

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil biogas. Salah satunya yaitu perbandingan komposisi kotoran hewan ruminansia dengan air yang pernah dilakukan oleh Tarigan (2009). Penelitian dilakukan dengan variasi pengenceran kotoran sapi sebagai substrat dengan air 1 : 2 dan 1 : 4 terhadap produksi biogas pada digester bervolume 19 liter yang dipertahankan stabil pada temperatur 35°C selama rentang waktu 15 – 20 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi pengenceran 1 : 4 menghasilkan produksi biogas lebih tinggi daripada pengenceran 1 : 2 yaitu sebesar 122 – 305 mL dengan kandungan metana 64,34% dan karbondioksida sebesar 35,66%.

Variasi perbandingan kotoran hewan ruminansia dengan jumlah kandungan air yang berbeda juga pernah diteliti oleh Triyatno (2010). Triyatno meneliti pengaruh perbandingan kandungan kotoran sapi dengan air terhadap produktivitas biogas pada digester bersekat. Penelitian dilakukan dengan perbandingan kandungan kotoran sapi dan air sebesar 1:1,1, 1:1,2, 1:1,3, 1:1,4 pada suhu ruang tanpa pemanasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah kandungan air yang berbeda akan menghasilkan tekanan gas yang berbeda pula, karena pada jumlah kandungan air tertentu menyebabkan bakteri mudah berkembangbiak sehingga proses fermentasi berlangsung lancar. Perbandingan kotoran sapi dengan air 1:1,1 menghasilkan produktivitas gas sebesar 0,033121 kg/m³/jam, perbandingan 1:1,2 sebesar 0,033427 kg/m³/jam, perbandingan 1:1,3 sebesar 0,033465 kg/m³/jam, dan perbandingan 1:1,4 sebesar 0,033210 kg/m³/jam. Produktivitas gas yang maksimal pada perbandingan kotoran sapi dengan air 1:1,3.

Adapun penelitian lain seperti yang pernah diteliti oleh Yusuf, et.al (2011) tentang pengaruh perbandingan substrat kotoran sapi dan kuda terhadap produktivitas biogas pada digester anaerob. Variasi perbandingan kotoran kuda

dan sapi adalah (100% kotoran kuda , 75% kotoran kuda : 25% kotoran sapi, 50% kotoran kuda : 50% kotoran sapi , 25% kotoran kuda : 75% kotoran sapi dan 100% kotoran sapi), temperatur fermentasi pada temperatur lingkungan antara 28°-33°C. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi biogas tertinggi dengan pencapaian waktu fermentasi optimum dihasilkan dari perbandingan campuran 75% kotoran kuda : 25% kotoran sapi, selanjutnya perbandingan campuran 100% kotoran kuda, dan diikutinya 50% kotoran kuda : 50% kotoran sapi.

Dari penelitian-penelitian sebelumnya menggunakan kotoran sapi sebagai substrat untuk menghasilkan biogas. Pada penelitian ini, akan menggunakan limbah kotoran hewan ruminansia yaitu kotoran kuda sebagai substrat pada kondisi *mesophilic* (35°C) dengan perbandingan kotoran kuda dengan air (1:1, 1:2, 1:3).

2.2 Biogas

Penelitian untuk menghasilkan biogas melalui proses *anaerobic digestion* diawali di benua eropa. Avogadro mengidentifikasi tentang gas metana. Setelah tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses *anaerobic digestion*. Pada tahun 1884, Pasteour melakukan penelitian biogas dengan memanfaatkan limbah ternak dengan menggunakan kotoran ternak sebagai substrat. Era penelitian pasteour menjadi landasan untuk penelitian biogas hingga kini.

Biogas merupakan bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari penguraian bahan-bahan organik oleh bakteri anaerobik dalam lingkungan bebas oksigen. Biogas merupakan salah satu jenis energi yang berasal dari jenis bahan buangan atau bahan sisa misalnya, sampah organik, limbah rumah tangga, kotoran ternak, dan bahan organik lainnya. Biogas memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan udara. Suhu pembakaran biogas antara 650°C – 750°C. Apabila dibakar, akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG (Wahyuni, 2011). Biogas umumnya dimanfaatkan untuk memasak, sumber energi untuk menyalakan lampu dan untuk berbagai aplikasi lainnya.

2.2.1 Komposisi Biogas

Komposisi dari biogas tergantung dari beberapa faktor seperti bahan baku (kotoran hewan) yang digunakan dan temperatur pada proses fermentasi. Komposisi biogas secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi biogas

Jenis Gas	Kandungan (%)
Metana (CH_4)	55 - 75
Karbon dioksida (CO_2)	25 - 45
Nitrogen (N_2)	0 - 0.3
Hidrogen (H_2)	1 - 5
Hidrogen sulfida (H_2S)	0 - 3
Oksigen (O_2)	0.1 - 0.5

Sumber : Kusrijadi, (2009)

Komponen terbesar biogas adalah gas metana (55-75%). Gas metana merupakan komponen terpenting dalam biogas karena memiliki nilai kalor yang cukup tinggi diproduksi oleh bakteri pembusuk dengan cara menguraikan bahan-bahan organik. Bakteri pembusuk tersebut adalah bakteri metanogenesis. Bakteri metanogenesis terdapat di rawa-rawa, sumber air panas, dan perut hewan herbivora (ruminansia) seperti sapi, kuda, domba, dan kerbau.

