

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Perkembangan Biogas

Sebelum kita masuk ke proses pembuatan biogas lebih baiknya kita ketahui dahulu bagaimana sejarah dan perjalannya sehingga bisa mendunia yang sering di sebut energi terbarukan, mari kita simak sedikit sejarah tentang 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 Pasteour 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. Negara adidaya seperti Amerika Serikat menunjukkan perhatian khususnya bagi perkembangan biogas. 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 relatif murah .

Biogas merupakan sebuah proses produksi gas bio dari material organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi material organik ini tanpa melibatkan oksigen disebut anaerobik digestion Gas yang dihasilkan sebagian besar (lebih 50 %) berupa metana. material organik yang terkumpul pada digester (reaktor) akan diuraiakan menjadi 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.

Setelah material organik berubah menjadi asam asam, maka tahap kedua dari proses anaerobik digestion adalah pembentukan gas metana dengan bantuan bakteri pembentuk metana seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, *methanobacterium*.

Perkembangan proses Anaerobik digestion telah berhasil pada banyak aplikasi. Proses ini memiliki kemampuan untuk mengolah sampah / limbah yang keberadaanya melimpah dan tidak bermanfaat menjadi produk yang lebih bernilai. Aplikasi anaerobik digestion telah berhasil pada pengolahan limbah industri, limbah pertanian limbah peternakan dan municipal solid waste. Namun penerapan instalasi digester biogas masih banyak kendala dan perkembangan teknologi biogas ini tergolong lambat. Dikarenakan pada penerapan biogas skala rumah tangga memerlukan biaya yang cukup besar untuk membangun instalasi biogas serta teknologi yang digunakan masih kurang maju dimana proses pembuatan biogas memerlukan waktu yang lama untuk mengasikkan serta beberapa kendala lainnya yaitu kekurangan *technical expertise*, reaktor biogas tidak berfungsi akibat bocor/ kesalahan konstruksi, desain tidak *user friendly*, membutuhkan penanganan secara manual (pengumpanan/ mengeluarkan lumpur dari reaktor) dan biaya konstruksi

yang mahal (Widodo dkk., 2006). Selain itu alasan sulit berkembangnya biogas di Indonesia disebabkan harga BBM yang relatif murah di Indonesia.

2.2 Biogas

Energi terbarukan lain yang dapat dihasilkan dengan teknologi tepat guna yang relatif lebih sederhana dan sesuai untuk daerah pedesaan adalah energi biogas dengan memproses limbah bio atau bio massa di dalam alat kedap udara yang disebut digester. Biomassa berupa limbah dapat berupa kotoran ternak bahkan tinja manusia, sisa-sisa panen seperti jerami, sekam dan daun-daunan sortiran sayur dan sebagainya. Namun, sebagian besar terdiri atas kotoran ternak.

Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), dan beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya hydrogen sulfida (H_2S) dan ammonia (NH_3) serta hydrogen dan (H_2), nitrogen yang kandungannya sangat kecil.

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. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu : Menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida (CO_2). Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang di ijinakan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar maka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulphur dioksida /sulphur trioksida (SO_2 / SO_3). senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk Sulphur acid (H_2SO_3) suatu senyawa yang lebih korosif. Parameter yang 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 penyalan biogas serta dapat menimbulkan korosif.

2.3 Potensi Kotoran Ternak Sebagai Sumber Energi

Pemanfaatan kotoran ternak sebagai sumber pupuk organik sangat mendukung usaha pertanian tanaman sayuran. Dari sekian banyak kotoran ternak yang terdapat di daerah sentra produksi ternak banyak yang belum dimanfaatkan secara optimal, sebagian di antaranya terbuang begitu saja, sehingga sering merusak lingkungan yang akibatnya akan menghasilkan bau yang tidak sedap.

Tabel 1. Kandungan Unsur Hara pada Pupuk Kandang yang Berasal dari Beberapa Ternak

Jenis ternak	Unsur hara (kg/ton)		
	N	P	K
Sapi perah	22,0	2,6	13,7
Sapi potong	26,2	4,5	13,0
Domba	50,6	6,7	39,7
Unggas	65,8	13,7	12,8

Sumber: <http://www.disnak.jabarprov.go.id/data/arsipl>

Satu ekor sapi dewasa dapat menghasilkan 23,59 kg kotoran tiap harinya. Pupuk organik yang berasal dari kotoran ternak dapat menghasilkan beberapa unsur hara yang sangat dibutuhkan tanaman, seperti terlihat pada Tabel 1. Disamping menghasilkan unsur hara makro, pupuk kandang juga menghasilkan sejumlah unsur hara mikro, seperti Fe, Zn, Bo, Mn, Cu, dan Mo. Jadi dapat dikatakan bahwa, pupuk kandang ini dapat dianggap sebagai pupuk alternatif untuk mempertahankan produksi tanaman.

