

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biogas

Biogas merupakan baha bakar gas dan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara *anaerobic digestion* atau fermentasi anaerob dari bahan organik dengan bantuan bakteri *metanogenesis*. Bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas yaitu bahan *biodegradable* seperti bahan organik (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Metana secara luas diproduksi dipermukaan bumi oleh bakteri pembusuk dengan cara menguraikan bahan organik. Bakteri *metanogenesis* berperan dalam pembusukan. Bakteri ini terdapat di rawa-rawa, lumpur sungai, sumber air panas, dan perut hewan herbivore seperti sapi. Hewan-hewan ini tidak dapat memproses rumput yang mereka makan, bila tidak ada bakteri anaerobik yang memecah selulosa di dalam rumput menjadi molekul-molekul yang dapat diserap oleh perut mereka. Gas yang diproduksi oleh bakteri ini adalah gas metana (Meynell, 1976).

Gas metana terbentuk karena proses fermentasi secara anaerobik (tanpa udara) oleh bakteri metan atau disebut juga bakteri anaerobik dan bakteri biogas yang dapat mengurangi sampah-sampah yang banyak mengandung bahan organik sehingga terbentuk gas metan ( $\text{CH}_4$ ) yang apabila dibakar dapat menghasilkan energi panas.

Tabel 1. Komposisi Biogas

Komponen	%
Metana ( $\text{CH}_4$ )	55-75
Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )	25-45
Nitrogen ( $\text{N}_2$ )	0-0.3
Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	1-5
Hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0-3
Oksigen ( $\text{O}_2$ )	0.1-0.5

*Sumber: Hermawan. B, dkk, 2007*

Data fisik gas metan yaitu:

- a. Rumus kimia : CH<sub>4</sub>
- b. Berat Molekul : 16,042
- c. Titik didih pada 14,7 psia (760mm) : -161,49°C
- d. Titik beku pada 14,7 psia (760mm) : -182,48°C
- e. Spesifik gravity : 0,415
- f. Tidak berbau dan berwarna
- g. Tidak larut dalam air
- h. Tidak beracun

## **2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas**

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembuatan biogas dengan metode fermentasi anaerob adalah sebagai berikut:

### **2.2.1 Jenis Material Organik**

Bahan baku isian berupa bahan organik seperti kotoran ternak, limbah pertanian, sisa dapur, dan sampah organik. Bahan isian harus terhindar dari bahan anorganik seperti pasir, batu, beling, dan plastik.

Bahan baku dalam bentuk selulosa lebih mudah dicerna oleh bakteri anaerobik. Sebaliknya, pencernaan akan lebih sukar dilakukan bakteri anaerob jika bahan bakunya banyak mengandung zat kayu. Kotoran sapi sangat baik dijadikan bahan baku karena banyak mengandung selulosa.

### **2.2.2 Rasio Karbon dan Nitrogen (C/N)**

Ternak ruminansia seperti sapi, kambing, dan domba rata-rata lebih lama dalam menghasilkan biogas dibandingkan dengan ternak non ruminansia. Lamanya produksi biogas disebabkan oleh mutu pakan yang lebih rendah, sehingga rasio C/N nya tinggi, akibatnya perkembangan mikroba pembentuk gas lebih lama dibandingkan yang bermutu tinggi. Tinggi rendahnya mutu ini tergantung pada nilai N (nitrogen) di dalam ransum. Namun demikian N juga

tergantung pada C (karbon). Jadi, perbandingan C dan N akan menentukan lama tidaknya proses pembentukan biogas.

Mikroorganisme membutuhkan nitrogen dan karbon untuk proses asimilasi. Karbon digunakan sebagai energi sedangkan nitrogen digunakan untuk membangun struktur sel. Bakteri penghasil metana menggunakan karbon 30 kali lebih cepat dari pada nitrogen.

### **2.2.3 Temperatur**

Temperatur yang baik untuk proses pembuatan biogas adalah 30<sup>0</sup>C hingga kira-kira 40<sup>0</sup>C (Kamaruddin, 1995). Temperatur tersebut merupakan temperatur optimal bagi bakteri perombak untuk menghasilkan biogas.

### **2.2.4 Derajat Keasaman (pH)**

Derajat keasaman (pH) sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan aktivitas bakteri. Kisaran pH optimal untuk produksi metana adalah 7-7,2 tetapi pada kisaran 7,2-8,0 masih diizinkan. Untuk mencegah penurunan pH pada awal pencernaan dan menjaga pH pada kisaran yang diizinkan, maka dibutuhkan *buffer* yakni dengan penambahan larutan kapur.

Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8-7,8. Pada tahap awal fermentasi bahan organik akan terbentuk asam (asam organik) yang akan menurunkan pH. Untuk mencegah terjadinya penurunan pH dapat dilakukan dengan menambahkan larutan kapur ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) atau kapur  $\text{CaCO}_3$ .

### **2.2.5 Waktu Pembentukan Biogas**

Waktu berpengaruh dalam pembentukan biogas, semakin lama proses fermentasi dilakukan, maka semakin banyak biogas yang dihasilkan. Biogas terbentuk dalam waktu 15 sampai 30 hari (Hadi,1981). Pada tahap awal proses fermentasi bakteri berkembangbiak untuk hidup dan menguraikan sampah organik. Tahap selanjutnya, bakteri mendapatkan makanan yang cukup dari

kotoran sapi (*starter*), yaitu bahan atau substrat yang di dalamnya sudah dapat dipastikan mengandung bakteri metana sesuai yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menghasilkan gas metana ( $\text{CH}_4$ ).

### **2.2.6 Pengadukan Bahan Organik**

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

### **2.2.7 Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)**

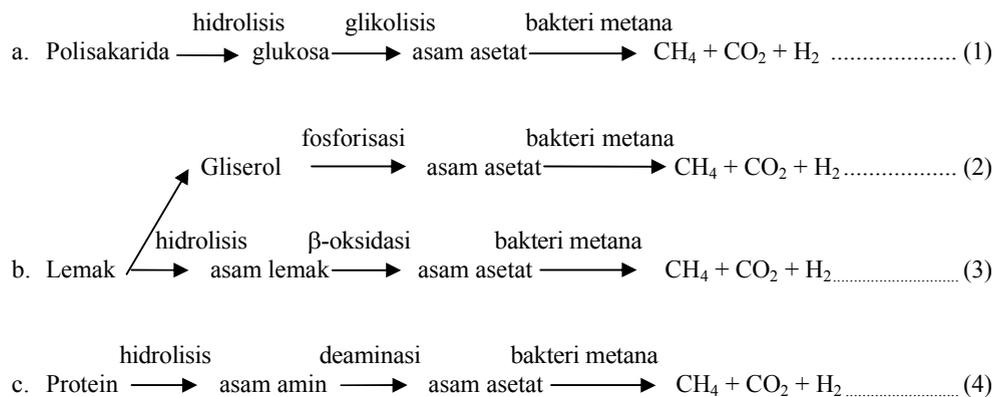
Pengertian *total solid content* (TS) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses digester terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancuran/pembusukan material padatan limbah organik. *Total Solid* merupakan salah satu faktor yang dapat menunjukkan telah terjadinya proses pendegradasian karena padatan ini akan dirombak pada saat terjadinya pendekomposisian bahan. Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % bahan baku. Pengertian *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. *Volatile Solid* merupakan jumlah indikasi awal pembentukan gas metane, jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % *total solid* (TS) atau  $\text{mg/l leachate MLVSS}$  (*Mixed Liqour Volatile Suspended Solids*).

## **2.3 Mekanisme Pembentukan Biogas**

Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses terbentuknya gas metana dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester sehingga akan dihasilkan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang volumenya lebih besar dari gas hydrogen ( $\text{H}_2$ ), gas

nitrogen (N<sub>2</sub>) dan asam sulfide (H<sub>2</sub>S). Proses fermentasi memerlukan waktu 7 sampai 10 hari untuk menghasilkan biogas dengan 6,8-7,8 (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi pembentukan metana (Price dan Cheremisinoff, 1981) dari bahan-bahan organik yang dapat terdegradasi dengan bantuan enzim maupun bakteri dapat dilihat sebagai berikut:



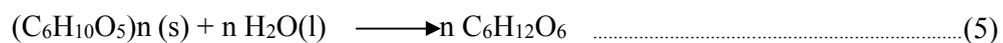
Reaksi kimia pembuatan biogas (gas metana) ada 3 tahap, yaitu:

#### 1. Reaksi Hidrolisa/Tahap Pelarutan

Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida, dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti karbohidrat dan asam lemak.

Pada tahap hidrolisis, bahan organik di enzimatik secara eksternal oleh enzim ekstraselular (selulose, amilase, protease dan lipase) mikroorganisme. Bakteri memutuskan rantai panjang karbohidrat kompleks, protein dan lipida menjadi senyawa rantai pendek. Sebagai contoh polisakarida diubah menjadi monosakarida sedangkan protein diubah menjadi peptida dan asam amino.

Reaksi:



Selulosa                      air                      glukosa



## 2.4 Air Lindi

Air lindi yaitu air dengan konsentrasi kandungan organik yang tinggi yang terbentuk dalam landfill akibat adanya air hujan yang masuk ke dalam landfill. Komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah, jumlah curah hujan di daerah TPA dan kondisi spesifik tempat pembuangan tersebut (Fadly, dkk. 2013).