Semakin tinggi kandungan metana dalam bahan bakar, semakin besar kalori yang dihasilkan. Pada kisaran normal, biogas dengan kandungan 60% metana memiliki nilai kalori sebesar 18000 (kJ/kg).

Tabel 2.2 Perbandingan nilai kalor bahan bakar

Jenis Gas	Nilai Kalor (kJ/kg)
Metana	50000
LPG	46000
Propane	46300
Butane	45600
Diesel	42000
Natural Gas	57500
Biogas (60% CH_4)	18000

Sumber : Mitzlaff, (1988)

2.3 Bahan Baku Biogas

Biogas dapat dihasilkan dari fermentasi sampah organik seperti sampah pasar, daun-daunan, sisa proses makanan, dan kotoran ternak seperti kerbau, sapi, kuda, domba, dan lainnya. Kotoran ternak lebih sering digunakan sebagai substrat untuk membuat biogas karena ketersediannya yang sangat berlimpah ruah selain digunakan sebagai pupuk kandang. Limbah ternak memiliki keseimbangan nutrisi, mudah diencerkan dan relatif dapat diproses secara biologi.

Gas yang dihasilkan memiliki komposisi yang berbeda tergantung dari jenis hewan yang menghasilkannya. Keberadaan bakteri di dalam usus besar hewan ruminansia seperti kuda membantu pada proses fermentasi, sehingga proses pembentukan biogas pada digester dapat dilakukan dengan waktu yang lebih cepat.

2.3.1 Feses Kuda

Sistem pencernaan pada kuda berbeda dengan sistem pencernaan pada sapi. Pencernaan pada sapi, proses fermentasi terjadi pada lambung dan sekum, sedangkan pencernaan pada kuda proses fermentasi hanya terjadi pada sekum yang mengandung banyak bakteri. Feses kuda lebih kasar karena proses pencernaan selulosa terjadi sekali saja pada sekum.

Proses penguraian bahan organik oleh bakteri seperti karbohidrat, lemak, dan protein yang terdapat pada kotoran hewan oleh pencernaan hewan akan menghasilkan rantai senyawa yang lebih sederhana yang disebut hemiselulosa, selulosa, dan lignin, yang merupakan senyawa yang akan diubah oleh bakteri menjadi asam amino yang akan bereaksi dengan bantuan enzim yang dihasilkan oleh bakteri metanogenesis. Semakin besar kandungan hemiselulosa, selulosa, dan lignin pada kotoran hewan maka reaksi biokimia akan menghasilkan biogas yang semakin besar juga.

Tabel 2.3 Perbandingan kandungan feses kuda dan sapi

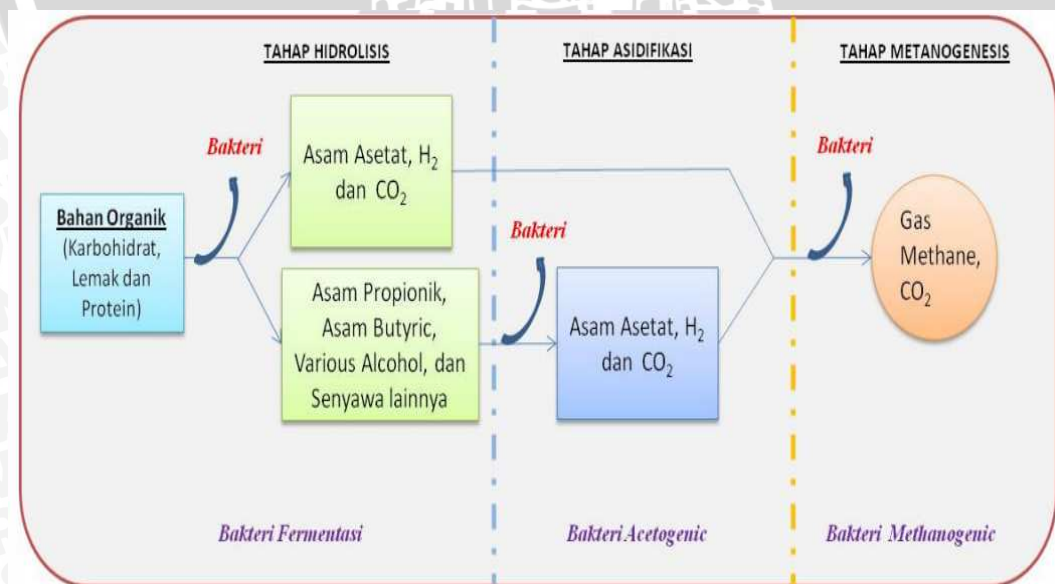
Feses	Hemiselulosa	Selulosa	Lignin	Nitrogen	Fosfat	Kalium	C/N
Kuda	23,5%	27,5%	14,2%	2,29%	1,25%	1,38%	25%
Sapi	18,6%	25%	20,2%	1,67%	1,11%	0,56%	18%