Salah satu cara menentukan bahan organik yang sesuai untuk menjadi bahan masukan sistem biogas adalah dengan mengetahui perbandingan karbon (C) dan nitrogen (N) atau disebut rasio C/N. Beberapa percobaan yang telah dilakukan oleh ISAT menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme dari bakteri metanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20.

Limbah biogas, yaitu kotoran ternak yang telah hilang gasnya (*slurry*) merupakan pupuk organik yang sangat kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Bahkan, unsur-unsur tertentu seperti protein, selulose, lignin dan lain-lain ada di dalam *slurry* ini dan tidak dapat digantikan oleh pupuk kimia. Pupuk organik dari biogas telah dicobakan pada tanaman jagung, bawang merah dan padi.

Komposisi gas yang terdapat di dalam Biogas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Komposisi Gas yang Terdapat dalam Biogas

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

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

2.4 Konversi Kotoran Ternak ke Biogas

2.4.1 Proses Pembentukan Biogas

Kotoran ternak merupakan bahan baku potensial dalam pembuatan biogas karena mengandung pati dan lignoselulosa (Deublein et al., 2008). Biasanya, kotoran ternak dimanfaatkan sebagai pupuk dan sisanya digunakan untuk memproduksi gas metana menggunakan proses anaerob. Salah satu ternak yang kotorannya biasa dimanfaatkan sebagai pupuk dan bahan baku biogas adalah sapi. Kotoran sapi adalah biomassa yang mengandung karbohidrat, protein, dan lemak. Drapcho et al. (2008) berpendapat bahwa biomassa yang mengandung karbohidrat tinggi akan menghasilkan gas metana yang rendah dan CO₂ yang tinggi, jika dibandingkan dengan biomassa yang mengandung protein dan lemak dalam jumlah yang tinggi. Secara teori, produksi metana yang dihasilkan dari karbohidrat, protein, dan lemak berturut-turut adalah 0,37 ; 1,0 ; 0,58 m³ CH₄/kg bahan kering organik. Kotoran sapi mengandung ketiga unsur bahan organik tersebut sehingga dinilai lebih efektif untuk dikonversi menjadi gas metana (Drapcho et al., 2008).

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). Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi, terdiri atas N₂ (0,29%), P₂O₅ (0,17%), dan K₂O (0,35%) (Hardjowigeno, 2003). Kotoran sapi yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas (Sucipto, 2009).

Proses pembentukan biogas dilakukan secara anaerob, bakteri merombak bahan organik yang terdapat pada kotoran sapi yang telah dijelaskan diatas 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. Barnett *et al* menyatakan bahwa terdapat tiga keuntungan dari instalasi penghasil biogas yaitu:

1. Penggunaan bahan bakar yang lebih efisien
2. Menambah nilai pupuk
3. Menyehatkan lingkungan

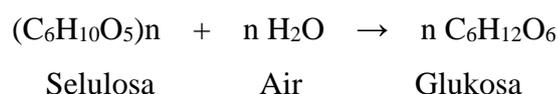
Proses perombakan bahan organik pada kotoran sapi secara anaerob yang terjadi di dalam digester terdiri dari 4 tahap proses yaitu hidrolisis, fermentasi (asidogenesis), asetogenesis, dan metanogenesis. Pembentukan Biogas melalui tiga tahap proses yaitu:

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. Pengasaman/Asetogenesis

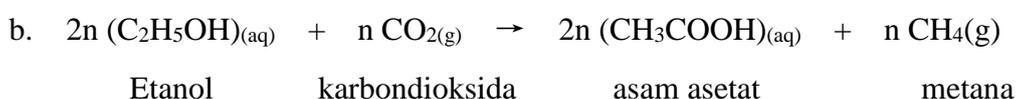
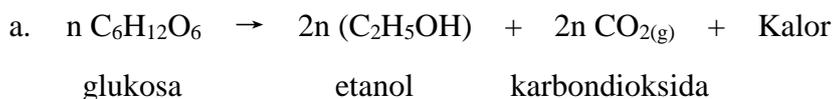
Pada tahap pengasaman, komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri

pembentuk asam. Produk akhir dari perombakan gula – gula sederhana tadi yaitu asam asetat, propionate, format, laktat, alkohol dan sedikit butir, gas karbondioksida, hidrogen dan ammonia. 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., 2012).

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., 2011). Pada fase ini, mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi H₂ dan CO₂ untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein et al., 2008).

