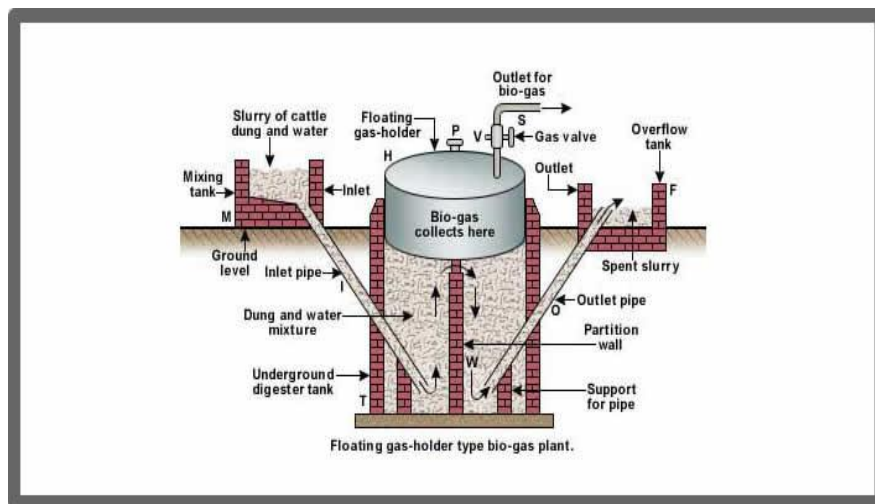
meningkat jika volume gas yang tersimpan bertambah. Hal ini ditandai dengan perbedaan ketinggian antara *slurry* di dalam digester tangki kompensasi. Jika ada sedikit gas di *gas holder* (tabung gas), maka tekanan gas rendah (Irvan Adhin, 2012).

Digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. Kelebihan dan Kekurangan <i>Fixed Dome Type</i>	
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/>

2.4.2 *Floating Drum Digester*



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

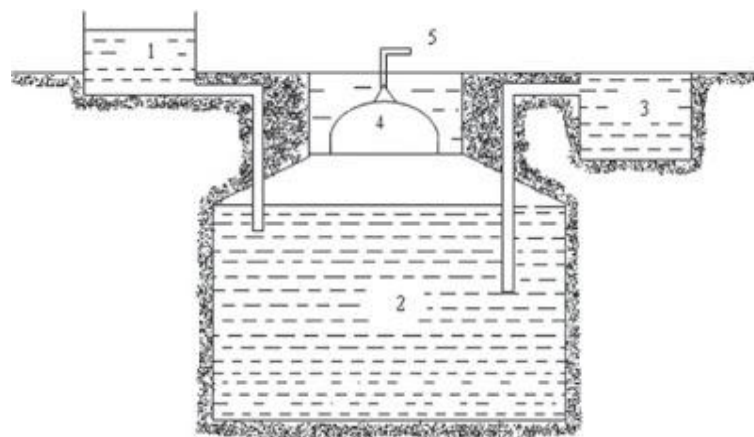
Gambar 2. *Floating Drum Digester*

Reaktor biogas tipe *floating drum* (drum mengapung) terdiri dari digester bawah tanah dan tabung gas di atasnya 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 (Irvan Adhin, 2012).

2.4.3 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 (Irvan Adhin, 2012).



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

Gambar 4. *Puxin Digester*

Gambar diatas memiliki keterangan gambar sebagai berikut.

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

Desain digester jika dilihat dari cara pengoperasian digester, ada dua desain digester yaitu:

1. *Continuous Feeding*

Proses pencernaan anaerobik dari limbah kotoran sapi memakan waktu sekitar 8 jam dalam temperatur hangat (35°C). Sepertiga biogas akan dihasilkan pada minggu pertama, seperempatnya pada minggu kedua dan sisanya akan dihasilkan pada minggu ketiga sampai kedelapan.

Produksi gas dapat dipercepat dan konsisten dengan memasukkan bahan baku secara kontinyu (*continuous feeding*) serta sejumlah kecil buangan proses setiap hari. Proses juga akan menyisakan nitrogen pada *slurry* buangan yang kemudian digunakan untuk pupuk. Hal yang perlu diperhatikan dalam sistem kontinyu adalah tangki harus cukup besar untuk menampung semua bahan yang terus menerus dimasukkan selama proses pencernaan berlangsung. Kondisi yang ideal untuk sistem ini yaitu menggunakan dua buah tangki digester, konsumsi limbah berlangsung dalam dua tahap, metan diproduksi pada tahap pertama dan tahap kedua dengan laju yang lebih lambat.

