

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Biogas**

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi tanpa oksigen (anaerob). Prinsip pembuatan biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerob untuk menghasilkan gas yang sebagian besar gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ).

Biogas dihasilkan apabila bahan-bahan organik terurai menjadi senyawa-senyawa pembentuknya dalam keadaan anaerob. Fermentasi anaerob ini biasanya terjadi secara alamiah di tanah yang basah, seperti dasar danau dan dalam tanah pada kedalaman tertentu. Proses fermentasi adalah penguraian bahan-bahan organik dengan bantuan mikroorganisme. Fermentasi anaerob dapat menghasilkan gas metana sedikitnya 50%. Gas inilah yang biasa disebut biogas. Biogas dapat dihasilkan dari fermentasi sampah organik seperti sampah pasar, daun-daunan, dan kotoran hewan bahkan kotoran manusia sekalipun (Firdaus, U.I.,2009).

Penggunaan biogas sebagai alternatif relatif lebih sedikit menghasilkan polutan, disamping berguna menyehatkan lingkungan karena mencegah pelapukan limbah sebagai sumber penyakit, bakteri dan polusi udara. Keunggulan biogas adalah dapat menghasilkan lumpur kompos maupun pupuk cair (Abdullah,1991). Sistem produksi biogas juga mempunyai beberapa keuntungan seperti (a) mengurangi pengaruh gas rumah kaca, (b) mengurangi polusi bau yang tidak sedap, (c) sebagai pupuk, dan (d) produksi daya serta panas (Koopmans,1998).

Biogas bersifat bersih, tidak berasap hitam selain itu derajat panasnya lebih tinggi dari bahan bakar minyak tanah dan kayu bakar serta dapat

disimpan untuk penggunaan yang akan datang (Darminto).

Komposisi biogas yang utama adalah gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dengan sedikit hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Komponen lainnya yang ditemukan dalam kisaran konsentrasi kecil antara lain senyawa sulfur organik, senyawa hidrokarbon terhalogenasi, gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ), gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ), gas karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) dan gas oksigen ( $\text{O}_2$ ) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Biogas

Komponen	Persentase (%)
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, dkk, 2007

Biogas yang dihasilkan apabila dimanfaatkan memiliki kesetaraan energi dengan sumber energi lain dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kesetaraan nilai biogas dengan bahan bakar lain.

Biogas	Bahan bakar lain
1m <sup>3</sup> biogas	LPG 0,46 kg
	Minyak tanah 0,62 liter
	Solar 0,52 liter
	Bensin 0,80 liter
	Kayu bakar 3,50 kg
	Gas kota 1,50 m <sup>3</sup>

Sumber : Sri,2008

## 2.2 Potensi Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi

Kotoran sapi adalah limbah hasil pencernaan sapi. Sapi memiliki sistem pencernaan khusus yang menggunakan mikroorganisme dalam sistem pencernaan yang berfungsi untuk mencerna selulosa dan lignin dari rumput berserat tinggi. Oleh karena itu kotoran sapi memiliki kandungan selulosa yang tinggi.

Di dalam kotoran sapi terdapat populasi mikroba yang cukup banyak jumlahnya. Kotoran sapi mengandung bakteri dan protozoa. Konsentrasi bakteri sekitar  $10^9$  setiap cc isi perut (Tillman,1991). Kotoran sapi sangat cocok sebagai sumber penghasil biogas sebagai biostarter dalam proses fermentasi, karena kotoran sapi tersebut telah mengandung bakteri penghasil gas metan yang terdapat dalam perut hewan ruminansia. (Sufyandi, 2001). komposisi kotoran sapi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kotoran sapi

Senyawa	Persentase (%)
Hemisellulosa	33,5
Selulosa	22,45
Lignin	5,43
Protein	17,28
Protein kasar	8,42
Silikat	9,42
Lemak	2,60
Kalium	0,53
Phospor	0,55
Abu	18,54
Air	10,29

Sumber : Candra,2012

Kotoran ternak yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil *biogas* (Sucipto,2009). Dengan mengolah limbah dari kotoran hewan ternak untuk menghasilkan biogas, maka diperoleh produk samping yaitu sejumlah limbah sisa kotoran ternak yang telah hilang gasnya (*slurry*) yang dapat dimanfaatkan sebagai 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.

Salah satu cara menentukan bahan organik yang sesuai untuk menjadi bahan masukan sistem *biogas* adalah dengan mengetahui perbandingan karbon (C) dan nitrogen (N) atau yang disebut rasio C/N. Jika rasio C/N terlalu tinggi, maka nitrogen akan makan sangat cepat oleh bakteri-bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan lagi bereaksi dengan sisa karbonnya. Berikut kandungan rasio C/N kotoran hewan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rasio C/N dalam beberapa jenis kotoran hewan

Jenis kotoran	Rasio C/N
Sapi	18
Kerbau	18
Kuda	25
Babi	25
Kambing/Domba	30
Ayam	15
Manusia	6-10

Sumber : Sutedjo. 2002

### 2.3 Potensi Air Rawa Sebagai Sumber Energi

Rawa adalah lahan genangan air secara ilmiah yang terjadi terus-menerus atau musiman akibat drainase yang terhambat serta mempunyai ciri-ciri khusus secara fisika, kimiawi dan biologis.

Rawa merupakan semua macam tanah berlumpur yang terbuat secara alami atau buatan manusia dengan mencampurkan air tawar dan air laut. Rawa memiliki cekungan yang lebih rendah dari pada daerah sekitar sehingga digenangi air. Berdasarkan sifat airnya, rawa dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu (a) rawa air tawar berisi air tawar, (b) rawa air payau berisi campuran air sungai dan air laut dan (c) rawa air asin berisi air asin.

Rawa-rawa mempunyai banyak nutrisi untuk kehidupan berbagai macam makhluk hidup. Rawa-rawa juga disebut “pembersih alamiah” karena rawa berfungsi untuk mencegah polusi atau pencemaran lingkungan alam (Hefni Effendi, 2003).

Ekosistem rawa air tawar merupakan ekosistem dengan habitatnya, yang sering digenangi air tawar yang kaya dengan mineral dan pH sekitar 6. Dengan kondisi permukaan air yang tidak selalu tetap, adakala naik dan adakala turun, bahkan suatu ketika dapat pula mengering (Zoer'aini Djamal, 2007).

Beberapa semburan gas, air dan lumpur ketika melakukan pengeboran pada air rawa sering mengganggu. Gas yang sering terkandung dalam semburan ini adalah gas metana ini merupakan gas yang mudah terbakar. Dan apabila diketahui jumlahnya serta keberadaannya tentunya gas metana ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Gas yang terkandung pada air rawa ini disebut gas biogenik. Gas biogenik adalah gas methane / metana ( $\text{CH}_4$ ) yang memang sudah sangat akrab dengan kehidupan manusia karena sangat umum ditemukan di mana saja di permukaan bumi ini. Gas ini dapat terbentuk dari tiga proses utama yaitu (Schoell, 1988):

1. Fermentasi bakteri anaerobik pada sampah, kotoran ternak atau sejenisnya. Gas yang dihasilkan proses ini disebut biogas methane atau gas biomasa.

2. Fermentasi bakteri asetat pada lapisan sedimen yang kaya zat organik (gas charged sediment) secara kimiawi:  $\text{CH}_2\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ .
3. Proses reduksi  $\text{CO}_2$  oleh bakteri dari batuan vulkanik atau magmatik alami secara kimiawi:  $\text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4$ .

#### 2.4 Bakteri Pembangkit Metana

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



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

Gambar 1. Bakteri *Green Phoskko-7*

Aktivator pembangkit metana *Green Phoskko* adalah konsorium mikroba unggulan bahan organik (limbah kota, pertanian, peternakan, dan lainnya).

Bakteri *anaerob* dalam aktivator *Green Phoskko-7* (GP-7) hidup secara saprofit dan bermanfaat secara *anaerob* dimanfaatkan dalam proses pembuatan

*biogas*. GP-7 sangat cepat untuk proses pembusukan bahan-bahan organik dibandingkan dengan GP-1, GP-2, GP-3, GP-4, GP-5, dan GP-6. Aktivator GP-7 hanya membutuhkan waktu 5 sampai 20 hari untuk menghasilkan metan. Sedangkan GP-1, GP-2, GP-3, GP-4, GP-5, dan GP-6 membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu bisa sampai 60 hari baru menghasilkan gas metan. *Green Phoskko* atau bakteri saprofit yang ada didalamnya hidup dan berkembang biak dan akan memecah persenyawaan organik sehingga menghasilkan gas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ , dan  $\text{CO}_2$ .

Kelebihan dari *Green Phoskko* (GP-7) sebagai berikut :

- a. Untuk mempercepat proses dekomposisi
- b. Menghilangkan bau busuk pada gas yang telah dihasilkan
- c. Menekan pertumbuhan mikroba
- d. Menambah hasil pembentukan metana

Pada *Digester* kondisi yang sesuai dengan kebutuhan bakteri ini adalah kedap udara, material memiliki  $\text{PH} > 6$ , kelembaban 60 %, dan temperatur  $> 30\text{ }^\circ\text{C}$  dan C/N ratio tertentu, akan mengurai atau mendekomposisi semua biomassa termasuk jenis sampah dan bahan organik dengan cepat yaitu 5 – 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, maka tahap kedua dari proses anaerob adalah pembentukan gas metana dengan bantuan *Arkhaebacteria* pembentuk metana seperti *Methanococcus*, *Methanobacillus*, *Methanobacterium*. Proses ini memiliki kemampuan untuk mengolah biomassa yang keberadaannya melimpah dan tidak bermanfaat menjadi produk yang lebih bernilai.

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 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 *Actinomycetes* dan bakteri *Lactobacillus* (asam laktat).

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

Kemampuan konsorsium mikroba *Green Phossko* sebagai Activator Organik sebagaimana di atas adalah menurunkan rasio C/N dalam cairan IPAL, yang awalnya tinggi yaitu  $> 50$  menjadi setara dengan C/N larutan. Dengan rasio antara karbohidrat dengan nitrogen rendah sebagaimana C/N tanah  $> 20$  maka bahan limbah menjadi dapat diuraikan.

Dosis dalam aplikasi *Green Phoskko* adalah 1 kg *Green Phoskko* dapat digunakan untuk mendaur ulang sampah organik sekitar 3 m<sup>3</sup> atau setara berat 1 ton. <http://kencana-online.indonetwork.co.id>

## **2.5 Proses Pembentukan Biogas**

Prinsip pembuatan *biogas* adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerob untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar merupakan metana dan karbon dioksida. Proses dekomposisi anaerob dibantu oleh sejumlah mikroorganisme. Temperatur yang baik untuk proses fermentasi adalah 30-55 °C. Pada temperatur tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan organik (Ginting, 2007).

Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut dengan digester atau bioreaktor anaerob. *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.

Pembentukan biogas secara biologis dengan memanfaatkan sejumlah mikroorganisme anaerob meliputi tiga tahap, yaitu tahap hidrolisis (tahap pelarutan), Tahap asidogenesis (tahap pengasaman), dan tahap metanogenesis (tahap pembentukan gas metana).

### **2.5.1 Hidrolisis/Tahap Pelarutan**

Hidroisis adalah langkah pertama pada proses anaerob, dimana bahan organik yang kompleks (polimer) terdekomposisi menjadi unit yang lebih kecil. 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). Reaksi hidrolisis dapat dilihat pada Gambar 2. di bawah ini:

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 :	
$(C_6H_{10}O_5)_n$	$+ n H_2O \quad n C_6H_{12}O_6$
Selulosa	Air                      Glukosa
$(C_6H_{10}O_6)_x$	$+ x H_2O \quad (C_6H_{12}O_6)$
Karbohidrat	Air                      Glukosa

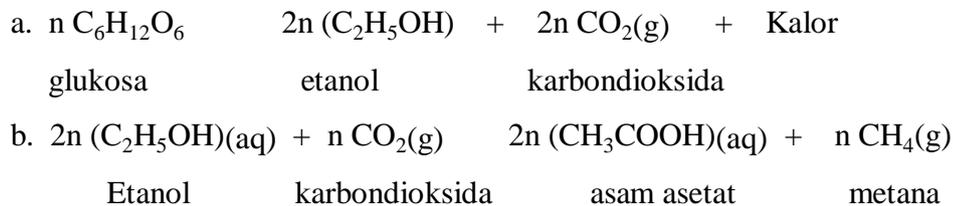
Sumber : Lee, 2011  
Gambar 2. Reaksi Hidrolisis

### 2.5.2 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 butirir, 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., 2007).

Asam organik rantai pendek yang dihasilkan dari tahap fermentasi dan asam lemak yang berasal dari hidrolisis lemak akan difermentasi menjadi asam asetat,  $H_2$ , dan  $CO_2$  oleh bakteri asetogenik (Drapcho et al., 2008). Pada fase ini, mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi  $H_2$  dan  $CO_2$  untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein et al., 2008).

Tahap asetogenesis berlangsung pada temperatur 25°C didalam digester (Price dan Cheremisinoff, 1981). Reaksi asetogenesis dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini :



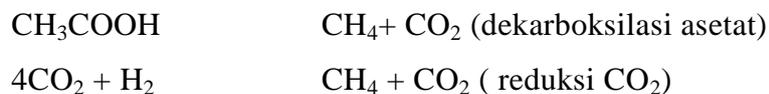
Sumber : Lang, 2007

Gambar 3. Reaksi Asetogenesis

### 2.5.3 Metanogenesis

Pada tahap metanogenesis, terjadi pembentukan gas metan. Metanogenesis ini sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi. Komposisi bahan baku, temperatur dan pH adalah contoh faktor yang mempengaruhi proses pembentukan gas metan. Digester over loading, perubahan suhu atau masuknya besar oksigen dapat mengakibatkan penghentian produksi metana (Dublein dkk,2008).

Pada akhirnya metana diproduksi dengan dua cara. Pertama mengkonversikan asetat menjadi karbon dioksida dan metana dipengaruhi oleh organisme asetropik dan cara lainnya adalah dengan mereduksi karbon dioksida dengan hidrogen oleh organisme hidrogenotropik. Bakteri ini adalah reaksi utama (reaksi metanogenesis) yang terlibat dalam konversi substrat menjadi metana dapat dilihat pada Gambar 4.



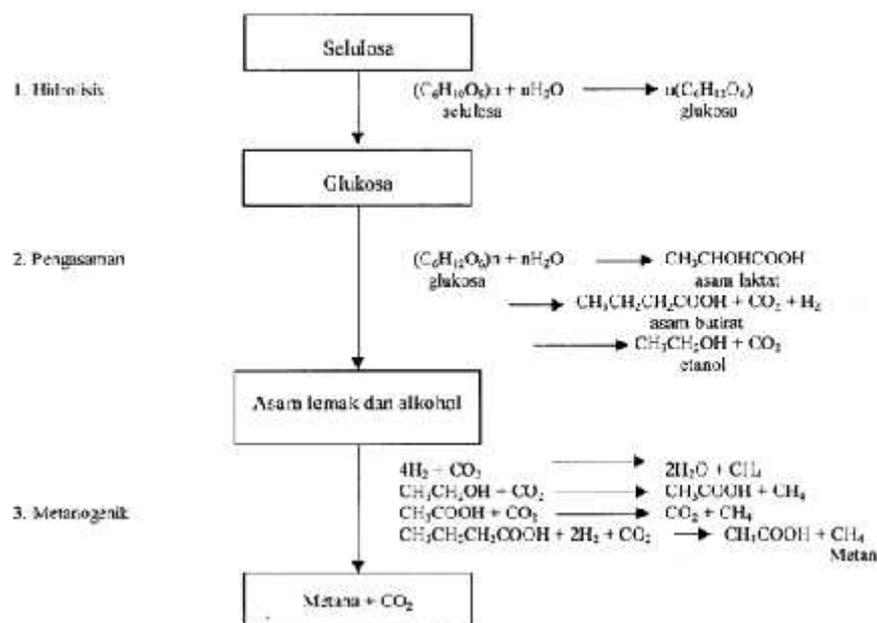
Sumber : *Broughton 2009*

Gambar 4. Reaksi Pembentukan Metana

Substrat metanogen termasuk asetat, metanol, hidrogen, karbon dioksida, format, methylamines, metil merkaptan dan logam berkurang.

Dalam kebanyakan ekosistem non-gastrointestinal 70% atau lebih dari metana yang terbentuk berasal dari asetat, tergantung dari jenis organik (Broughton, 2009) dan 30% oleh mengkonsumsi hidrogen (Lu,2006). Hanya ada dua kelompok yang dikenal metanogen yang memecah asetat: *Methanosaeta* dan *Methanosarcina*, sementara ada banyak kelompok yang berbeda dari metanogen yang menggunakan gas hidrogen, termasuk *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanogenium*, dan *Methanobrevibacter*. *Methanosaeta* dan *Methanosarcina* memiliki tingkat pertumbuhan yang berbeda dan juga berbeda mengenai kemampuan mereka untuk memanfaatkan aseta. *Methanosarcina* tumbuh lebih cepat, tetapi menemukan kesulitan untuk menggunakan asetat pada konsentrasi rendah, dibanding *Methanosaeta*. Namun, kehadiran organisme ini dipengaruhi tidak hanya oleh konsentrasi asetat, tetapi juga oleh faktor-faktor seperti beban frekuensi dan pencampuran. Karena prodisen matana umumnya tumbuh sangat lambat, hal ini sering tahap membatasi laju dari proses biogas (Schnurer, 2009).

Biogas terbentuk dari perombakan bahan organik kompleks, bahan ini akan mengalami perombakan secara anaerob melalui 3 tahap dimulai dari hidrolisis hingga metanogenesis. Tahap-tahap pembentukan biogas secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber : Grady dkk,1999

Gambar 5. Skema Proses Perombakan Secara Anaerob

## 2.6 Faktor yang mempengaruhi Produksi Biogas

### 2.6.1 Ketersediaan substrat

Bakteri anaerob membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung nitrogen, fosfor, magnesium, sodium, mangan, kalsium dan kobalt (*Space and Mc Carthy di dalam Gunerson and Stuckey, 1986*). Level nutrisi harus sekurang-kurangnya lebih dari konsentrasi optimum yang dibutuhkan oleh bakteri metanogenik, karena apabila terjadi kekurangan nutrisi akan menjadi penghambat bagi pertumbuhan bakteri. Penambahan nutrisi dengan bahan yang sederhana seperti glukosa, buangan industri, dan sisa tanaman terkadang diberikan dengan tujuan menambah pertumbuhan di dalam digester. 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 berlebih, sangat penting untuk mempertahankan pada level yang optimal

untuk mencapai digester yang baik tanpa adanya efek toksik (*Gunerson and Stuckey, 1986*)

### **2.6.2 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 lebih baik bila pH bahan berada antara 6,5 sampai 7,5. Nilai pH terbaik untuk suatu digester yaitu sekitar 7,0. Apabila nilai pH dibawah 6,5, maka aktivitas bakteri metanogen akan menurun dan apabila nilai pH dibawah 5,0, maka fermentasi akan terhenti (Yani dan Darwis, 1990). Saat digester mempunyai konsentrasi asam volatil yang tinggi maka pH yang rendah yaitu dibawah 6,5 akan memberikan efek racun pada bakteri metanogenik (Zahara, 2014). Oleh karena itu, perlu adanya penambahan natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) yang berfungsi untuk menyangga pH. Bila proses fermentasi berlangsung dalam keadaan normal dan anaerob, 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 metana 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*, *Methanococcus*, dan *Methanothrix* (Haryati, 2006).

### 2.6.3 Temperatur

Temperatur sangat menentukan lamanya proses pencernaan di digester. Bila temperatur meningkat, umumnya produksi biogas juga meningkat sesuai dengan batas-batas sekemampuan bakteri pencerna bahan organik. Bakteri yang umum dikenal dalam proses fermentasi anaerob, misalnya : *Psychrophilic* pada temperatur < 15 °C, bakteri *Mesophilic* pada temperatur 15 °C – 45 °C, bakteri *Thermophilic* pada temperatur 45 °C – 65 °C. Umumnya digester anaerob skala kecil yang terdapat di sekitar, beroperasi pada temperatur 25 °C – 37 °C, atau pada lingkungan tempat bakteri *Mesophilic* hidup.

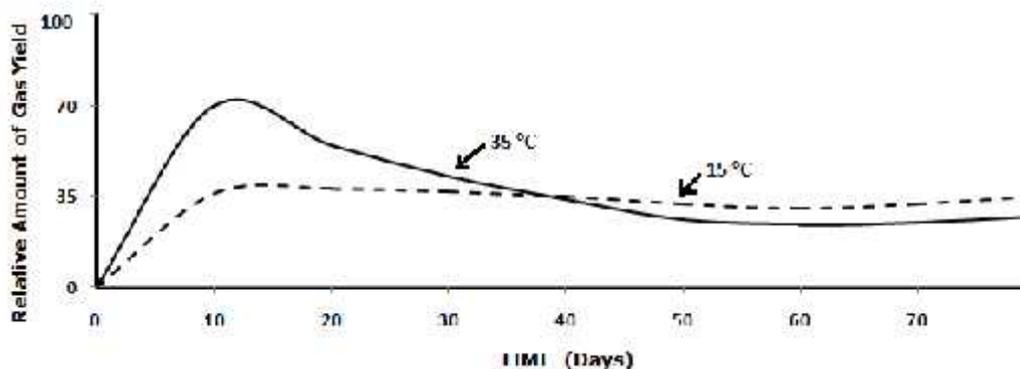
Temperatur yang optimal untuk digester adalah temperatur 30 – 35 °C, kisaran temperatur ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi metana di dalam digester dengan lama dan proses yang pendek. Temperatur yang tinggi/ range *Thermophilic* jarang digunakan karena sebagian 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 tinggi , khususnya pada iklim dingin.

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 di bawah temperatur aktivitas, bakteri akan berhenti beraktivitas dan pada range ini bakteri fermentasi menjadi dorman sampai temperatur naik kembali hingga batas aktivitas. Apabila bakteri bekerja pada temperatur 40 °C produksi gas akan berjalan dengan cepat hanya beberapa jam tetapi untuk sisanya hari itu hanya akan diproduksi gas yang sedikit.

Massa bahan yang sama akan dicerna dua kali lebih cepat pada temperatur 35 °C dibanding pada temperatur 15 °C dan menghasilkan hampir 15 kali lebih banyak gas pada waktu proses yang sama. Pada gambar 2. 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 gas yang diproduksi pada jumlah bahan yang tetap, meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur (Meynell, 1976). Dapat dilihat pada Gambar 6.



Sumber : [rires2.umm.ac.id](http://rires2.umm.ac.id)

Gambar 6. Perbandingan Tingkat Produksi Gas Pada 15 °C dan 35 °C

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 te,peratur 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 setabil apabila temperatur tersebut telah dicapai. Panas sangat penting untuk meningkatkan temperatur bahan yang masuk kedalam biodigester. Kehilangan panas pada biodigester dapat diatasi dengan meminimalkan kehilangan panas dari bahan. Misalnya, sampah segar memiliki temperatur 35 °C. Apabila jarak waktu antara memasukan sampah ke biodigester dapat diminimalkan, maka kehilangan panas dari sampah dapat dikurangi dan panas yang dibutuhkan untuk mencapai 35 °C lebih sedikit.

#### **2.6.4 Lama Proses**

Lama proses atau jumlah hari bahan terproses di dalam 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 di dalam 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 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.

#### **2.6.5 Pengadukan Bahan Organik**

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

#### **2.6.6 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.

#### **2.6.7 *Volatile Solids (VS)***

*Volatile Solids* 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 temperatur 538 °C disebut *Volatile Solid*.

### 2.6.8 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 antar 1,15 – 1,2 bar di dalama digester.

### 2.6.9 Inhibitor

Kapasitas suatu senyawa dapat menghambat aktivitas proses didalam digetser, tergantung pada konsentrasinya. Diantaranya senyawa yang bersifat toksik pada konsentrasi tinggi adalah sulfide, logam terlarut, antibiotic, alkali tanah (natrium, kassium, magnesium) san ammonia. Sebagai senyawa tersebut terlarut dan bersifat toksik pada pH rendah (Higa,1990).

Biogas merupakan produk dari pendegradasian substrat organik secara anaerob. Karena proses ini menggunakan kinerja campuran mikroorganisme dan tergantung terhadap berbagai faktor seperti suhu, pH, *hydraulic retention*, rasio C:N dan sebagainya sehingga proses ini berjalan lambat (Syahputra,2009).

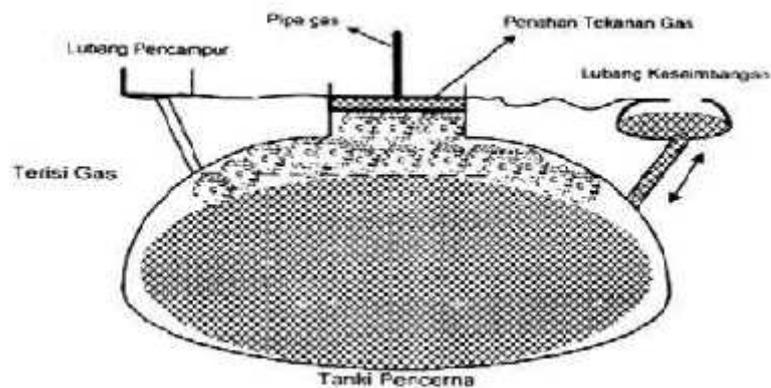
Kondisi *anaerob* adalah kondisi dalam ruang tertutupp (kedap udara) dan tidak menerima oksigen. Proses yang berlangsung dalam kondisi *anaerob* akan terhambat atau gagal jika ada sedikit saja oksigen yang masuk, hal ini terjadi karena dalam kondisi *anaerob* dibutuhkan aktifitas bakteri pembentuk metan yang terdiri dari bakteri pembentuk gas yang tidak termasuk sebagai pengoksidasi metan. Oksigen terlarut sebanyak 0,01 mg/l dapat menghambat pertumbuhan bakteri tersebut (Gaur,1983).

## 2.7 Reaktor Biogas

Reaktor biogas adalah suatu alat pengolah bahan buangan/ limbah oganik menjadi biogas. Ada beberapa jenis reaktor biogas yang dikembangkan diantaranya reaktor kubah tetap, reaktor terapungan dan reaktor balon.

### 2.7.1 Reaktor kubah tetap

Pada reaktor ini memiliki dua bagian yaitu digester sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana. Bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu menggunakan batu, batu bata atau beton. Strukturnya harus kuat karena menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian kedua adalah kubah tetap. Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah tetap bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak. Gas yang dihasilkan dari material organik pada digester akan mengalir dan disimpan di bagian kubah. Skema reaktor kubah dapat dilihat pada Gambar 7.



Sumber : <http://andrew.getux/2008>  
Gambar 7. Skema Reaktor Kubah Tetap

Digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kelebihan dan kekurangan reaktor kubah tetap

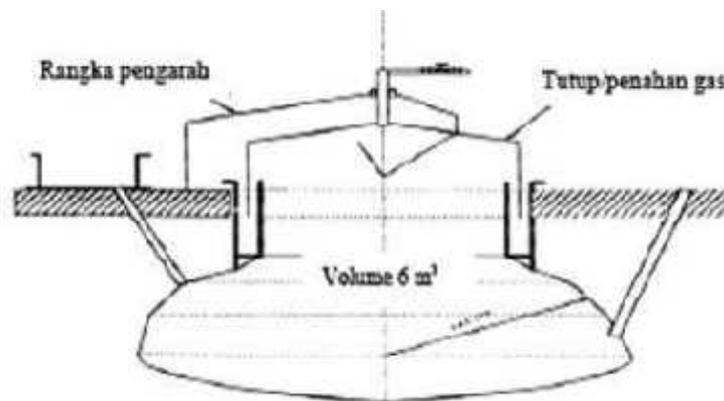
Kelebihan	Kekurangan
1. Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah	1. bagian dalam digester tidak terlihat sehingga kebocoran sulit diketahui

- Lanjutan Tabel 5.
- |  |  |
|--|--|
| 2. Biaya konstruksi rendah                 | 2. rawan terjadi keretakan di bagian penampung gas |
| 3. Tidak ada bagian yang bergerak          | 3. tekanan gas sangat tinggi                       |
| 4. Dapat dipilih dari material tahan karat | 4. temperatur digetser rendah                      |

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

### 2.1.1 Reaktor kubah apung

Reaktor ini memiliki bagian digetser yang sama dengan reaktor kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak menggunakan drum. Drum ini dapat bergerak naik turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam getser. pergerakan drum mengapung pada cairan dan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan. terdiri dari satu digester dan penampung gas yang bisa bergerak. (Darminto, 1984). Skema digetser kubah apung dapat dilihat pada Gambar 8. Reaktor kubah apung mempunyai kelebihan dan kekurangan dapat dilihat pada Tabel 6.



Sumber : <http://andrew.getux.com/2008>  
Gambar 8. Skema Reaktor Kubah apung

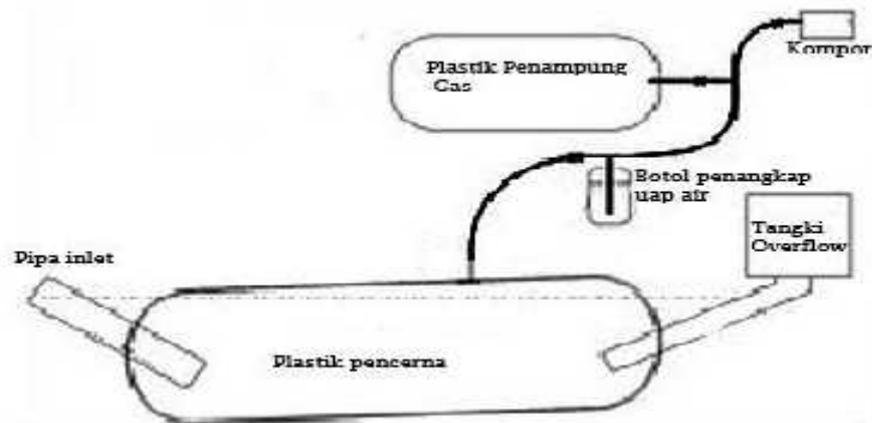
Tabel 6. Kelebihan dan kekurangan Reaktor kubah apung

Kelebihan	Kekurangan
1. Tekanan gas konstan karena penampung gas yang banyak bergerak mengikuti jumlah gas	1. Bagian dalam digester tidak terlihat sehingga kebocoran sulit diketahui
2. Biaya konstruksi rendah	2. Digester rawan terjadi korosi sehingga waktu pakai menjadi pendek
3. Jumlah gas bisa dengan mudah diketahui dengan melihat naik turunnya drum	3. membutuhkan teknik khusus untuk membuat tampungan gas bergerak seiring naik atau turunnya produksi gas

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

### 2.7.3 Reaktor Jenis Balon

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. reaktor ini terdiri dari satu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpan gas masing masing bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat. Material organik terletak dibagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas. Skema digester jenis balon dapat dilihat pada Gambar 9. Dan reaktor balon mempunyai kelebihan dan kelemahan dapat dilihat pada Tabel 7.



sumber : *Shodikin, 2011*  
Gambar 9. Skema Reaktor jenis balon

Tabel 7. Kelebihan dan kekurangan reaktor jenis balon

Kelebihan	Kekurangan
1. Biaya pembuatan murah	1. Waktu pakai relatif singkat
2. Mudah dibersihkan	2. Mudah mengalami kerusakan
3. Mudah dipindahkan	

sumber : *Shodikin, 2011*

Dari segi operasional reaksi yang digunakan, digester terbagi menjadi dua tipe yaitu :

### 1. Tipe *Batch Digestion*

Pada tipe ini bahan baku dimasukkan ke dalam digester, kemudian dibiarkan bereaksi selama 6 - 8 minggu. Biogas yang dihasilkan ditampung dan disimpan dalam penampung gas. Setelah itu digester dikosongkan dan dibersihkan sehingga siap untuk dipakai lagi.

Kelebihan tipe ini adalah kualitas hasilnya bisa lebih stabil karena tidak ada gangguan selama reaksi berjalan. Namun untuk skala industri, tipe ini tidak efektif dan mahal karena membutuhkan minimal dua buah digester yang dipakai bergantian agar dapat memproduksi biogas secara kontinyu.

### 2. Tipe *Continuous Digestion*

Pada tipe ini proses pemasukan bahan baku dan pengeluaran *slurry* sisa proses dilakukan secara berkala. Jumlah material yang masuk dan

keluar harus diatur secara seimbang sehingga jumlah material yang ada di dalam digester selalu tetap.

Kekurangan dari tipe ini adalah membutuhkan pengoperasian dan pengawasan yang lebih ketat agar reaksi selalu berjalan dengan baik. Namun untuk skala industri, tipe ini lebih mudah untuk dimaksimalkan hasilnya dan lebih murah karena hanya membutuhkan satu buah digester untuk menghasilkan biogas secara kontinyu.

Digester dibagi menjadi dua tipe berdasarkan jumlah tahapan prosesnya, yaitu :

#### 1. *Single Stage* (Satu Tahap)

Seluruh proses pembuatan biogas dilakukan hanya dalam satu digester saja.

#### 2. *Multi Stage* (Multi Tahap)

Proses dilakukan di dalam dua buah digester yang bekerja secara seri. Pada digester pertama berlangsung reaksi *hydrolysis*, *acetogenesis* dan *acidogenesis*. Setelah itu material dipanaskan lalu dipompa ke digester kedua untuk reaksi *methanogenesis* (Purnama, C., 2009).

### **2.8 Gas kromatografi**

Gas kromatografi adalah suatu cara pemisahan lain yang penting didalam analisis kimia. Didalam kromatografi diperlukan adanya dua fase yang tidak saling menyampur, yaitu fase diam dan fase gerak. Fase diamnya disini dapat berupa zat padat yang dicampurkan dalam satu kolom dan dapat juga berupa cairan terserap berupa lapisan tipis berupa butir-butir yang halus pada suatu zat padat pendukung yang ditempatkan di dalam kolom. Fase geraknya dapat berupa gas (gas pembawa) atau cairan. Campuran yang akan dipisahkan komponen-komponennya, dimasukkan ke dalam kolom yang mengandung fase diam. Dengan bantuan fase gerak komponen-komponen

campuran itu kemudian dibawa bergerak melalui fase diam di dalam kolom. Perbedaan antaraksi atau afinitas antara komponen-komponen campuran itu dengan dua fase, menyebabkan komponen-komponen itu bergerak dengan kecepatan berbeda melalui kolom. Akibat adanya perbedaan kecepatan komponen-komponen itu terpisah satu sama lain (Oktarini, 2009).