Tahap asetogenesis berlangsung pada temperatur 25°C didalam digester (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi :



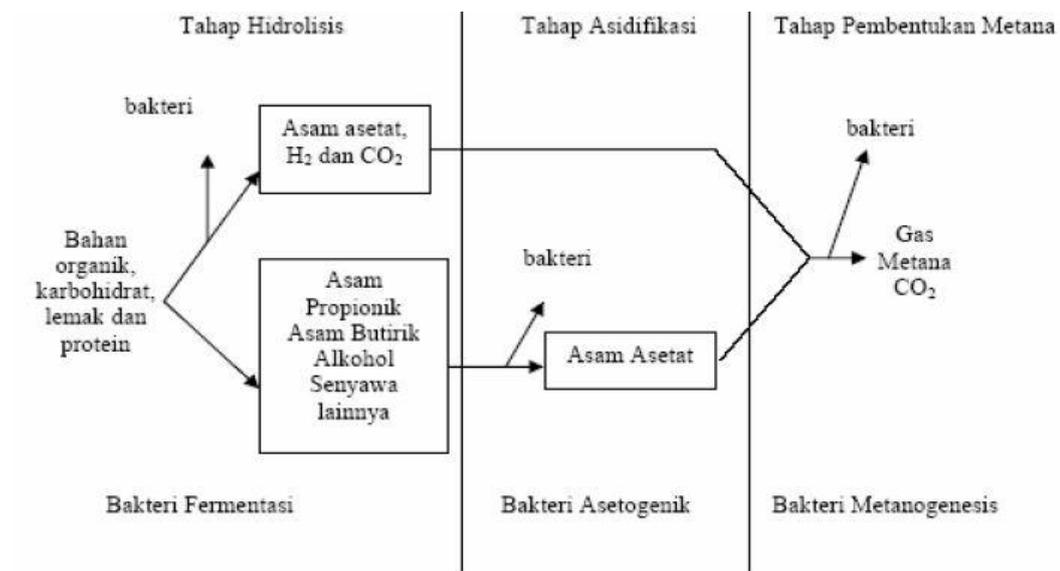
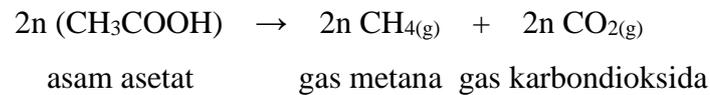
3. Metanogenesis

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*. Terbentuknya gas metana terjadi karena adanya reaksi dekarboksilasi asetat dan reduksi CO₂.

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 (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi :



Gambar 1. Tahapan Proses Pembentukan Biogas

Sumber : kajian-energi.blogspot.com

2.4.2 Parameter Proses Pembuatan Biogas

Laju proses pembuatan biogas sangat ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi mikroorganisme, diantaranya ialah temperatur, pH, salinitas dan ion kuat, nutrisi, inhibisi dan kadar toksisitas pada proses, serta konsentrasi padatan. 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 skemampuan 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 (Yunus, 2010).

3. 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 (Malina, 1992). Bakteri anaerobik membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung nitrogen, fosfor, magnesium, sodium, mangan, kalsium dan kobalt (Space and McCarthy, 1986). Di bawah ini tabel konsentrasi kandungan kimia mineral-mineral yang diizinkan yang terdapat dalam proses pencernaan/digestion limbah organik :

Tabel 3. Kandunga Kimia yang Diizinkan pada Proses *Digestion* 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

Metal	mg/Liter
Natrium	5500
Kalium	4500
Kalsium	4500
Magnesium	1500

Sumber : Saragih, B. R., 2010

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 sisa tanaman terkadang diberikan dengan tujuan menambah pertumbuhan di dalam digester (Gunerson and Stuckey, 1986).

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.

4. 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.

5. *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°C disebut *volatile solid*. Berikut ini adalah tabel persentase potensi produksi gas untuk beberapa bahan organik:

Tabel 4. Persentase Potensi Produksi Gas untuk Bahan Organik

Tipe Limbah Organik	Produksi Biogas per kg <i>waste</i> (m ³) (% VS)
Sapi (lembu/kerbau)	0.023-0.040
Babi	0.040-0.059
Ayam	0.065-0.116
Manusia	0.020-0.028
Sampah sisa panen	0.037
Air bakau (water hyacinth)	0.045

Sumber : Saragih, B. R., 2010

6. Penentuan Kadar Metana Dengan BMP (*Biochemical Methane Potential*)

Uji BMP ditunjukkan untuk mengukur gas metana yang dihasilkan selama masa inkubasi secara anaerob pada media kimia. Uji BMP dilakukan dengan cara menempatkan cairan contoh, inokulan (biakan bakteri anaerob) dan media kimia dalam botol serum. Botol serum ini, diinkubasi pada suhu 35°C, lalu pengukuran dilakukan selama masa inkubasi secara periodik (biasanya setiap 5 hari), sehingga pada akhir masa inkubasi (hari ke-30) didapatkan akumulasi gas metana. Pengukuran dilakukan dengan memasukkan jarum suntik (metode *syringe*) ke botol serum.

7. 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. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan rasio C/N beberapa material organik yang umum digunakan:

Tabel 5. 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. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

Banyak cara untuk memurnikan biogas, diantaranya dengan cara *Physical Absorption* (pemasangan *water trap* di pipa biogas), *Chemical Absorption*, pemisah membran permeabel, hingga penyemprotan air atau oksigen untuk mengikat senyawa sulfur atau karbondioksida. Bila biogas digunakan untuk bahan bakar kendaraan atau karbondioksida, gas H₂S yang berpotensi menyebabkan karat pada komponen mesin harus dibuang melalui peralatan penyaring/filter sulfur.