2. *Batch Feeding*

Umumnya didesain untuk limbah padatan seperti sayuran/hijauan. Desain yang tidak perlu pipa alir, tangki tunggal merupakan desain yang paling baik untuk digunakan. Tangki dapat dibuka dan *slurry* buangan proses dapat dikeluarkan dan digunakan sebagai pupuk kemudian bahan baku yang baru dimasukkan kembali. Tangki ditutup dan proses fermentasi diawali kembali. Tergantung dari jenis bahan limbah dan temperatur yang dipakai, sistem *batch* akan mulai berproduksi setelah minggu kedua sampai minggu keempat, laju peningkatan produksi menjadi lambat lalu menurun setelah bulan ketiga atau keempat. Sistem *batch* biasanya dibuat dalam beberapa set sekaligus sehingga paling tidak ada yang beroperasi dengan baik.

Limbah sayuran mempunyai rasio C : N yang tinggi dibandingkan dengan limbah kotoran ternak sehingga perlu ditambahkan limbah kotoran ternak sehingga perlu ditambahkan sumber nitrogen. Limbah sayuran menghasilkan biogas delapan kali lebih banyak dibandingkan limbah kotoran ternak.

2.5 Proses Pembentukan Biogas

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

1. Hidrolisis/Tahap Pelarutan

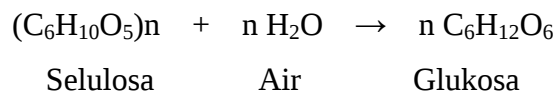
Pada tahap ini terjadi penguraian bahan – bahan organik mudah larut yang terdapat pada kotoran sapi dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer yang larut dalam air). Senyawa kompleks ini, antara lain protein,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

Protein → asam amino, dipecah oleh enzim protease

Selulosa → glukosa, dipecah oleh enzim selulase

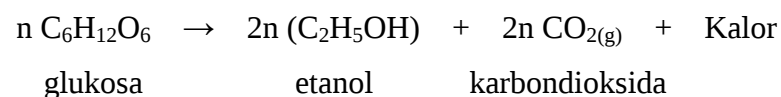
Lemak → asam lemak rantai panjang, dipecah oleh enzim lipase

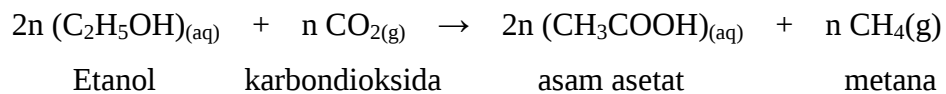
Reaksi selulosa menjadi glukosa adalah sebagai berikut :



2. Pengasaman/Asetogenesis

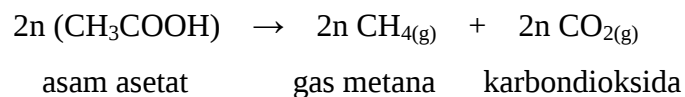
Pada tahap pengasaman, komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Monomer yang dihasilkan dari tahap hidrolisis akan didegradasi pada tahap ini. Pembentukan asam-asam organik tersebut terjadi dengan bantuan bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* (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, H₂, dan CO₂ oleh bakteri asetogenik (Drapcho et al., 2008). Pada fase ini, mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi H₂ dan CO₂ untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein et al., 2008).





3. Metanogenesis

Pada tahap metanogenesis, terjadi pembentukan gas metana. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini yang akan mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi gas metana dan karbondioksida. Bakteri yang berperan dalam proses ini, antara lain *Methanococcus*, *Methanobacillus*, *Methanobacterium*. Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob.



2.6 Faktor Pembentukan 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 :

1. 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°C), bakteri *Mesophilic* (15°-45°C), bakteri *Thermophilic* (45°C-65°C). Umumnya digester anaerob skala kecil yang terdapat di sekitar bekerja pada suhu antara 25°C-37°C, atau pada lingkungan tempat bakteri *Mesophilic* hidup.

2. 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 NH_4^+ dan HCO_3^- . Ion-ion ini akan menentukan besarnya pH (Tuti Haryati, 2006).

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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).