Sumber : (Sihotang, 2010 dan Sastramihardja, et.al, 1980)

Pada tabel 2.3, menunjukkan bahwa kotoran kuda mempunyai kandungan C/N ratio sebesar 25% lebih tinggi daripada kotoran sapi yang mempunyai C/N ratio sebesar 18%. C/N ratio sangat menentukan kehidupan dan aktivitas organisme. Karbon digunakan sebagai energi dan nitrogen digunakan untuk membangun struktur sel. Rasio ideal C/N pada proses dekomposisi anaerob untuk menghasilkan gas metana adalah 25 – 30 (Anonymous, 2009).

2.4 Proses Pembentukan Biogas

Biogas merupakan hasil dari proses penguraian bahan organik secara anaerobik oleh bakteri melalui tiga proses tahapan pembentukan biogas, yaitu tahap hidrolisis, tahap asidifikasi (pengasaman), dan tahap pembentukan metana. Gambar proses pembentukan biogas ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 : Proses pembentukan biogas

Sumber : Sufyandi, (2001)

Tahapan reaksi pada proses pembentukan metana (Price dan Cheremisinoff, 1981)

a. Tahap hidrolisis

Pada tahap awal (hidrolisis), mikroorganisme yang berperan adalah enzim ekstraselular seperti selulose, amilase, protease, dan lipase. Bahan organik dienzimatisasi secara eksternal oleh enzim ekstraselular dan diurai menjadi senyawa dengan rantai yang lebih pendek. Sebagai contoh polisakarida terurai menjadi monosakarida.

- Senyawa selulosa menjadi :

$$C_6H_{10}O_5 + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6 \text{ (glukosa)}$$
- Senyawa hemiselulosa menjadi :

$$C_5H_{10}O_5 + nH_2O \rightarrow nC_5H_{12}O_6 \text{ (xilosa)}$$

b. Tahap asidifikasi (pengasaman)

Proses asidifikasi terjadi karena kehadiran bakteri pembentuk asam yang disebut dengan bakteri asetogenik. Pada tahap pengasaman, bakteri akan menghasilkan asam yang berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam organik seperti asam asetat (CH_3COOH). Selain itu, bakteri tersebut juga mengubah senyawa yang bermolekul rendah menjadi alkohol, dan sedikit gas metana (CH_4). Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan dibutuhkan oleh bakteri untuk menghasilkan asam asetat.

- Menguraikan glukosa menjadi :

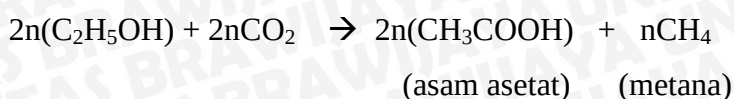
$$nC_6H_{12}O_6 \rightarrow 2n(C_2H_5OH) + 2nCO_2 + \text{kalor}$$

(etanol) (karbondioksida)
- Menguraikan xilosa menjadi :

$$3nC_5H_{12}O_6 \rightarrow 5n(C_2H_5OH) + 5nCO_2$$

(etanol) (karbondioksida)

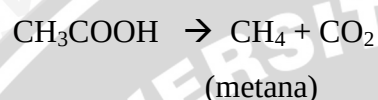
dan etanol menjadi :



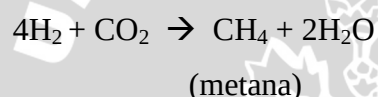
c. Tahap pembentukan metana

Pada tahapan ini, bakteri penghasil asam dan bakteri pembentuk gas metana bekerja secara simbiosis. Bakteri pembentuk metana (bakteri metanogenik) menggunakan asam yang dihasilkan bakteri penghasil asam, sedangkan bakteri penghasil asam membentuk keadaan atmosfer yang ideal untuk bakteri penghasil metana. Bakteri metanogenik menguraikan asam asetat menjadi metana dan karbondioksida. Karbondioksida dan hidrogen yang terbentuk kemudian disintesa oleh bakteri pembentuk metana menjadi metana dan air.

- Menguraikan asam asetat menjadi :



Bakteri metanogen mensintesa hidrogen dan karbondioksida menjadi :



2.5 Faktor - faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Biogas

Banyak faktor yang mempengaruhi pembentukan biogas, antara lain : kadar air, kondisi anaerob, temperatur, pH, rasio C/N, pengadukan, *starter*, lama proses, dan zat penghambat.