2.5 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) pembakarannya dapat diperoleh dari Tabel 6 berikut (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Tabel 6. 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 Metan (CH ₄)	8851,43	13265,91	7973,13	11953,76
Natural Gas	9165,55	12943,70	8320,18	11749,33

Sumber : Price dan Cheremisinoff, 1981

Pada biogas dengan kisaran normal yaitu 60-70% metana dan 30-40% karbondioksida, nilai kalori antara 20 – 26 J/cm³. Nilai kalori bersih dapat dihitung dari persentase metana seperti berikut (Meynel, 1976) :

$$Q = k \times m$$

Dimana :

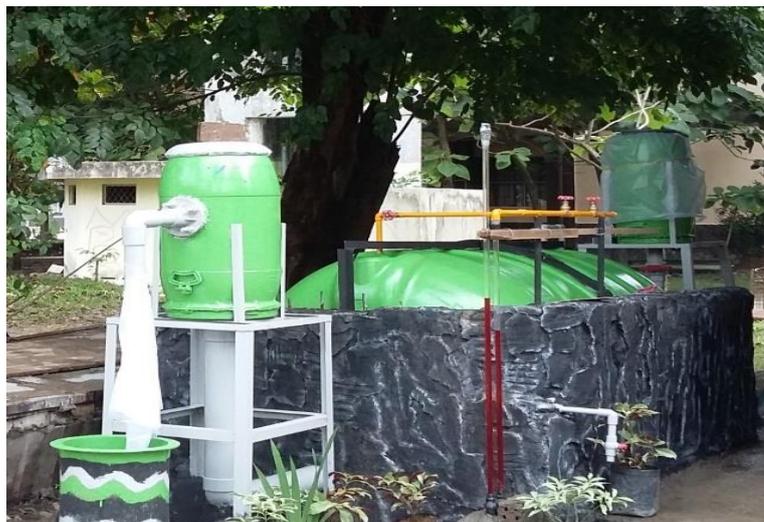
Q = Nilai kalor bersih (joule/cm³)

k = Konstanta (0,33)

m = Persentase metana (%)

2.6 Digester Biogas

Digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas CH₄ dan CO₂. Digester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan dengan baik.



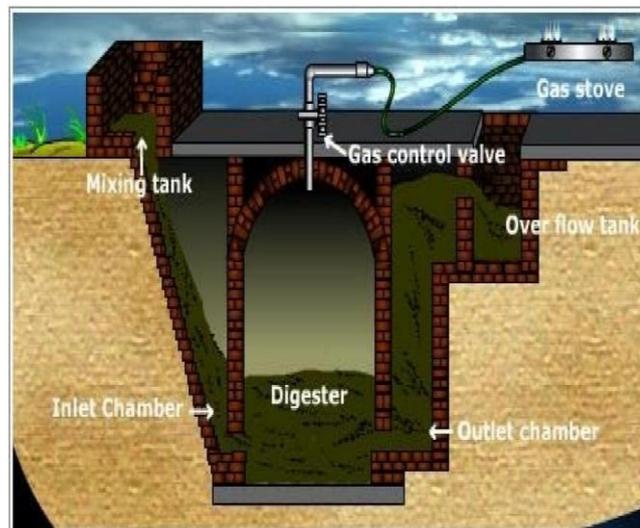
Gambar 2. Digester tipe Fixed Dome Biogas
Sumber : Laboratorium Teknik Energi, 2016

2.6.1 Jenis-jenis Digester Biogas

Terdapat beberapa jenis digester yang dapat dilihat berdasarkan konstruksi, jenis aliran, dan posisinya terhadap permukaan tana. Jenis digester yang dipilih dapat didasarkan pada tujuan pembuatan digester tersebut. Hal yang penting adalah apapun yang dipilih jenisnya, tujuan utama adalah mengurangi kotoran dan menghasilkan biogas yang mempunyai kandungan CH_4 tinggi. Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi:

1. Reaktor kubah tetap (*Fixed Dome*)

Digester jenis ini mempunyai Volum tetap. Seiring dengan dihasilkannya biogas, terjadi peningkatan tekanan dalam digester. Karena itu, dalam konstruksinya digester jenis kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor. Indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan. Skema digester jenis kubah dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Digester Tipe *Fixed Dome*