7. Nutrisi dan Penghambat bagi Bakteri Anaerob

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 Proses *Digester*

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 : Saragih, B. R., 2010

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 (Malina, 1992). Bakteri anaerobik membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung nitrogen, fosfor, magnesium, sodium, mangan, kalsium dan kobalt (Space and McCarthy, 1986).

Level nutrisi harus sekurang-kurangnya 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.

Selain karena konsentrasi mineral yang melebihi ambang batas di atas, polutan-polutan yang juga menyebabkan produksi biogas menjadi terhambat atau berhenti sama sekali ialah ammonia, antibiotik, pestisida, deterjen, dan logam-logam berat lainnya.

8. Rasio Carbon Nitrogen (C/N)

Proses anaerobik akan optimal bila diberikan bahan makanan yang mengandung karbon dan nitrogen secara bersamaan. Karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi sedangkan nitrogen dibutuhkan untuk membentuk struktur sel bakteri. *C/N ratio* menunjukkan perbandingan jumlah dari kedua elemen tersebut. Pada bahan yang memiliki jumlah karbon 15 kali dari jumlah nitrogen akan memiliki *C/N ratio* 15 berbanding 1. *C/N ratio* dengan nilai 30 ($C/N = 30/1$ atau karbon 30 kali dari jumlah nitrogen) akan menciptakan proses pencernaan pada tingkat yang optimum, bila kondisi yang lain juga mendukung. Bila terlalu banyak karbon, nitrogen akan habis terlebih dahulu. Hal ini akan menyebabkan proses berjalan dengan lambat. Bila nitrogen terlalu banyak (*C/N ratio* rendah; misalnya 30/15) maka karbon habis lebih dulu dan proses fermentasi berhenti. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme dari bakteri methanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20.

Bakteri fermentasi membutuhkan beberapa bahan gizi tertentu dan sedikit logam. Kekurangan salah satu nutrisi atau bahan logam yang dibutuhkan dapat memperkecil proses produksi metana. Nutrisi yang diperlukan antara lain ammonia (NH_3) sebagai sumber nitrogen, nikel (Ni), tembaga (Cu) dan besi (Fe) dalam jumlah yang sedikit. Selain itu, fosfor dalam bentuk fosfat (PO_4), magnesium (Mg) dan seng (Zn) dalam jumlah yang sedikit juga diperlukan. Tabel berikut adalah kebutuhan nutrisi bakteri fermentasi.

Tabel 6. Kebutuhan Nutrisi Bakteri Fermentasi

Bahan	Jumlah Kebutuhan (mg/g asetat)
NH ₄ -N	3,3
PO ₄ -P	0,1
S	0,33
Ca	0,13
Mg	0,018
Fe	0,023
Ni	0,004
Co	0,003
Zn	0,02

Sumber Komunitas Mahasiswa Sumber Energi 2013.

2.7 Green Phosko 7 (GP-7)

Bakteri anaerob dalam aktivator GP-7 hidup secara saprofit dan bernapas secara anaerob dimanfaatkan dalam proses pembuatan biogas. Bakteri saprofit yang ada di dalamnya hidup dan berkembang biak. Bakteri ini memecah persenyawaan organik dan menghasilkan gas metana CH₄, H₂S, N₂, H₂ dan CO₂. Dalam lingkungan mikro reaktor atau digester biogas yang sesuai kebutuhan bakteri ini kedap udara, material memiliki pH > 6, kelembaban 60 % dan temperatur > 30°C dan C/N ratio tertentu akan mengurai atau mendekomposisi semua biomassa termasuk jenis sampah dan bahan organik seperti limbah kota, pertanian, peternakan *feces* tinja dan lain lainnya dengan waktu yang cepat sekitar 5-20 hari. Biomassa dalam ukuran halus yang tekumpul dengan campuran air secara homogen (*slurry*) pada digester akan diuraikan dalam dua tahap dengan bantuan dua jenis bakteri. Tahap pertama, material organik akan didegradasi menjadi asam-asam lemah dengan bantuan bakteri pembentuk asam. Bakteri ini akan menguraikan sampah pada tingkat hidrolisis dan asidifikasi. Hidrolisis yaitu penguraian senyawa kompleks atau senyawa rantai panjang seperti lemak, protein, karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Sedangkan asidifikasi yaitu pembentukan asam dari senyawa sederhana. Setelah material organik berubah menjadi asam, maka tahap kedua dari proses anaerob adalah pembentukan gas metana dengan bantuan *arkhaebacteria* pembentuk metana seperti *methanococcus*, *methanosarcina* dan *methanobacterium*.