2.5.1 Kadar Air

Semakin banyak air dalam sistem akan meningkatkan produksi (massa) dan komposisi biogas. Molekul-molekul air dibutuhkan pada saat tahapan hidrolisis dan asetogenesis. Pada tahapan hidrolisis, dengan bantuan mikroba hidrolitik mendegradasi senyawa organik kompleks yang berupa polimer menjadi monomer. Pada tahapan asetogenik, etanol, asam propionate, dan asam butirat diubah menjadi asam asetat oleh bantuan bakteri asetogenik. Pada proses perubahan asam-asam organik menjadi asam asetat dibutuhkan molekul-molekul air yang eksekutif maka dengan penambahan air yang lebih banyak akan meningkatkan pembentukan asam asetat yang nantinya akan diubah menjadi gas metana pada tahapan metanogenesis (Renatha, 2008).

2.5.2 Kondisi Anaerob (Kedap Udara)

Biogas dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Oleh sebab itu, instalasi pengolah biogas harus kedap udara.

2.5.3 Temperatur

Bakteri anaerob sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Apabila temperatur terlalu rendah, aktivitas bakteri akan menurun dan produksi (massa) dan komposisi biogas akan menurun. Di lain pihak, apabila temperatur terlalu tinggi bakteri akan mati dan mengakibatkan produksi (massa) dan komposisi biogas akan menurun. Temperatur udara maupun temperatur di dalam tangki pencerna (*digester*) berpengaruh pada produksi dan komposisi biogas. Secara tidak langsung penurunan temperatur udara akan menurunkan temperatur dalam tangki.

Berdasarkan temperatur di dalam tangki pencerna, gas metana dapat diproduksi oleh bakteri metanogenik pada 3 tingkat temperatur, yaitu *psychrophilic*, temperatur dimana organisme mampu berkembangbiak dan bereproduksi pada suhu dingin, mulai dari 0 °C - 20 °C. *Mesophilic*, berasal dari bahasa yunani yaitu *meso* yang berarti tengah-tengah (sedang), temperatur dimana organisme dapat tumbuh dengan baik pada suhu sedang, tidak terlalu panas atau terlalu dingin, biasanya antara 20 - 40 °C. *Termophilic* berasal dari bahasa yunani yaitu *thermotita*, yang berarti panas. Organisme pada *termophilic* dapat tumbuh subur pada temperatur tinggi.

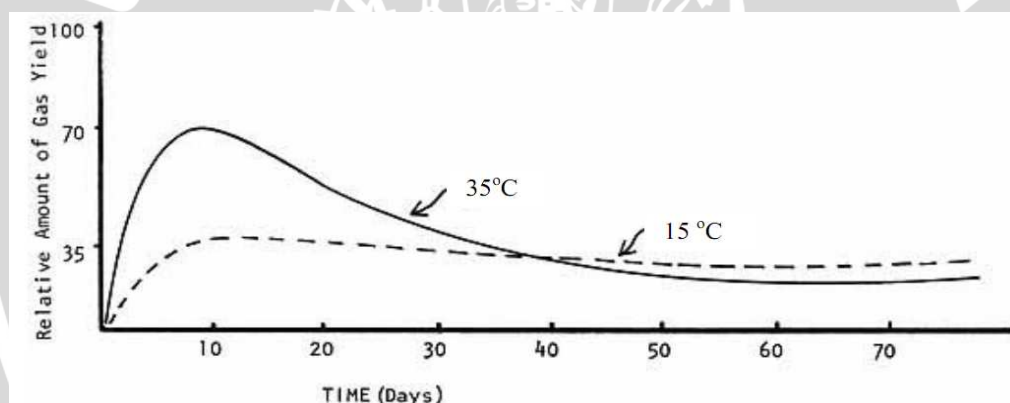
Tabel 2.4 Temperatur kerja dan jenis bakteri

Jenis Bakteri	Kisaran Temperatur (°C)
Psycrophilic	0 – 20
Mesophilic	20 – 40
Thermophilic	50 – 60
Hyperthermophilic	> 65

Sumber : Fry, (1974)

Optimasi fermentasi anaerobik pada daerah *psychrophilic* 10°C sampai dengan daerah *mesophilic* 35°C. Pada temperatur tersebut, mengombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi metana di dalam digester dengan lama proses yang singkat (Gerardi, 2003). Selama bakteri *mesophilic* hidup, bakteri *psychrophilic* dan *thermophilic* istirahat, selanjutnya akan menjadi menurun dan mati. Menjaga temperatur tetap stabil sangat penting apabila temperatur yang diinginkan dalam digester telah dicapai, karena perbedaan temperatur akan memberikan hasil yang bervariasi (Yunus, 1991).