Sumber : <http://andrew.getux.com/2015>

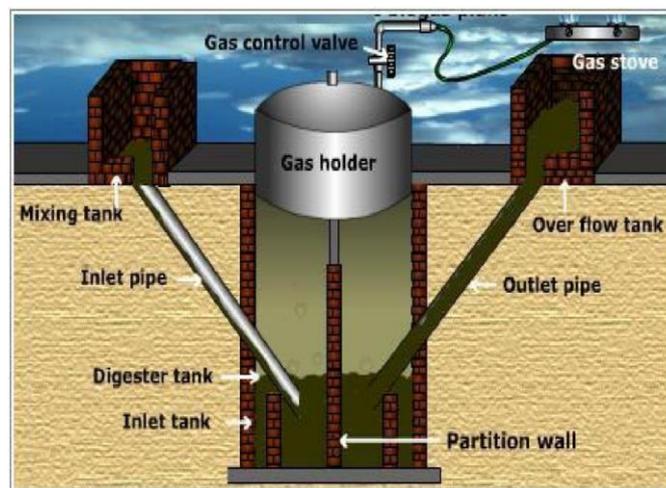
Digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Kelebihan dan Kekurangan Digester Jenis Kubah Tetap

Kelebihan	Kekurangan
<ol style="list-style-type: none"> 1. Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah. 2. Biaya konstruksi rendah. 3. Tidak ada bagian yang bergerak. 4. Dapat dipilih dari material yang tahan karat. 5. Umurnya panjang. 6. Dapat dibuat didalam tanah sehingga menghemat tempat. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagian dalam digester tidak terlihat (khususnya yang dibuat di dalam tanah) sehingga kebocoran tidak terdeteksi. 2. Tekanan gas berfluktuasi dan bahkan fluktuasinya sangat tinggi.

Sumber : <http://andrew.getux.com/2008>

2. *Floating Dome* (Kubah Apung)



Gambar 4. Digester Tipe *Floating Dome* (Kubah Apung)

Sumber : <http://andrew.getux.com/2015>

Pada digester tipe ini terdapat bagian yang reaktor yang dapat bergerak seiring dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian kubah dapat dijadikan indikasi bahwa produksi biogas sudah mulai atau sudah terjadi. Bagian yang bergerak juga berfungsi sebagai pengumpul biogas. Dengan model ini, kelemahan tekanan gas yang berfluktuasi pada reaktor biodigester jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan gas menjadi konstan. Kelemahannya adalah membutuhkan teknik khusus untuk membuat tumpangan gas bergerak seiring naik atau turunnya produksi biogas. Kelemahan lainnya adalah material dari tumpangan gas yang dapat

bergerak harus dipilih yang mempunyai sifat tahan korosi, hal tersebut menyebabkan harganya relatif lebih mahal.

3. Reaktor balon

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisiensi dalam penanganannya dan perubahan tempat biogas. Reaktor ini terdiri dari suatu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpanan gas masing-masing bercampur dalam suatu ruangan tanpa sekat. Material organik terletak dibagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas.



Gambar 5. Reaktor balon
(Sumber : shodikin,2011)

4. Reaktor Dari Bahan *Fiber Glass*

Reaktor bahan *fiberglass* merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan *fiberglass* sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor ini terdiri dari satu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpanan gas masing-masing bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat. Reaktor dari bahan *fiberglass* ini sangat efisien karena sangat kedap, ringan dan kuat. Jika terjadi kebocoran mudah diperbaiki atau dibentuk kembali seperti semula, dan yang lebih efisiennya adalah

reaktor dapat dipindahkan sewaktu-waktu jika peternak sudah tidak menggunakannya lagi.



Gambar 6. Reaktor bahan fiber glass
(Sumber : Shodikin, 2011)

Berdasarkan aliran bahan baku untuk reaktor biogas, digester dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Bak (*Batch*)

Pada digester tipe bak, bahan baku ditempatkan di dalam suatu wadah atau bak dari sejak awal hingga selesainya proses digestion. Digester jenis ini umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil.

2. Mengalir (*continuous*).

Untuk digester jenis mengalir, aliran bahan baku dimasukkan dan residu dikeluarkan pada selang waktu tertentu. Lamanya bahan baku berada dalam reaktor digester disebut waktu retensi (*retention time/RT*).

Berdasarkan segi tata letak penempatan, digester dibedakan menjadi:

a. Seluruh digester diatas permukaan tanah

Biasanya digester jenis ini dibuat dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah Volum yang kecil, sehingga biogas yang dihasilkan hanya mampu digunakan untuk kebutuhan sebuah rumah tangga. Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi sehingga tidak tahan lama. Untuk skala yang besar, digester jenis ini juga memerlukan luas lahan yang besar juga.

b. Sebagian tangki biogas diletakkan dibawah permukaan tanah.

Digester ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil dan kapur yang dibentuk seperti sumur dan ditutup dari plat baja atau konstruksi semen. Volum tangki dapat dibuat untuk skala besar ataupun skala kecil sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu dingin (rendah) suhu dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke bahan baku biogas, sehingga memperlambat proses bekerjanya bakteri, seperti diketahui bakteri akan bekerja optimum pada rentang temperatur tertentu saja.

c. Seluruh tangki digester diletakkan dibawah permukaan tanah.

Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi digester dibuat di dalam tanah dengan konstruksi permanen. Selain dapat menghemat tempat lahan, pembuatan digester di dalam tanah juga berguna mempertahankan suhu digester stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri methanogen. Kekurangannya jika terjadi kebocoran gas dapat menyulitkan untuk memperbaikinya.

2.6.2 Komponen Utama Digester

Komponen-komponen digester cukup banyak dan bervariasi. Komponen yang digunakan untuk membuat digester tergantung dari jenis digester yang digunakan dan tujuan pembangunan digester. Secara umum komponen digester terdiri dari empat komponen utama sebagai berikut:

1. Saluran masuk *slurry* (bahan organik).

Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* (campuran sampah organik dan air) kedalam reaktor utama biogas. Tujuan pencampuran adalah untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan mengallirkan bahan baku dan menghiindari endapan pada saluran masuk.

2. Ruang *digestion* (Ruang fermentasi)

Ruangan digestion berfungsi tempat terjadinya fermentasi anaerobik dan dibuat kedap udara. Ruangan ini dapat juga dilengkapi dengan penampung biogas.

3. Saluran keluar residu (*Sludge*)

Fungsi saluran ini adalah untuk mengeluarkan kotoran (*Sludge*) yang telah mengalami fermentasi anaerobik oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan hidrostatik. Residu yang keluar pertama kali merupakan slurry masukan yang pertama setelah waktu retensi. *Slurry* yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

4. Tangki penyimpanan biogas

Tujuan dari tangki penyimpanan biogas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik. Jenis tangki penyimpanan biogas ada dua, yaitu tangki bersatu dengan unit digester *fixed dome* dan terpisah dengan *digester floated dome*. Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang dihasilkan dalam tangki seragam.

2.6.3 Komponen Pendukung Digester

Selain empat komponen utama tersebut di atas, pada sebuah digester perlu ditambahkan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas dalam jumlah banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung adalah:

1. Katup Pengaman Tekanan (*control valve*)

Fungsi dari katup pengaman adalah sebagai pengaman digester dari lonjakan tekanan biogas yang berlebihan. Bila tekanan dalam tabung penampung biogas lebih tinggi dari tekanan yang diijinkan, maka biogas akan dibuang keluar. Selanjutnya tekanan dalam digester akan turun kembali. Katup pengaman tekanan cukup penting dalam reaktor biogas yang besar dan sistem kontinu, karena umumnya digester dibuat dari material yang tidak tahan tekanan yang tinggi supaya biaya konstruksi digester tidak mahal. Semakin tinggi tekanan di dalam digester, semakin rendah produksi biogas di dalam digester terutama pada proses *Hidrolisis* dan *acidifikasi*. Selalu pertahankan tekanan diantara 1,15-1,2 bar di dalam digester.

2. Sistem Pengaduk

Pada digester yang besar sistem pengaduk menjadi sangat penting. Tujuan dari pengadukan adalah untuk menjaga material padat tidak mengendap pada dasar digester. Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam digester dan temperatur teraga merata diseluruh bagian. Dengan penadukan potensi material mengendap di dasar digester semakin kecil, konsentrasi merata dan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami prose fermentasi anaerob secara merata. Selain itu dengan pengadukan dapat mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju ke bagian penampung biogas. Pengadukan dapat dilakukan dengan:

- a. Pengadukan mekanis, yaitu dengan menggunakan poros yang dibawahnya terdapat semacam baling-baling dan digerakkan dengan motor listrik secara berkala.
- b. Mensirkulasi bahan dalam digester dengan menggunakan pompa dan dialirkan kembali melalui bagian atas digester.

Pada saat melakukan proses pengadukan hendaknya dilakukan dengan pelan. Sebagaimana diketahui bahwa tumbuhnya bakteri membutuhkan media yang cocok. Media yang terbentuk dari bahan organik secara alami dan membutuhkan waktu tertentu sehingga pengadukan yang terlalu cepat dapat membuat proses fermentasi anaerobik justru terhambat.

3. Saluran biogas

Tujuan dari saluran biogas adalah untuk mengalirkan biogas yang dihasilkan digester. Bahan untuk saluran gas disarankan terbuat dari polimer untuk menghindari korosi. Untuk pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar, pada ujung saluran pipa dapat disambung dengan pipa yang terbuat dari logam supaya tahan terhadap temperatur pembakaran yang tinggi.

Biogas yang dihasilkan dari bio-digesti tergantung pada komposisi substrat, jenis substrat, waktu retensi (fermentasi) dan kondisi biodigester. Komposisi rata-rata biogas dapat dilihat pada Tabel 8. Sebelum digunakan, komposisi biogas harus diketahui terlebih dahulu. Hal ini karena adanya bahaya dari keberadaan hidrogen sulfida, terutama ketika biogas digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin

pembakaran internal. H₂S bersifat korosif sehingga dapat mengakibatkan karat pada peralatan logam.