Sumber : [http:// http://kencanaonline.com/](http://kencanaonline.com/)

Gambar 4. Green Phoskko-7 (GP-7)

Kelebihan dari Green Phoskko (Gp-7)

- Untuk mempercepat proses dekomposisi (menghancurkan bahan organik),
- Menghilangkan bau busuk pada gas yang telah dihasilkan.
- Menekan pertumbuhan mikroba.

Biomassa dalam ukuran halus yang terkumpul dengan campuran air secara homogen (slurry) pada digester (reaktor) akan diuraikan dalam dua tahap dengan bantuan dua jenis bakteri. Tahap pertama, material organik akan didegradasi menjadi asam-asam lemah dengan bantuan bakteri pembentuk asam. Bakteri ini akan menguraikan sampah pada tingkat hidrolisis dan asidifikasi. Hidrolisis yaitu penguraian senyawa kompleks atau senyawa rantai panjang seperti lemak, protein, karbohidrat menjadi senyawa yang sederhana. Sedangkan asidifikasi yaitu pembentukan asam dari senyawa sederhana.

Proses ini memiliki kemampuan untuk mengolah biomassa (termasuk sampah atau limbah organik) yang keberadaanya melimpah dan tidak bermanfaat menjadi produk yang lebih bernilai. Pembuatan biogas dilakukan pada pengolahan limbah industri, limbah pertanian, dan limbah peternakan. Kandungan utama biogas adalah metana, karbondioksida, sebagian kecil gas lain (gas nitrogen, hidrogen, karbonmonoksida dan uap air).

Kandungan bakteri penghasil asam laktat (*Lactobacillus*) sebagai hasil penguraian glukosa dan karbohidrat lain yang bekerja sama dengan bakteri fotosintesis dan ragi. Peran asam laktat inilah yang menjadi bahan sterilisasi yang kuat dan menekan mikroorganisme berbahaya dan menguraikan bahan organik dengan cepat. Sementara ragi/ yeast memproduksi substansi yang berguna bagi tanaman dengan cara fermentasi. Substansi bioaktif yang dihasilkan oleh ragi berguna dalam pertumbuhan sel dan pembelahan akar, juga berperan dalam 20 perkembangbiakan mikroorganisme menguntungkan bagi Actinomycetes dan bakteri *Lactobacillus* (asam laktat).

Bakteri Actinomycetes merupakan mikroorganisme peralihan antara bakteri dan jamur yang mengambil asam amino dan mengubahnya menjadi antibiotik untuk mengendalikan patogen, menekan jamur dan bakteri berbahaya dengan cara menghancurkan khitin yaitu zat esensial untuk pertumbuhannya.

Kemampuan konsorsium mikroba Green Phosko sebagai Aktivator Organik sebagaimana diatas adalah menurunkan rasio C/N dalam cairan IPAL, yang awalnya tinggi (> 50) menjadi setara dengan C/N larutan. Dengan rasio antara karbohidrat dengan nitrogen rendah sebagaimana C/N tanah (< 20) maka bahan limbah menjadi dapat di uraikan.

Penambahan *mikroorganisme* ini tidak dapat menambah produksi biogas yang dihasilkan. Fungsi dari *mikroorganisme* ini hanya membantu proses mempercepat pembentukan metana sebagai aktivator. volume biogas yang besar itu dipengaruhi oleh kandungan organik yang terdapat di bahan baku. (Yuli,2016)

2.8 Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)

Pengertian *Total Solid Content* (TS) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses digester terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancur/pembusukkan material padatan limbah organik. TS juga mengindikasikan banyaknya padatan dalam bahan organik dan nilai TS sangat mempengaruhi lamanya pencernaan *digester* (HRT) bahan organik.

Volatile Solid (VS) merupakan bagian padatan (*total solid-TS*) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam

proses fermentasi limbah organik. Dalam pengujian skala laboratorium, berat saat bagian padatan bahan organik yang hilang terbakar (menguap dan mengalami proses gasifikasi) dengan pembakaran pada suhu 550°C, disebut sebagai *volatile solid* atau potensi produksi biogas atau disebut juga persentase *volatile solid* untuk beberapa bahan organik yang berbeda seperti diperhatikan pada tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Kandungan *Volatile Solid* 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 (<i>Water Hyacinth</i>)	0.05

Sumber : Adinda Putri, 2013

Dengan menggunakan nilai konsentrasi *volatile solid* maka dapat didapatkan kandungan metana didalam biogas dan juga dapat didapatkan volume biogas dengan 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 :

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

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

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

$$= \frac{V_g \text{ (volume gas metana, } \frac{m^3}{hari})}{V_R \text{ (volume total reaktor, } m^3)}$$

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 = *Hidraulic retention time*

K = Koefisien kinetik, tidak berdimensi

μ_m = Laju pertumbuhan spesifik maksimum dari mikroorganisme 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_{DS})

2.9 Gas metana

Metana merupakan gas dengan gugus alkana yang terbentuk oleh adanya ikatan kovalen antara empat atom H dengan satu atom C. Alkana secara umum mempunyai sifat sukar bereaksi (memiliki afinitas kecil) sehingga bisa juga disebut sebagai parafin. Sifat lain dari alkana mudah mengalami reaksi pembakaran sempurna dengan oksigen menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2).

Gas Metana memiliki unsur kimia CH_4 merupakan komponen utama dari biogas. Gas metana pada suhu ruangan dan tekanan standar, termasuk gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, gas ini sangat mudah terbakar tetapi hanya memiliki konsentrasi pada kisaran 5-15 % di udara. Sedangkan metana berbentuk cair hanya dapat dibakar apabila mengalami tekanan tinggi sekitar 4-5 atmosfer.

Pembentukan gas metana melibatkan mikroba yang sangat kompleks dan secara bertahap akan merombak bahan organik didalam limbah cair atau limbah padat hingga dihasilkan gas metana. Perombakan ini terjadi kondisi tanpa oksigen yang disebut juga kondisi anaerob. Mikroorganisme ini secara alami terdapat pada kotoran ternak terutama pada kotoran sapi.

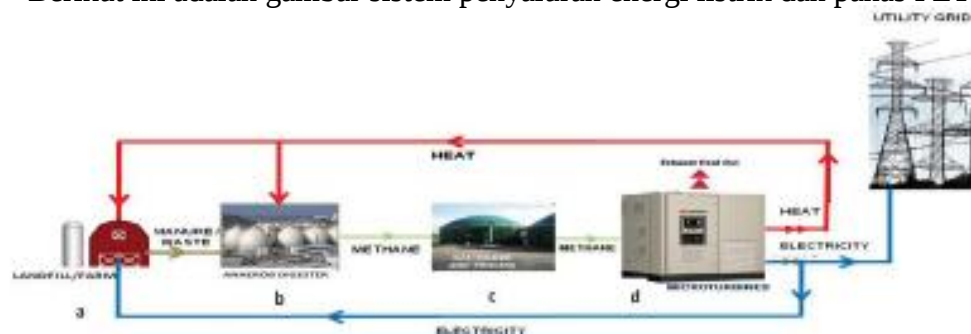
Kandungan karbon dan nitrogen merupakan sumber makanan utama bagi bakteri anaerob, sehingga pertumbuhan optimim bakteri sangat dipengaruhi oleh kedua unsur ini, dimana karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi dan nitrogen dibutuhkan untuk membentuk struktur sel bakteri.

2.10 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 ft^3 biogas yang setara dengan 6 kWh/m^3 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 (Adinda Putri, 2013).

Berikut ini adalah gambar sistem penyaluran energi listrik dan panas PLTB :



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

Gambar 5. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

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* juga terdapat dalam *feedstock* (Adinda Putri, 2013).

b. Tangki Pencernaan (*Digester*)

Digester merupakan tempat reaksi fermentasi anaerob limbah organik menjadi biogas. Berdasarkan bentuknya, reaktor biogas dapat dikategorikan menjadi tipe balon (*balloon type*), tipe kubah tetap (*fixed-dome type*), dan tipe kubah penutup (*floating-drum type*) Sedangkan berdasarkan proses pengolahan

limbahnya, 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 (Adinda Putri, 2013).

c. Katup penampung Gas (*Biogas Tank*)

Tangki penyimpanan biogas adalah tangki yang digunakan untuk menyimpan dan menyalurkan seluruh biogas hasil produksi dari biogas *digester*. Tangki ini dapat terbuat dari plastik, semen, ataupun baja *stainless steel* tahan karat yang dilapisi epoxy dan dilengkapi regulator pengukur tekanan gas. Untuk reaktor 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 (Adinda Putri, 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 25kW sampai dengan 400 kW (Adinda Putri, 2013).