Pada temperatur 15°C dan 35°C dengan massa bahan yang sama akan dicerna dua kali lebih cepat pada temperatur 35°C dibanding pada temperatur 15°C dan menghasilkan 15 kali lebih banyak gas pada waktu proses yang sama. Perbedaan jumlah gas yang diproduksi ketika digester dipertahankan pada temperatur 15°C dibanding dipertahankan 35°C dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Perbandingan tingkat produksi gas pada 15°C dan 35°C

Sumber : Fry, (1973)

2.5.4 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan aktivitas bakteri dalam perombakan substrat kompleks. Diawal reaksi pembentukan biogas, bakteri penghasil asam akan aktif lebih dahulu sehingga pH pada digester menjadi rendah. Kemudian bakteri metanogenesis menggunakan asam tersebut sebagai substrat sehingga menaikkan nilai pH kembali menjadi netral. Hal tersebut menandakan bahwa dalam proses pembentukan biogas terjadi pengaturan pH secara alami, tingkat keasaman diatur oleh proses itu dengan sendirinya.

Apabila bakteri penghasil asam tumbuh terlalu cepat maka asam yang dihasilkan akan lebih banyak dari jumlah yang dapat dikonsumsi oleh bakteri penghasil metan akibatnya sistem akan terlalu asam dan menjadi tidak seimbang. Jika hal ini terjadi, maka pH akan turun dan aktivitas bakteri metanogenesis akan terhambat. Kisaran pH optimal untuk produksi metana sebesar 7 – 7,2 dan pH tidak boleh dibawah 6,2. Oleh karena itu, kunci utama dalam kesuksesan operasional digester adalah menjaga agar temperatur konstan (tetap) dengan input material yang sesuai (Fry, 1973).

2.5.5 Rasio C/N

Bakteri yang terlibat dalam proses anaerobik membutuhkan beberapa elemen sesuai dengan kebutuhan organisme hidup seperti sumber makanan dan kondisi lingkungan yang optimum. Bakteri anaerob mengonsumsi karbon sekitar 30 kali lebih cepat dibandingkan nitrogen. Hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen dinyatakan dengan rasio karbon/nitrogen (C/N). C/N rasio dengan nilai 30 ($C/N = 30/1$ atau karbon 30 kali dari jumlah nitrogen) akan menghasilkan proses pencernaan pada tingkat yang optimum.

Jika C/N terlalu tinggi, nitrogen akan dikonsumsi dengan cepat oleh bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhannya dan hanya sedikit yang bereaksi dengan karbon akibatnya gas yang dihasilkan menjadi rendah. Sebaliknya apabila rasio C/N rendah, nitrogen akan dibebaskan dan berakumulasi dalam bentuk ammonia (NH_4) yang dapat meningkatkan nilai pH. Jika pH melebihi tinggi dari 8,5 akan mengakibatkan pengaruh negatif dalam pertumbuhan bakteri metanogen. Syarat ideal untuk mendapatkan hasil dan komposisi biogas yang tinggi adalah $C/N = 25 - 30$.

2.5.6 Pengadukan

Proses pengadukan akan sangat menguntungkan karena apabila tidak dilakukan pengadukan, bahan organik yang dimasukkan ke dalam digester dalam waktu yang lama akan mengering berbentuk lapisan kering (solid). *Solid* akan mengendap pada dasar tangki dan akan terbentuk busa pada permukaan yang akan menyulitkan keluarnya gas. Selain itu, pengadukan dilakukan untuk

mendistribusikan bakteri dan mendapatkan campuran substrat yang homogen dengan ukuran partikel yang kecil secara merata di dalam digester.

2.5.7 Starter

Starter diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik hingga menjadi biogas. *Starter* umumnya ada 3 jenis, yaitu :

- *Starter* alami, sumbernya berasal dari alam yang diketahui mengandung bakteri metan seperti lumpur aktif, timbunan sampah organik, dan timbunan kotoran ruminansia.
- *Starter* semi buatan, sumbernya berasal dari tabung pembuat biogas (*digester*) yang diharapkan kandungan bakteri metannya dalam stadium aktif.
- *Starter* buatan, sumbernya sengaja dibuat baik dari media alami maupun buatan yang bakterinya dikembangkan secara laboratoris.

2.5.8 Waktu Tinggal Substrat atau *Hydraulic Retention Time* (HRT)

Hydraulic retention time adalah waktu dimana substrat berada di dalam digester atau jumlah waktu bahan terproses di dalam digester anaerob. Waktu tinggal dipengaruhi oleh volume reaktor. Pada tipe aliran kontinyu, apabila terlalu banyak volume bahan yang dimasukkan maka lama pengisian menjadi terlalu singkat. Bahan akan terdorong keluar sedangkan gas masih diproduksi dalam jumlah yang cukup banyak. Waktu tinggal juga tergantung pada temperatur, semakin tinggi temperatur maka waktu tinggal akan semakin singkat.