Tabel 8. Komposisi Rata-Rata Biogas Dari Berbagai Limbah/Sisa Organik

Gases	Percentage (%)
Methane (CH ₄)	40-75
Carbon Dioxide (CO ₂)	25-40
Nitrogen (N ₂)	0.5-2.5
Oxygen (O ₂)	0.1-1
Hydrogen Sulphide (H ₂ S)	0.1-0.5
Ammonia (NH ₃)	0.1-0.5
Carbon Dioxide (CO)	0-0.1
Hydrogen (H ₂)	1-3

Sumber : perpustakaancyber.blogspot.com

2.7 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Effisiensi Digester

Aktivitas metabolisme mikroorganisme penghasil metana tergantung pada faktor:

- **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*).

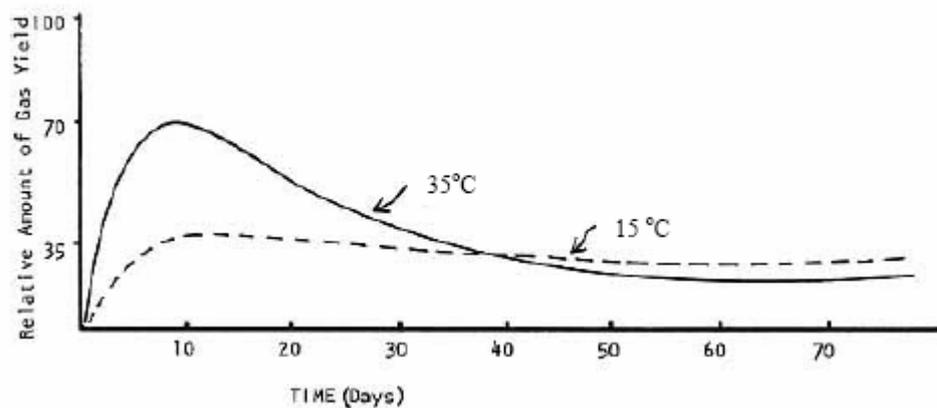
Temperatur yang optimal untuk digester adalah temperatur 30 – 35°C, kisaran temperatur ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi metana di dalam digester dengan lama proses yang pendek. Temperatur yang tinggi/range thermophilic jarang digunakan karena sebagian besar 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 5 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 7. Perbandingan Tingkat Produksi Gas Pada 15°C dan 35°C

Sumber : 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, 2011*).

Sangat penting untuk menjaga temperatur tetap stabil apabila temperatur tersebut telah dicapai. Panas sangat penting untuk meningkatkan temperatur bahan yang masuk kedalam biodigester dan untuk mengganti kehilangan panas dari permukaan biodigester. Kehilangan panas pada biodigester dapat diatasi dengan meminimalkan kehilangan panas dari bahan. Misalnya, Sampah segar memiliki temperatur 35°C. Apabila jarak waktu antara memasukkan sampah dan biodigester dapat waktu diminimalkan, kehilangan panas dari sampah dapat dikurangi dan panas yang dibutuhkan untuk mencapai 35°C lebih sedikit.

- **Derajat Keasaman**

Faktor pH sangat berperan pada dekomposisi anaerob karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian. Pada akhirnya kondisi ini dapat menghambat perolehan gas metana. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8-7,8 (Simamora dkk, 2006).

Pertumbuhan bakteri penghasil gas metana akan baik bila pH bahan berada pada keadaan (basa) yaitu 6,5 sampai 7. Nilai pH terbaik untuk suatu digester yaitu sekitar 7,0. Apabila nilai pH di bawah 6,5, maka aktivitas bakteri metanogen akan menurun dan apabila nilai pH di bawah 5,0, maka fermentasi akan terhenti (Yani dan Darwis, 1990). Bila proses fermentasi berlangsung dalam keadaan normal dan anaerobik, maka pH akan secara otomatis berkisar antara 7 – 8,5. Jika pH lebih tinggi dari 8,5 akan mengakibatkan pengaruh yang negatif pada populasi bakteri metanogen, sehingga akan mempengaruhi laju pembentukan biogas dalam digester.

Di dalam digester biogas, terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan, yakni bakteri asidogenik dan bakteri metanogenik. Kedua jenis bakteri ini perlu eksis dalam jumlah yang berimbang. Bakteri-bakteri ini memanfaatkan bahan organik dan memproduksi metan dan gas lainnya dalam siklus hidupnya pada kondisi anaerob. Mereka memerlukan kondisi tertentu dan sensitif terhadap lingkungan mikro dalam reaktor seperti temperatur, keasaman dan jumlah material

organik yang akan dicerna. Terdapat beberapa spesies metanogenik dengan berbagai karakteristik. Bakteri ini mempunyai beberapa sifat fisiologi yang umum, tetapi mempunyai morfologi yang beragam seperti *Methanomicrobium*, *Methanosarcina*, *Metanococcus*, dan *Methanothrix* (Haryati, 2006).