Tabel 2. Komposisi Air Lindi

Parameter	Nilai
BOD	2000-30000 mg/L
TOC	1500-20000 mg/L
Nitrogen Organik	200-1000 mg/L
Nitrogen Amonia	10-600 mg/L
Nitrat	5-40 mg/L
CH <sub>4</sub>	52%
Total Fosfat	1-70 mg/L
Alkalinitas	1000-10000 mg/L
Kalium	200-2000 mg/L
Sodium	200-2000 mg/L
Klorida	100-3000 mg/L
Sulfat	100-1500 mg/L

Sumber: Tchobanaglou, 1993

### 2.4.1 Air Lindi Untuk Meningkatkan Produksi Biogas

Air lindi dapat diolah sebagai bahan untuk meningkatkan produksi biogas. Lindi mengandung berbagai macam zat organik yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Bahan organik yang ada di dalam air lindi ini akan diuraikan oleh mikroorganisme. Hasil dari penguraian lindi oleh mikroorganisme ini adalah metana sebagai produk utama dan nitrogen sebagai hasil sampingan. Air lindi mengandung metana yang merupakan komponen biogas. Gas metana (CH<sub>4</sub>) adalah komponen penting dan utama dari biogas karena merupakan bahan bakar yang berguna dan memiliki nilai kalor yang cukup

tinggi dan mempunyai sifat tidak berbau dan tidak berwarna (Permata, dkk. 2013).

#### **2.4.2 Pemanfaatan Air Lindi Dalam Produksi Biogas**

Air lindi merupakan air limbah yang dihasilkan oleh tumpukan sampah. Lindi (*leachate*) adalah cairan yang merembes melalui tumpukan sampah dengan membawa materi terlarut atau tersuspensi terutama hasil proses dekomposisi materi sampah atau dapat pula didefinisikan sebagai limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal kedalam timbunan sampah melarutkan dan membilas materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis. Zat pencemar organik dan anorganik yang tinggi biasanya merupakan bagian dari lindi. Konsentrasi puncak dari COD dan total solid diatas 50.000 mg/L adalah biasa. Bagaimana pun juga lindi memiliki konsentrasi pencemar yang berbeda beda di tiap lahan berdasarkan umurnya. Peneliti mengatakan bahwa landfill yang masih muda memiliki lindi dengan kekuatan tinggi, dilusi dan penggunaan mikroba dapat menurunkan kekuatan lindi pada landfill yang berumur tua. Lindi yang berasal dari dekomposisi sampah mengandung bahan pencemar yang dapat menjadi sumber dari polusi air bila terlepas hingga badan air atau air tanah.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Imam Sabari dan Lukman Wibisono, air lindi dapat dimanfaatkan untuk produksi biogas. Air lindi memaksimalkan produksi biogas dan gas metana yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan air lindi dari TPA Piyungan dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produksi biogas dan konsentrasi gas metana. Berdasarkan data penelitian diketahui bahwa penambahan air lindi sebanyak 20% dari total volume substrat dapat meningkatkan produksi biogas hingga 86,64% dan konsentrasi gas metana sebanyak 28%.

### 2.4.3 Pengolahan Cairan Air Lindi

Pengolahan air lindi dapat dilakukan dengan berbagai alternative seperti resirkulasi air lindi kembali ke dalam landfill. Hal ini dapat meningkatkan laju dekomposisi kandungan organik menjadi biogas hingga sekitar 70%. Resirkulasi air lindi dapat dilakukan pada musim kemarau sedangkan pada musim hujan, air lindi harus dioalah untuk mengurangi volumenya (Fadly, dkk. 2013).

### 2.5 *Green Phoskko*

Pupuk organik alami *Green Phosko* dibuat dari sampah organik kompos kota yang telah diseleksi atau dipilah dari ketercampurannya dengan sampah anorganik atau sampah undegradable (plastik, logam, hasil industri). Kompos *Green Phoskko* telah memenuhi standar mutu yang diperlukan bagi kesehatan dan pertumbuhan tanaman antara lain kandungan hara atau nutrisi, kadar air maksimum 20 % dan kandungan logam berat (Cd, Ar, Pb) dibawah ambang batas toleransi. Kandungan utama Pupuk Organik Green Phoskko adalah N, P, K dalam jumlah tertentu (relatif kecil) serta hara makro sekunder dan mikro seperti Calcium (Ca) , Magnesium (Mg) serta Zn dan Fe.



Gambar 1. Aktivator Pembangkit Metan *Green Phoskko* (GP7)

Sumber: kencana, 2012

Bakteri anaerob dalam aktivator GP-7 hidup secara *saprophyt* dan bernapas secara anaerob dimanfaatkan dalam proses pembuatan biogas. Bakteri *saprophyt*

yang ada di dalamnya hidup dan berkembang biak. Bakteri tersebut memecah persenyawaan organik dan menghasilkan gas metana  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  dan  $\text{CO}_2$ . 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  $>30^\circ\text{C}$  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 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, maka tahap kedua dari proses anaerob adalah pembentukan gas metana dengan bantuan *Arkhaebacteria* pembentuk metana seperti *Methanococcus*, *Methanosarcina*, dan *Methanobacterium*.

## 2.6 Biomassa Organik

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, miyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya.

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). Karakteristik biomassa organik yang menjadi bahan baku pada penelitian yang apabila difermentasi akan terkonversi menjadi biogas.

### 2.6.1 Sampah Organik

Sampah merupakan barang atau benda yang dibuang karena tidak terpakai lagi. Pada kenyataannya sampah menjadi masalah yang selalu timbul baik di kota besar maupun di daerah-daerah. Beberapa alternatif bagaimana cara memanfaatkan sampah kota, sehingga mempunyai nilai ekonomis yang cukup tinggi antara lain sampah dapat dimanfaatkan menjadi kompos, biogas (energi alternatif), papan komposit (komposit serbuk kayu plastik daur ulang), bahan baku dalam pembuatan bata (briket), pengisi tanah, penanaman jamur, media produksi vitamin, media produksi Protein Sel Tunggal (PST), dan lain-lain.

Pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos merupakan biokonversi yang sangat baik dimana sampah yang merupakan masalah dikonversi menjadi pupuk tanaman yang memiliki kandungan unsur hara yang tinggi dimana unsur hara ini merupakan komponen utama metabolisme pada tanaman.

Tabel 3. Kandungan Kimia yang terdapat dalam Sampah Organik

Kandungan	Prosentase
Air	10 – 60 %
Senyawa Organik	15 – 35 %
Nitrogen	0,4 – 1,2 %
Fosfor	0,2 – 0,6 %
Kalium	0,8 – 1,5 %
Kapur	4 – 7 %
Karbon	12 – 17 %

Sumber: Permata, 2013

### 2.6.2 Klasifikasi Sampah

Berdasarkan SNI 19-3241-1994, tipe atau jenis sampah umum dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Sampah organik basah (*garbage*), yaitu sampah yang terdiri dari bahan-bahan organik dan mempunyai sifat mudah membusuk.
2. Sampah organik kering (*rubbish*), yaitu sampah yang susunannya terdiri dari bahan organik maupun yang cukup kering yang sulit terurai oleh mikroorganisme sehingga sulit membusuk.
3. Sampah yang berukuran besar (*bulky waste*), dalam kategori ini termasuk sampah yang berukuran besar dan berat.
4. Sampah abu (*ashes*), yaitu sampah padat yang berasal dari pembakaran kayu, batu bara atau insenerator. Ukurannya kecil, lembut, ringan dan mudah terbawa angin.
5. Sampah berupa lumpur dari pengolahan air bersih dan air limbah. Lumpur dari kolam pengolahan harus dihindarkan langsung masuk ke air permukaan.
6. Sampah bangkai binatang (*dead animal*), yaitu semua sampah yang berupa bangkai binatang.
7. Sampah sapuan jalan yaitu segala jenis sampah atau kotoran yang berserakan di jalan karena dibuang oleh pengendara mobil ataupun masyarakat yang tidak bertanggung jawab.
8. Sampah konstruksi umumnya berupa logam, beton, kaca, pipa, plumbing dan kayu.
9. Sampah B3 merupakan buangan berbahaya dan beracun bersifat toksik karena itu perlu penanganan khusus. Banyak dihasilkan dari kegiatan industri ataupun produk yang dipakai sehari-hari. Semakin banyak industri yang berdiri akan semakin beragam limbahnya.

Tabel 4. Karakteristik Kandungan Biomassa Organik

Jenis Sayuran	Bahan Kering (g)	Kalori	Protei (g)	Lemak (g)	Serat (g)	Besi (mg)	Abu (%)	Karbo - hidrat (g)	Air (g)
Bayam	15,20	43	5,20	-	1,00	4,1	-	6,5	86,9
Kangkung	10,00	30	2,70	-	1,10	2,5	-	-	-
Kubis	7,00	22	1,60	-	0,80	0,8	-	-	-
Sawi Putih	5,80	17	1,7	-	0,70	2,6	-	-	-
Kecambah	-	23	2,90	0,20	-	-	-	4,1	92,4
Kacang hijau									
Daun Kangkung	23,80	-	8,93	1,03	-	-	1,82	-	-
Daun Singkong	-	-	-	-	-	-	1,77	-	-
Daun kembang kol	-	3890	31,77	-	-	-	19,93	-	-
Kulit jagung	-	4351	1,94	-	-	-	2,97	-	-

- = tidak ada data

Sumber: Wahyuni, Sri, 2009

## 2.7 Teknologi Perombakan Anaerob

Pengendalian secara biologis dapat dilakukan dengan proses aerob dan anaerob. Proses anaerob mampu merombak senyawa organik yang terkandung dalam limbah sampai batas tertentu yang dilanjutkan dengan proses aerob secara alami atau dengan bantuan mekanik. Perombakan senyawa organik tersebut akan menghasilkan gas metana, karbon dioksida yang merupakan hasil kerja dari mikroba asetogenik dan metanogenik. Berbagai sistem dan jenis air buangan telah dikembangkan dan diteliti, yang semuanya bertujuan untuk memberi perlindungan terhadap lingkungan dan dari beberapa penelitian tersebut diketahui bahwa proses anaerobik memberikan hasil yang lebih baik untuk mengolah limbah dengan kadar COD yang lebih tinggi (Manurung, 2004).

Perbedaan lain antara proses aerobik dan anaerobik terletak pada karakteristik biomassa yang menentukan jalannya proses perombakan. Pada proses aerobik, biomassa terdiri atas berbagai jenis mikroorganisme, tetapi masing-masing merombak bahan organik untuk keperluannya masing-

masing. Pada proses anaerobik, sebenarnya biomassa juga terdiri atas berbagai jenis mikroorganisme, tetapi merombak bahan organik satu setelah yang lain dari bahan organik hingga biogas. Dengan demikian, proses berlangsung sempurna hingga menghasilkan produk akhir, hanya jika proses pertukaran massa pada setiap mikroorganisme yang terlibat berlangsung dengan kecepatan sama. Karena alasan tersebut, proses anaerobik lebih sensitif terhadap pengaruh bahan toksik, pH, dan temperatur dibanding dengan proses aerobik (Bapedal, 1995).

Proses anaerob mempunyai banyak keunggulan bila dibandingkan dengan proses aerob antara lain tidak membutuhkan energi untuk aerasi, lumpur atau sludge yang dihasilkan sedikit, polutan yang berupa bahan organik hampir semuanya dikonversi ke bentuk biogas (gas metan) yang mempunyai nilai kalor cukup tinggi. Kelemahan proses degradasi ini adalah kemampuan pertumbuhan bakteri metan sangat rendah, membutuhkan waktu dua sampai lima hari untuk penggandaannya, sehingga membutuhkan reaktor yang bervolume cukup besar (Mahajoeno, 2007).

Mikrobia merupakan salah satu faktor kunci yang ikut menentukan berhasil tidaknya suatu proses penanganan limbah cair organik secara biologi. Keberadaannya sangat diperlukan untuk berbagai tahapan dalam perombakan bahan organik. Efektifitas biodegradasi limbah organik menjadi metana membutuhkan aktifitas metabolik yang terkoordinasi dari populasi mikrobia yang berbeda-beda (Jenie dan Winiati, 1993).

Bakteri suatu grup prokariotik, adalah organisme yang mendapat perhatian utama baik dalam air maupun dalam penanganan air limbah (Jenie dan Winiati, 1993). Jadi, dalam proses anaerobik, mikrobia yang digunakan berasal dari golongan bakteri. Bakteri yang bersifat fakultatif anaerob yaitu bakteri yang mampu berfungsi dalam kondisi aerobik maupun anaerobik. Bakteri tersebut dominan dalam proses penanganan limbah cair baik secara aerobik ataupun anaerobik.

## 2.8 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:

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

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

b. Ruang *digestion* (ruang fermentasi)

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

c. Saluran keluar residu (*Sludge*)

Fungsi saluran ini adalah untuk mengeluarkan kotoran (*Sludge*) yang telah mengalami fermentasi anaerobik oleh bakteri. 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.

d. Tangki penyimpan biogas

Tujuan dari tangki penyimpan biogas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik.

## 2.9 Komponen Pendukung Digester

Pada sebuah digester perlu ditambahkan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas dalam jumlah banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung adalah:

a. Katup Penaman 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. Selalu pertahankan tekanan diantara 1,15-1,2 atm di dalam digester.

b. 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 agar merata diseluruh bagian. Dengan pengadukan 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:

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

c. 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.

### **2.10 Biokonversi Sampah Organik Oleh Mikroorganisme**

Keberadaan mikroorganisme di alam mempunyai arti penting dan dampak positif terhadap pencemaran lingkungan. Kemampuan mikroorganisme untuk mendegradasi limbah dan polutan adalah sangat esensial untuk menjaga kualitas dan lingkungan. Keberadaan mikroorganisme tersebut menyebabkan bahan-bahan sisa di lingkungan dapat menghilang atau berubah bentuk.

Berdasarkan kemampuan degradatif terhadap bahan organik, beberapa jenis bakteri telah dikomersialisasikan sebagai pupuk biologi atau konsorsia bakteri sebagai inokula penanganan limbah secara aerobik maupun anaerobik antara lain *Bacillus megaterium* sebagai bakteri pelarut fosfat, *Rhizobium melioli* dan metanogen sebagai agensia penanganan limbah secara anaerobik dan pembuatan biogas.

Penggunaan mikroorganisme untuk penanganan limbah memerlukan berbagai persyaratan yang perlu diperhatikan, antara lain komposisi limbah, teknik atau proses yang dikerjakan (dalam kondisi aerob atau anaerob) dan alat yang digunakan disesuaikan dengan kondisi lokal.

Optimasi aktivitas mikrobial pada dekomposisi sampah mempunyai implikasi ekonomi penting. Sebagai contoh, pemanfaatan gas metana dari digester anaerob merupakan hasil akhir yang dapat dipasarkan sebagai sumber tenaga. Di dalam pengomposan, hasil dekomposisi oleh mikroorganisme dapat mereduksi volume sampah, dan menghasilkan bahan yang mempunyai nilai ekonomi sebagai bahan pembenam tanah. Keuntungan lain yang dapat diperoleh dari perombakan sampah oleh mikroba adalah timbul panas. Panas tersebut dapat menurunkan bahkan membunuh mikroba patogen.

Proses pertumbuhan mikroba sangat dinamik dan kinetiknya dapat digunakan untuk meramal produksi biomassa dalam suatu proses fermentasi.

Faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan dan perilaku mikroba dapat digolongkan dalam faktor intraseluler dan faktor ekstraselular. Faktor intraseluler meliputi struktur, mekanisme, metabolisme, dan genetika. Sedangkan faktor ekstraselular meliputi kondisi lingkungan seperti pH, suhu, tekanan. Proses pertumbuhan mikroba merupakan proses yang memiliki batas tertentu. Pada saat tertentu, setelah melewati tahap minimum, mikroba akan mengalami fasa kematian. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan berhentinya pertumbuhan mikroba antara lain:

1. Penyusutan konsentrasi nutrisi yang dibutuhkan dalam pertumbuhan mikroba karena habis dikonsumsi.
2. Produk akhir metabolisme yang menghambat pertumbuhan mikroba karena terjadinya inhibisi dan represi.

Dalam proses fermentasi bakteri juga menghasilkan gas sebagai akibat dari pembongkaran substrak yang berlangsung oleh aktivitas bakteri. Gas yang dihasilkan dapat berupa karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), hydrogen ( $\text{H}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), nitrogen ( $\text{N}_2$ ), dan amoniak ( $\text{NH}_3$ ).

1. Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) timbul karena aktivitas bakteri, gas ini dapat timbul sebagai hasil pernafasan aerob maupun anearob, kebanyakan senyawa yang cepat terurai oleh bakteri serta menghasilkan  $\text{CO}_2$  adalah golongan gula.
2. Hidrogen, gas ini biasa timbul bersama  $\text{CO}_2$  sebagai hasil penguraian karbohidrat atau asam amino. *Echerichia coli* dalam keadaan tertentu dapat menguraikan asam semut ( $\text{HCOOH}$ ) menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2$
3. Gas metan, gas ini timbul sebagai hasil penguraian bermacam-macam senyawa organik. Methano bacterium dalam keadaan anaerob menghasilkan metan.
4. Nitrogen, gas ini timbul akibat penguraian nitrat maupun nitrit, peristiwa ini dikenal sebagai denitrifikasi. Denitrifikasi terjadi di tempat-tempat tertutup.
5. Amoniak, merupakan hasil penguraian protein dan senyawa-senyawa lain yang mengandung nitrogen.

### 2.11 Mikroorganisme Yang Terlibat Dalam Proses Degradasi Anaerobik

Pengolahan limbah cair secara anaerobik melibatkan mikroorganisme untuk mendegradasi substrat dalam limbah cair menjadi bahan yang tidak mengakibatkan pencemaran. Secara umum, di dalam air limbah ditemukan banyak sekali jenis mikroorganisme yang diantaranya termasuk bakteri uniseluler, jamur, virus, protozoa, alga dan rotifera. Sebagaimana makhluk hidup lainnya, mikroorganisme ini juga membutuhkan nutrisi untuk keperluan pertumbuhan dan fungsinya. Kebutuhan tersebut antara lain :

- a. Sumber energi dapat berupa cahaya (mikroba fototrof) atau senyawa kimia (mikroba khemototrof).
- b. Sumber karbon dalam bentuk bahan-bahan organik (mikroba heterotrof) atau bentuk karbon dioksida (mikroba autotrof).
- c. *Nutrient* dalam bentuk anorganik ( N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl) dan nutrient minor termasuk Zn, Mn, Mo, Se, Cu, dan Ni.
- d. Faktor Pertumbuhan atau *nutrient* organik dalam bentuk asam-asam amino, senyawa-senyawa berbasis nitrogen (seperti purin dan pirimidin) serta vitamin.
- e. *Air*, karena semua nutrient harus berada dalam keadaan terlarut sebelum masuk ke dalam sel mikroorganisme.

Selain membutuhkan nutrisi mikroorganisme juga membutuhkan kondisi lingkungan yang sesuai untuk keperluan pertumbuhan dan fungsinya secara normal. Adanya kandungan nutrisi yang cukup dan seimbang dalam limbah cair disertai kondisi lingkungan yang sesuai, dapat menjadikan air limbah sebagai media pertumbuhan bagi mikroorganisme tertentu. Dalam kondisi demikian, mikroorganisme akan mendegradasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam limbah cair melalui metabolisme sel dan metabolisme energi.

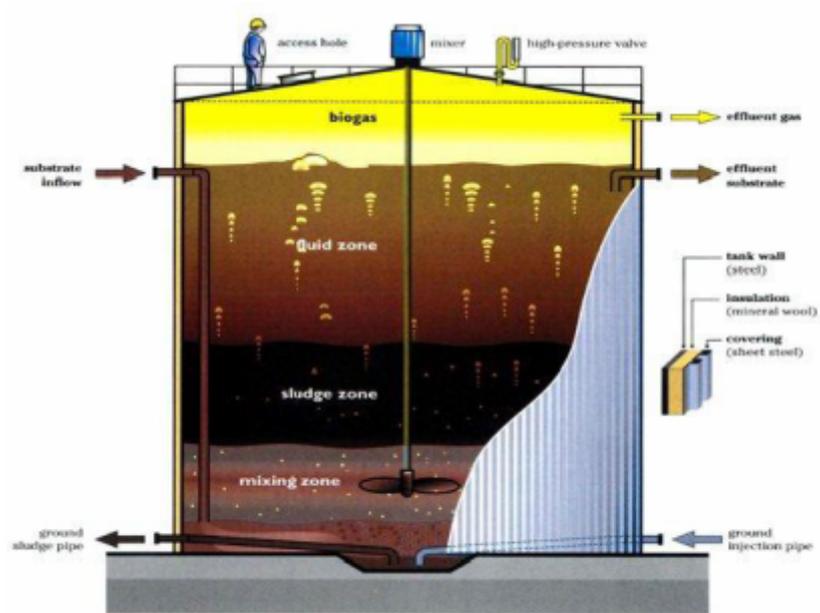
Pada proses fermentasi anaerob, proses degradasi bahan-bahan organik kompleks menjadi gas metan, CO<sub>2</sub> dan biomassa terjadi dalam 3 tahapan reaksi biokimia, yaitu hidrolisis, fermentasi asam dan metanogenesis. Mikroorganisme yang terlibat dalam tiap tahap proses degradasi tersebut dapat dikelompokkan atas

dua jenis mikroorganisme yaitu :

- a. Mikroorganisme yang merespon proses hidrolisis dan fermentasi. Mikroorganisme ini termasuk dalam grup non-metanogenik terdiri dari bakteri fakultatif dan obligat anaerob. Bakteri fakultatif adalah bakteri yang mempunyai kemampuan untuk tumbuh pada kondisi ada atau tanpa molekul- molekul oksigen. Sedangkan obligat anaerob adalah organisme yang membangkitkan energi dengan fermentasi dan dapat eksis hanya dalam lingkungan yang tidak terdapat oksigen.
- b. Mikroorganisme yang merespon untuk produksi metana. Mikroorganisme ini diklasifikasikan sebagai *archae* merupakan obligat anaerob. Kebanyakan mikroorganisme metanogenik yang diidentifikasi dalam digester anaerob sama dengan yang dijumpai dalam perut hewan mammalia dan sedimen yang diambil dari dasar danau dan sungai.

## **2.12 Reaktor Biogas**

Reaktor merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$ . Digester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan dengan baik. Pada umumnya produksi biogas terbentuk pada 4-5 hari setelah digester diisi. Produksi biogas menjadi banyak pada 20-35 hari.



Gambar 2. Digester Biogas

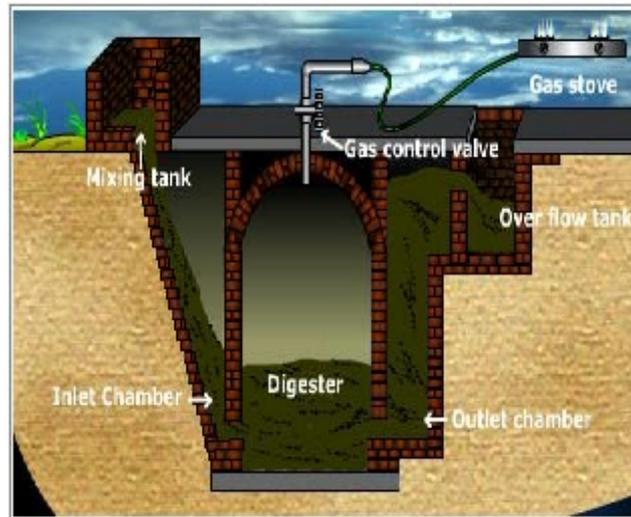
Sumber : Manurung, 2004

### 2.12.1 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  $\text{CH}_4$  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.



Gambar 3. Digester Tipe *Fixed Dome*  
 Sumber : Manurung, 2004

Digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti pada tabel 5. sebagai berikut:

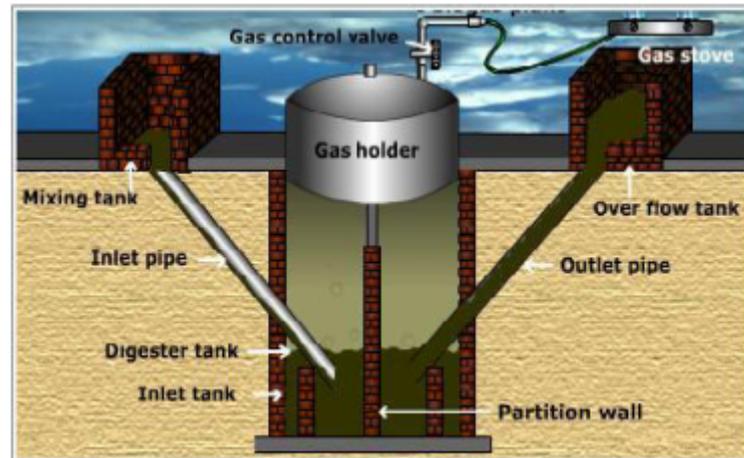
Tabel 5. Kelebihan dan Kekurangan Digester Jenis Kubah Tetap

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 ada bagian yang bergerak.	3. Temperatur digester rendah
4. Dapat dipilih dari material yang tahan karat.	
5. Umurnya panjang.	
6. Dapat dibuat didalam tanah sehingga menghemat tempat.	

## 2. *Floating Dome* (Kubah Apung)

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 tampungan gas bergerak seiring naik atau turunnya produksi biogas. Kelemahan lainnya adalah material dari tampungan gas yang dapat bergerak harus dipilih yang mempunyai sifat tahan korosi, hal tersebut menyebabkan harganya relatif lebih mahal.



Gambar 4. Digester Tipe *Floating Dome* (Kubah Apung)  
 Sumber : Manurung, 2004

### 3. Reaktor Balon

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisiensi dalam penanganan dan perubahan tempat biogas.



Gambar 5. Reaktor balon  
 Sumber : Manurung, 2004

Reaktor ini terdiri dari suatu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpanan gas masing-masing bercampur dalam suatu rangan tanpa sekat. Material organik terletak dibagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas.

#### 4. Reaktor Dari Bahan Fiber Glass

Reaktor dari bahan fiber glass merupakan jenis reaktor yang paling banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan fiber glass sehingga lebih efisiensi dan penanganan dalam biogas.



Gambar 6. Reaktor bahan fiber glass

Sumber : Manurung, 2004

#### 2.12.2 Berdasarkan aliran bahan baku

##### a. 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.

##### b. 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*).

### 2.13 Perbandingan Hasil Gas Produk Menggunakan *Hidrolisis Asidogenesis, and Methanogenesis Reactor* dan *Hidrolisis Asidogenesis, and Methanogenesis Reactor Partition Type*

Reaktor *Hidrolisis Asidogenesis, and Methanogenesis* merupakan reaktor yang digunakan pada penelitian biogas pada tahun 2010 di Politeknik Negeri Sriwijaya dan dilakukan renovasi dengan menambahkan *partition* pada reaktor tersebut.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Gas Produk

No	Jenis Reaktor	Laju Alir (L/menit)	Hari Ke-	CH <sub>4</sub>
1	Tanpa <i>Partition</i>	10	15	64,78%
		20		70,8%
		30		50,4%
2	Menggunakan <i>Partition</i>	15	12	63,48%
		20		69,83%