Tabel 2.5 Perkiraan waktu regenerasi kelompok bakteri di dalam digester

Kelompok Bakteri	Fungsi	Perkiraan Waktu
Bakteri aerob	Pembentukan dan degradasi serta pengaktifan sludge	15 - 30 menit
Bakteri anaerob	Degradasi, hidrolisis dan degradasi pada digester	15 - 30 menit
Bakteri nitrifikasi	Oksidasi NH_4 dan NO_2	2 - 3 hari
Bakteri pembentuk metan	Produksi gas metan	3 - 30 hari

Sumber : Gerardi, (2003)

2.5.9 Zat Penghambat

Zat organik maupun zat anorganik, baik yang terlarut maupun tersuspensi dapat menjadi penghambat ataupun racun bagi pertumbuhan mikroorganisme apabila terdapat pada konsentrasi yang tinggi. Contohnya, Ammonia merupakan sumber makanan bagi bakteri, akan tetapi dapat menjadi penghambat bagi pertumbuhan mikroorganisme pembentuk metan apabila konsentrasi amonia dalam campuran lebih dari 1500 ppm (Wikan, 2009).

Bakteri merupakan mikroorganisme yang berpengaruh terhadap pembentukan biogas. Bakteri penghasil metana lebih sensitif terhadap racun daripada bakteri penghasil asam. Adanya racun bagi mikroorganisme pembentuk biogas akan menghambat pembentukan biogas. Oleh sebab itu, pertumbuhan dan perkembangan bakteri pada bahan merupakan syarat yang harus diperhatikan dalam menghasilkan biogas. Beberapa racun yang dapat menghambat proses pembentukan biogas dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Jenis zat penghambat yang dapat menghambat pembentukan biogas

Jenis Zat Penghambat	Konsentrasi Yang Menghambat
Ammonia (NH ₃)	1500 – 3000 mg/l
Calcium (Ca)	2500 – 4500 mg/l
Chromium (Cr)	200 mg/l
Copper (Cu)	100 mg/l
Cyanide (CN ⁻)	< 25 mg/l
Magnesium (Mg)	1000 – 1500 mg/l
Nickel (Ni)	200 – 500 mg/l
Pottasium (K)	2500 – 4500 mg/l
Sodium (Na)	3500 – 5500 mg/l
Sodium Chloride (NaCl)	40.000 ppm
Kalsium (Ca)	2500 – 4500 mg/l

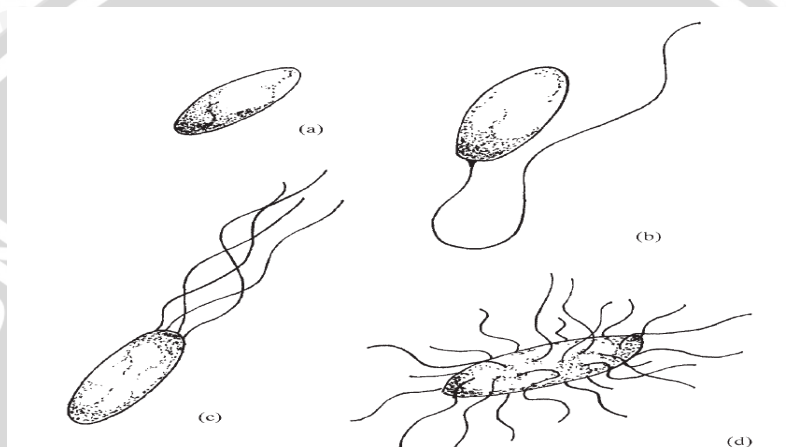
Sumber : Sattler, (2009)

2.6 Kondisi Mesophilic

Pentingnya menjaga kondisi temperatur digester akan berpengaruh pada pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri metanogen dalam menghasilkan gas metana. Bakteri metanogen sangat sensitif terhadap perubahan temperatur secara tiba-tiba yang nantinya akan mempengaruhi hasil biogas. Bakteri pembentuk metan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3. Sebagian besar bakteri metanogen

bersifat *mesophilic* yang beraktivitas pada temperatur 20°C – 40°C . Pada temperatur 7°C – 10°C dan di bawah temperatur aktivitas, bakteri akan berhenti beraktivitas.

Pada kondisi *mesophilic*, pertumbuhan bakteri maupun proses fermentasi berjalan secara maksimal. Sebagian besar bahan organik sudah dicerna dengan baik pada rentang temperatur *mesophilic* dengan lama proses yang optimal. Menjaga temperatur tetap pada kondisi optimum yang mendukung pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri, akan meningkatkan produksi (massa) biogas.



Gambar 2.3. Bakteri pembentuk metana, (a) tidak memiliki flagel dan (b, c, dan d). Bakteri yang memiliki flagel atau beberapa flagela.

Sumber : Gerardi, (2003)

2.7 Jenis Reaktor Biogas (*Digester Anaerob*)

Untuk menghasilkan biogas diperlukan digester dengan prinsip menciptakan ruang kedap udara (anaerob). Digester anaerob pertama dibangun di Bombay India pada tahun 1859. Pada tahun 1895, teknologi ini dikembangkan di Exeter Inggris, dimana septic tank digunakan untuk menghasilkan gas untuk penerangan jalan. Pada tahun 1930-an, orang mulai mengenal digester anaerob sebagai ilmu, dan penelitian dilakukan mengarah pada penemuan bakteri anaerobik dan yang menyebabkan lebih banyak penelitian ke dalam kondisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan bakteri metana.

Pengertian digester anaerob adalah suatu alat pengolah bahan buangan atau limbah organik dalam ketiadaan oksigen (kondisi anaerob) menjadi biogas. Komposisi substrat sebagai bahan baku digester merupakan faktor utama dalam menentukan hasil dan tingkat produksi metana. Kondisi yang harus diperhatikan

agar dapat meningkatkan aktivitas mikroba dan meningkatkan efisiensi dari digester anaerob yaitu menjaga temperatur digester anaerob pada kondisi *mesophilic* 20°C – 40°C.

Secara garis besar, digester yang dikembangkan dibagi menjadi tiga klasifikasi :

- a. Digester dengan substrat basah dan kering.
- b. Digester berdasarkan aliran pengisian substrat.
- c. Digester berdasarkan jumlah reaktor.

2.7.1 Digester dengan Bahan Substrat Basah dan Kering

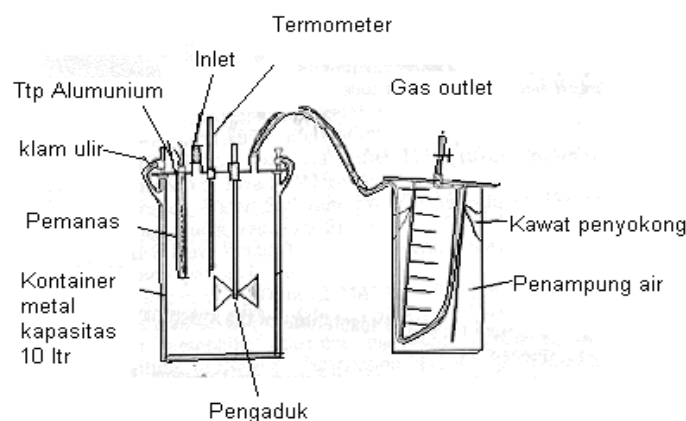
1. Digester dengan substrat basah, bahan baku 10-15% padatan kering dengan campuran air yang lebih banyak, dan diperlukan reaktor yang lebih besar.
2. Digester dengan substrat kering, bahan baku 20-40% padatan kering dengan campuran air yang sedikit, dan diperlukan reaktor yang lebih kecil.

2.7.2 Digester Berdasarkan Aliran Pengisian Substrat

Terdapat dua tipe digester yang telah dikembangkan berdasarkan aliran pengisian substrat, yaitu :

1. Tipe *batch*

Pada tipe *batch*, bahan organik dimasukkan ke dalam digester kemudian digester tersebut ditutup dan diproses secara anaerob selama durasi waktu tertentu tergantung pada jumlah bahan yang dimasukkan dan nantinya bahan organik tersebut mengalami proses fermentasi kemudian akan dihasilkan gas metana. Ketika gas metana yang dihasilkan habis, bahan terproses di dalam digester dikeluarkan dan diganti dengan bahan organik yang baru. Isi dari digester dihangatkan dan dipertahankan suhunya. Selain itu, kadangkala diaduk untuk melepaskan gelembung-gelembung gas dari sludge. Digester tipe *batch* ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Digester tipe *batch*

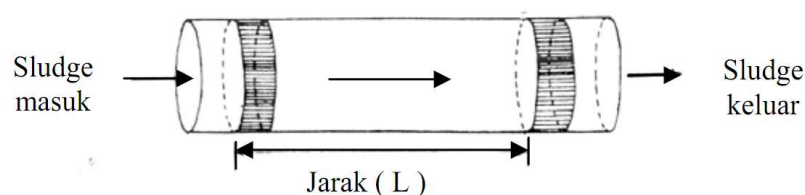
Sumber : Meynell, (1976)

Keuntungan dari tipe *batch* yaitu dapat digunakan ketika bahan tersedia pada waktu-waktu tertentu dan memiliki kandungan padatan tinggi (25%). Apabila selama proses terjadi kesalahan, misalnya bahan beracun, proses dapat dihentikan dan dimulai dengan yang baru. Kelemahan dari tipe ini adalah gas metana yang dihasilkan tidak konstan atau stabil. Kelemahan ini dapat diatasi dengan membuat lebih dari satu digester yang kemudian tempat penyimpanan gas metananya dikonstruksi dalam satu ruangan (Fry, 1973).

2. Tipe kontinyu

Tipe kontinyu dapat menghasilkan gas metana dengan efisien ketika bahan organik yang dimasukkan ke dalam digester teratur. Pada tipe ini, bahan organik dimasukkan ke dalam digester setiap hari dengan jumlah tertentu secara teratur pada satu ujung (inlet) dan setelah melalui jarak tertentu, keluar di sisi ujung lainnya (outlet) (gambar 2.5). Keuntungan dari tipe ini adalah gas metana yang dihasilkan stabil tidak seperti yang terjadi pada tipe batch. Terdapat dua jenis dari tipe aliran kontinyu :

- Vertikal, dikembangkan oleh Gobar Gas institute, India.
- Horizontal, dikembangkan oleh Fry di Afrika Selatan dan California, selain itu dikembangkan oleh *Biogas Plant Ltd* dengan digester yang terbuat dari karet butyl (*butyl rubber bag*).



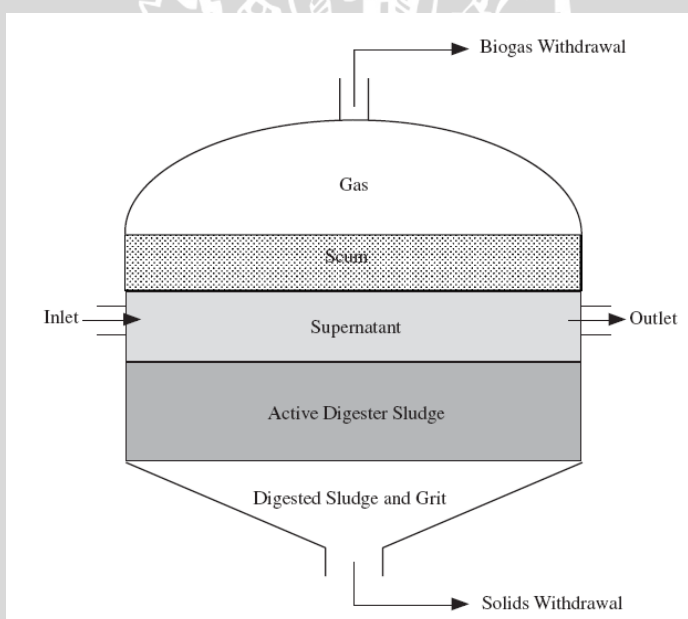
Gambar 2.5. Digester tipe aliran kontinu

Sumber : Meynell, (1976)

2.7.3 Digester berdasarkan jumlah reaktor pada suatu sistem

1. Single step

Proses degradasi anaerob hingga menghasilkan gas metana dilakukan dalam satu bejana reaktor (gambar 2.6). Di dalam reaktor ini, seringkali terjadi ketidakseimbangan antara laju produksi asam pada tahap pengasaman dengan tingkat produksi metan. Ketidakseimbangan ini dapat menyebabkan penurunan pH yang berpengaruh pada hasil biogas.

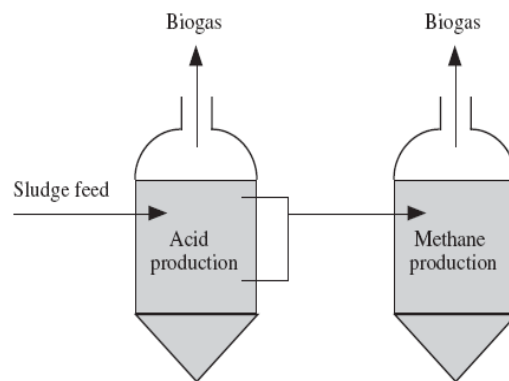


Gambar 2.6. Digester tipe langkah tunggal

Sumber : Gerardi, (2003)

2. Multi step

Proses degradasi anaerob (hidrolisis, asetogenesis, dan metanogenesis) dilakukan dalam reaktor yang terpisah dalam fase-fase secara terpisah. Satu proses menggunakan satu reaktor, tahap asidifikasi dipisahkan dengan tahap metanogenesis (gambar 2.7).



Gambar 2.7. Digester multi langkah

Sumber : Gerardi, (2003)

2.8 Persamaan Keadaan Gas Ideal

Dalam ilmu termodinamika kondisi fluida kerja yang digunakan selama proses dianggap ideal. Persamaan keadaan gas ideal ditemukan oleh Émile Clapeyron pada tahun 1834 menggabungkan Hukum Boyle dan Hukum Charles. Untuk rumus persamaan keadaan gas ideal seperti pada persamaan 2-1.

$$P V = nRT$$

$$P \frac{V}{n} = RT$$

(Moran, 2006) (2-1)

dengan :

P = Tekanan (kPa)

V = Volume total suatu gas (Liter)

R = Konstanta gas spesifik (kPa.Liter/mol.K)

n = Mol gas (mol)

T = Temperatur (K)

2.9 Hipotesis

Semakin besar perbandingan kotoran kuda dengan air pada kondisi *mesophilic digester* (35°C) maka menyebabkan bakteri mudah untuk berkembang biak dan beraktivitas sehingga proses fermentasi berlangsung dengan baik, akibatnya produksi dan komposisi gas yang dihasilkan akan optimal.