- **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 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*).

- **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 2 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.

- **Jenis Bakteri**

Hal yang berpengaruh pada produksi dan efisiensi digester biogas yaitu bakteri-bakteri pembentuk asam dan bakteri pembentuk gas metana. Bakteri ini memecah bahan organik menjadi asam-asam lemak. Asamasam lemak hasil penguraian oleh bakteri asam kemudian diuraikan lebih lanjut menjadi biogas oleh bakteri metana. Jenis-jenis bakteri ini sudah terdapat dalam kotoran-kotoran hewan yang digunakan.

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 bahanbahan 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 CH₄, H₂S, N₂, H₂ dan CO₂.



Gambar 8. Bakteri *Green Phoskko 7 (GP7)*

Sumber : www.kencanaonline.com

Kelebihan dari *Green Phoskko (Gp-7)*

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

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 derajat Celcius dan C/N ratio tertentu) akan mengurai atau mendekomposisi semua biomassa termasuk jenis sampah dan bahan organik (limbah kota, pertanian, peternakan, feces tinja, kotoran hewan dan lain-lainnya) dengan cepat, hanya 5 sampai 20 hari.

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.

Setelah material organik berubah menjadi asam-asam, maka tahap kedua dari proses anaerob adalah pembentukan gas metana dengan bantuan Arkhaebakteria pembentuk metana seperti *Methanococcus*, *Methanosarcina*, dan *Methanobacterium*.

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 perkembangbiakan mikroorganisme menguntungkan bagi *Actinomyces* dan bakteri *Lactobacillus* (asam laktat).

Bakteri *Actinomyces* 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 Activator 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.

Dosis dalam aplikasi *green phosko*® adalah untuk 1 kg *Green*

Phoskko®/pengurai bahan organik (limbah kota, pertanian, peternakan dan lainlainnya) dapat digunakan untuk mendaur ulang sampah organik sekitar 3 m³ atau setara berat 1 ton (<http://kencana-online.indonetwork.co.id>).

- **Pengadukan 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.

2.7.1 Menghitung Effisiensi Alat Digester dan Persen Rendemen

Untuk menghitung % Efisiensi Alat dan % Rendemen biogas digunakan persamaan :

$$\text{Effisiensi alat \%} = \frac{\text{Massa Biogas Praktek (Kg)} \times 100}{\text{Massa Biogas Teori (Kg)}}$$

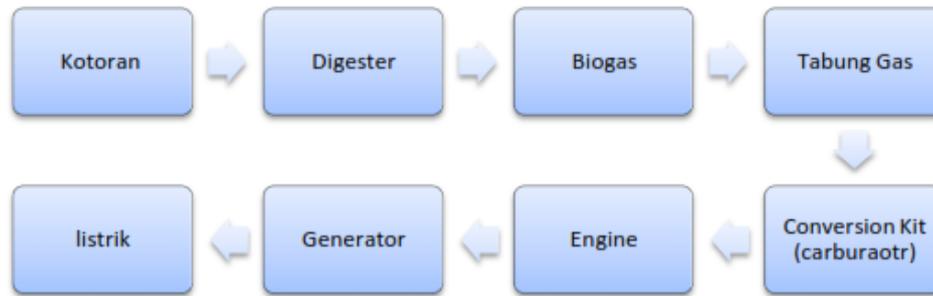
(Batin E. Tuwuilu,2012)

$$\text{Rendemen \%} = \frac{\text{Massa Biogas} \times p \text{ Biogas}}{\text{Jumlah bahan baku Kg}} \times 100$$

(Batin E. Tuwuilu,2012)

2.8 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 (setara dengan 0.028 m³) biogas menghasilkan energi panas sebesar 10 Btu (2.25 kcal) 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. 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 metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban, dan ketersediaan dana.



Gambar 9. Alur diagram dari kotoran menjadi listrik

Pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Energi mekanik yang diperlukan untuk menggerakkan generator di dapatkan dari mesin penggerak atau yang sering di gunakan yaitu : mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas.

Jadi sesungguhnya mesin penggerak melakukan penggerakan energi primer menjadi energi mekanik, penggerak energi mekanik akan di kopel ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar dan sebagai sumber energi alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga listrik, biogas menghasilkan energi panas pada pembakaran dengan kesetaraan 1 kaki kubik ($0,028 \text{ meter}^3$) biogas menghasilkan energi panas sebesar 10 Btu (2,25 kkal) dan dapat dilihat di nilai kesetaraan biogas dengan sumber energi lainnya pada Tabel 9 Nilai kesetaraan biogas dengan energi lain.

Tabel 9. Nilai Kesetaraan Biogas dan Energi Lainnya

Aplikasi	1 m ³ Biogas setara dengan
1 m ³	Elpii 0,46
	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

Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan generator yang di modifikasi. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas.