

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Sejarah Pengembangan Teknologi Konversi Kotoran Sapi Menjadi Biogas**

Sejarah awal penemuan biogas pada awalnya muncul di benua Eropa. Biogas yang merupakan hasil dari proses *anaerobik digestion* ditemukan seorang ilmuwan bernama Alessandro Volta yang melakukan penelitian terhadap gas yang dikeluarkan rawa-rawa pada tahun 1770. Dan pada tahun 1776 mengaitkannya dengan proses pembusukan bahan sayuran, sedangkan Willam Henry pada tahun 1806 mengidentifikasi gas yang dapat terbakar tersebut sebagai metan. Pada perkembangannya, pada tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses *anaerobik digestion*. Selanjutnya, tahun 1884 seorang ilmuwan lainnya bernama Pasteur melakukan penelitian tentang biogas menggunakan mediasi kotoran hewan. Becham (1868), murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882), memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan metan. Sedangkan dalam kebudayaan Mesir, China, dan Roma kuno diketahui telah memanfaatkan gas alam ini untuk dibakar dan digunakan sebagai penghasil panas.

Perkembangan biogas mengalami pasang surut, seperti pada akhir abad ke-19 tercatat Jerman dan Perancis memanfaatkan limbah pertanian menjadi beberapa unit pembangkit yang berasal dari biogas. Selama perang dunia II banyak petani di Inggris dan benua Eropa lainnya yang membuat digester kecil untuk menghasilkan biogas. Namun, dalam perkembangannya karena harga BBM semakin murah dan mudah diperoleh, pada tahun 1950-an pemakaian biogas di Eropa mulai ditinggalkan.

Pada era tahun 1950-an Eropa mulai meninggalkan biogas dan beralih ke BBM, hal sebaliknya justru terjadi di negara-negara berkembang seperti India dan Cina yang membutuhkan energi murah dan selalu tersedia. Cina menggunakan teknologi biogas dengan skala rumah tangga yang telah dimanfaatkan oleh hampir sepertiga rumah tangga di daerah pinggiran Cina. Perkembangan biogas di Cina bisa dikatakan mengalami perkembangan yang signifikan, pada tahun 1992 sekitar

lima juta rumah tangga menggunakan instalasi biogas sehingga biogas menjadi bahan bakar utama sebagian penduduk Cina.

Seperti yang diungkapkan Prof Li Kangmin dan Dr Mae-Wan Ho, *director of the The Institute of Science in Society*, biogas merupakan jantung dari tumbuhnya *eco-economy* di Cina, namun beberapa kendala harus diselesaikan untuk meraih potensi yang lebih besar.

Perkembangan yang senada juga terjadi di India, tahun 1981 mulai dikembangkan instalasi biogas di India. India merupakan negara pelopor dalam penggunaan energi biogas di benua Asia dan pengguna energi biogas ini dilakukan sejak masih dijajah oleh Inggris. India sudah membuat instalasi biogas sejak tahun 1900. Negara tersebut mempunyai lembaga khusus yang meneliti pemanfaatan limbah kotoran ternak yang disebut *Agricultural Research Institute* dan *Gobar Gas Research Station*. Data yang diperoleh menyebutkan bahwa pada tahun 1980 di seluruh India terdapat 36.000 instalasi gas bio yang menggunakan kotoran sapi sebagai bahan bakar. Teknik biogas yang digunakan sama dengan teknik biogas yang dikembangkan di Cina yaitu menggunakan model sumur tembok dan dengan drum serta dengan bahan baku kotoran ternak dan limbah pertanian. Tercatat sekitar tiga juta rumah tangga di India menggunakan instalasi biogas pada tahun 1999.

Menginjak abad ke 21 ketika sadar akan kebutuhan energi pengganti energi fosil, di berbagai negara mulai menggalangkan energi terbarukan, salah satunya biogas. Tak ketinggalan negara adidaya seperti Amerika Serikat menunjukkan perhatian khususnya bagi perkembangan biogas. Bahkan, Departemen Energi Amerika Serikat memberikan dana sebesar US\$ 2,5 juta untuk perkembangan biogas di California.

## **2.2 Pengertian Biogas**

Biogas merupakan bahan bakar gas dan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara anaerobic digestion atau fermentasi anaerob dari bahan organik dengan bantuan bakteri metanogenesis.

Bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas yaitu bahan biodegradable seperti bahan organik (Price dan Cheremisinoff, 2008).

Biogas merupakan sebuah proses produksi gas bio dari material organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi material organik ini tanpa melibatkan oksigen disebut anaerobic digestion gas yang dihasilkan sebagian besar (lebih 50%) berupa metana. Biogas sebagian besar mengandung gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dan ammonia ( $\text{NH}_3$ ) serta hydrogen dan ( $\text{H}_2$ ), nitrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) (Saputri dkk., 2014).

Sifat-sifat komponen gas utama tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1.  $\text{CH}_4$  gas yang dipertimbangkan sebagai bahan bakar yang berguna. Gas ini tidak beracun, tidak berbau, dan lebih ringan dari udara. Pembakaran  $\text{CH}_4$  dikonversi menjadi molar ekivalen dari  $\text{CO}_2$  dan air.
2.  $\text{CO}_2$  adalah gas inert yang tidak berwarna, tidak berbau, dan lebih berat dari udara.  $\text{CO}_2$  merupakan gas yang agak beracun, sebagai asphyxiant dan memiliki occupational exposure standar (OES) 5000 ppm. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang lebih tinggi dalam biogas menghasilkan biogas dengan nilai kalori yang rendah.
3.  $\text{H}_2\text{S}$  suatu gas yang tidak berwarna. Karena lebih berat dari udara  $\text{H}_2\text{S}$  ekstra berbahaya pada tempat-tempat rendah. Pada konsentrasi rendah gas ini memiliki bau khusus seperti telur busuk. Pada konsentrasi tinggi, akan lebih berbahaya karena tidak berbau. Dengan sifat racunnya hidrogen sulfida ditetapkan OES 10 ppm. Selain itu  $\text{H}_2\text{S}$  juga bersifat korosif yang dapat menyebabkan problem dalam proses pembakaran dari biogas. Dalam pembakarannya  $\text{H}_2\text{S}$  akan dikonversi menjadi  $\text{SO}_2$  yang juga beracun dan menyebabkan asidifikasi.
4.  $\text{NH}_3$  adalah gas pungent dan lachrymatory yang lebih ringan dari udara. OES ditetapkan 10 ppm. Pembakaran gas ini dihasilkan  $\text{NO}_x$ . Umumnya, konsentrasi  $\text{NH}_3$  dalam biogas rendah.
5. Uap air, walaupun merupakan hasil tidak berbahaya, akan menjadi korosif jika berkombinasi dengan  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  dan khususnya  $\text{H}_2\text{S}$  dari biogas.

Komposisi kimia dari bahan bakar biogas dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Komposisi Kimia dari Bahan Bakar Biogas

Komponen	Konsentrasi (%V)
Metana (CH <sub>4</sub> )	55 – 70
Karbondioksi (CO <sub>2</sub> )	25 – 50
Air (H <sub>2</sub> O)	1 – 5
Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0 – 0.5
Nitrogen	0 – 5
Amoniak	0 – 0.05

Sumber : Dublen dan Steinhauer 2008

### 2.3 Potensi Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi

Kotoran sapi merupakan bahan baku potensial dalam pembuatan biogas karena mengandung pati dan lignoselulosa (Deublein et al., 2008). Biasanya, kotoran sapi dimanfaatkan sebagai pupuk dan sisanya digunakan untuk memproduksi gas metana menggunakan proses anaerob. Kotoran sapi adalah biomassa yang mengandung karbohidrat, protein, dan lemak. Drapcho et al. (2008) berpendapat bahwa biomassa yang mengandung karbohidrat tinggi akan menghasilkan gas metana yang rendah dan CO<sub>2</sub> yang tinggi, jika dibandingkan dengan biomassa yang mengandung protein dan lemak dalam jumlah yang tinggi. Secara teori, produksi metana yang dihasilkan dari karbohidrat, protein, dan lemak berturut-turut adalah 0,37 ; 1,0 ; 0,58 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per kg bahan kering organik. Kotoran sapi mengandung ketiga unsur bahan organik tersebut sehingga dinilai lebih efektif untuk dikonversi menjadi gas metana (Drapcho et al., 2008).

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

Salah satu cara menentukan bahan organik yang sesuai untuk menjadi bahan masukan sistem biogas adalah dengan mengetahui perbandingan karbon

(C) dan nitrogen (N) atau disebut rasio C/N. Beberapa percobaan yang telah dilakukan oleh ISAT menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme dari bakteri metanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20.

## **2.4 Konversi Kotoran Sapi Menjadi Biogas**

### **2.4.1 Proses Pembentukan Biogas**

Proses pembentukan biogas dilakukan secara anaerob, bakteri merombak bahan organik yang terdapat pada kotoran sapi yang telah dijelaskan diatas menjadi biogas dan pupuk organik, proses pelapukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob.

Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut dengan digester atau bioreaktor anaerobik. Barnett et al. menyatakan bahwa terdapat tiga keuntungan dari instalasi penghasil biogas yaitu:

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

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

#### **1. Hidrolisis/Tahap Pelarutan**

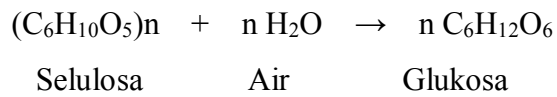
Pada tahap ini terjadi penguraian bahan – bahan organik mudah larut yang terdapat pada kotoran sapi dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer yang larut dalam air). Senyawa kompleks ini, antara lain protein,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

Protein → asam amino, dipecah oleh enzim protease

Selulosa → glukosa, dipecah oleh enzim selulase

Lemak → asam lemak rantai panjang, dipecah oleh enzim lipase

Reaksi selulosa menjadi glukosa adalah sebagai berikut :



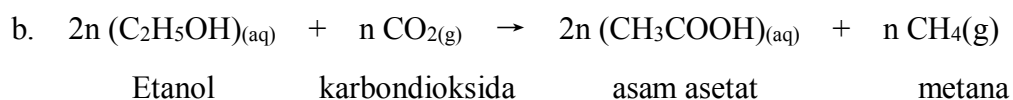
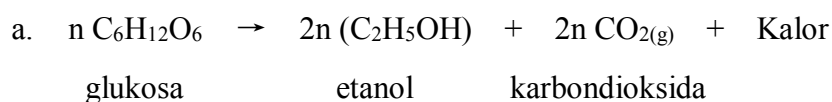
## 2. Pengasaman/Asetogenesis

Pada tahap pengasaman, komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari perombakan gula – gula sederhana tadi yaitu asam asetat, propionate, format, laktat, alkohol dan sedikit butirat, 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*, *Escherichia*, *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,  $\text{H}_2$ , dan  $\text{CO}_2$  oleh bakteri asetogenik (Drapcho et al., 2008). Pada fase ini, mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi  $\text{H}_2$  dan  $\text{CO}_2$  untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein et al., 2008).

Tahap asetogenesis berlangsung pada temperatur  $25^\circ\text{C}$  didalam digester (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi :



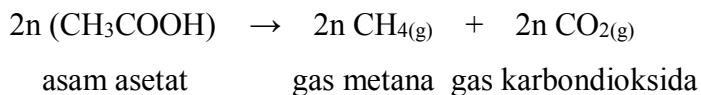
## 3. Metanogenesis

Pada tahap metanogenesis, terjadi pembentukan gas metan. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini yang akan mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hidrogen sulfida. Bakteri yang berperan dalam proses ini, antara lain *Methanococcus*, *Methanobacillus*, *Methanobacterium*. Terbentuknya gas metana terjadi karena adanya reaksi dekarboksilasi asetat dan reduksi  $\text{CO}_2$ .

Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25°C di dalam digester.

Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH<sub>4</sub>, 30 % CO<sub>2</sub>, sedikit H<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi :



#### 2.4.2 Parameter yang Mempengaruhi Proses Produksi Biogas

Laju proses pembuatan biogas sangat ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi mikroorganisme, diantaranya ialah temperatur, pH, salinitas dan ion kuat, nutrisi, inhibisi dan kadar toksisitas pada proses, serta konsentrasi padatan. Berikut ini adalah pembahasan tentang faktor-faktor tersebut :

##### 1. Temperatur

Gas metana dapat diproduksi pada tiga range temperatur sesuai dengan bakteri yang hadir. Bakteri psychrophilic 0 – 7°C, bakteri mesophilic pada temperatur 13 – 40°C, sedangkan thermophilic pada temperatur 55 – 60°C. Temperatur yang optimal untuk digester adalah temperatur 30 – 35°C, kisaran temperatur ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi metana di dalam digester dengan lama proses yang pendek. Temperatur yang tinggi/range thermophilic jarang digunakan karena sebagian besar bahan sudah dicerna dengan baik pada range temperatur mesophilic, selain itu bakteri thermophilic mudah mati karena perubahan temperatur, keluaran/ sludge memiliki kualitas yang rendah untuk pupuk, berbau dan tidak ekonomis untuk mempertahankan pada temperatur yang tinggi, khususnya pada iklim dingin.

Bakteri mesophilic adalah bakteri yang mudah dipertahankan pada kondisi *buffer* yang mantap (*well buffered*) dan dapat tetap aktif pada perubahan temperatur yang kecil, khususnya bila perubahan berjalan perlahan. Pada temperatur yang rendah 15°C laju aktivitas bakteri sekitar setengahnya dari laju aktivitas pada temperatur 35°C. Pada temperatur 10 – 7°C dan dibawah

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

Seperti halnya proses secara biologi tingkat produksi metana berlipat untuk tiap peningkatan temperatur sebesar 10 – 15°C. Jumlah total dari gas yang diproduksi pada jumlah bahan yang tetap, meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur (*Meynell, 1976*).

Lebih lanjut, yang harus diperhatikan pada proses biometanisasi adalah perubahan temperatur, karena proses tersebut sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Perubahan temperatur tidak boleh melebihi batas temperatur yang diijinkan. Untuk bakteri psychrophilic selang perubahan temperatur berkisar antara 2°C/jam, bakteri mesophilic 1°C/jam dan bakteri thermophilic 0.5°C/jam. Walaupun demikian perubahan temperatur antara siang dan malam tidak menjadi masalah besar untuk aktivitas metabolisme (*Sufyandi, 2001*).

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

## 2. Derajat keasaman (pH)

Pada dekomposisi anaerob, faktor pH sangat berperan karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum. Bahkan dapat menyebabkan kematian yang pada akhirnya dapat menghambat perolehan gas metana. Bakteri-bakteri anaerob membutuhkan pH optimal antara 6,2 – 7,6, tetapi pH yang terbaik adalah 6,6 – 7,5. Pada awalnya media mempunyai pH ± 6



selanjutnya naik sampai 7,5. Bila pH lebih kecil atau lebih besar maka akan mempunyai sifat toksik terhadap bakteri metanogenik. Bila proses anaerob sudah berjalan menuju pembentukan biogas, pH berkisar 7-7,8. Pengontrolan pH secara alamiah dilakukan oleh ion  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{HCO}_3^-$ . Ion-ion ini akan menentukan besarnya pH (Yunus, 1991).

### 3. Nutrisi dan Penghambat bagi Bakteri Anaerob

Bakteri anaerobik membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi untuk menjalankan proses reaksi anaerob. Nutrisi tersebut dapat berupa vitamin esensial dan asam amino yang dapat disuplai ke media kultur dengan memberikan nutrisi tertentu untuk pertumbuhan dan metabolismenya. Selain itu, juga dibutuhkan mikronutrien untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme, misalnya besi, magnesium, kalsium, natrium, barium, selenium, kobalt dan lain-lain (Malina, 1992). Bakteri anaerobik membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung nitrogen, fosfor, magnesium, sodium, mangan, kalsium dan kobalt (Space and McCarthy, 1986). Tabel konsentrasi kandungan kimia mineral-mineral yang diizinkan yang terdapat dalam proses pencernaan/digestion limbah organik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Kimia yang Diizinkan pada Proses *Digestion* Limbah Organik

Metal	mg/Liter
Sulfat	5000
Natrium klorida	40000
Tembaga	100
Krom	200
Nikel	200-500
Sianida	25
ABSS ( <i>Alkyl Benzene Sulfonate</i> )	40 ppm
Amonia	3000
Natrium	5500
Kalium	4500
Kalsium	4500
Magnesium	1500

Sumber : Saragih, B. R., 2010

Level nutrisi harus sekurang-kurangnya lebih dari konsentrasi optimum yang dibutuhkan oleh bakteri metanogenik, karena apabila terjadi kekurangan

nutrisi akan menjadi penghambat bagi pertumbuhan bakteri. Penambahan nutrisi dengan bahan yang sederhana seperti glukosa, buangan industri, dan sisa-sisa tanaman terkadang diberikan dengan tujuan menambah pertumbuhan di dalam digester. Walaupun demikian, kekurangan nutrisi bukan merupakan masalah bagi mayoritas bahan, karena biasanya bahan memberikan jumlah nutrisi yang mencukupi (Gunerson and Stuckey, 1986).

Nutrisi yang penting bagi pertumbuhan bakteri, dapat bersifat toksik apabila konsentrasi di dalam bahan terlalu banyak. Pada kasus nitrogen berlebihan, sangat penting untuk mempertahankan pada level yang optimal untuk mencapai digester yang baik tanpa adanya efek toksik (Gunerson and Stuckey, 1986).

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

#### 4. Faktor Konsentrasi Padatan (*Total Solid Content/TS*)

*Total solid content* adalah jumlah material padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses *digester* terjadi yang mengindikasikan laju penghancuran/pembusukan material padatan limbah organik. Konsentrasi ideal padatan untuk memproduksi biogas adalah 7-9% kandungan kering. Kondisi ini dapat membuat proses *digester* anaerob berjalan dengan baik. Nilai TS sangat mempengaruhi proses pencernaan/*digester* bahan organik.

#### 5. *Volatile Solids (VS)*

VS merupakan bagian padatan TS yang berubah menjadi fase gas pada tahap asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik. Dalam pengujian skala laboratorium, berat saat bagian padatan bahan organik hilang terbakar pada proses gasifikasi pada suhu 538°C disebut *volatile solid*. Berikut ini adalah tabel persentase potensi produksi gas untuk beberapa bahan organik :

Tabel 3. Persentase Potensi Produksi Gas untuk Bahan Organik

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

Sumber : Saragih, B. R., 2010

#### 6. Rasio Carbon Nitrogen (C/N)

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

Tabel 4. Rasio C/N Material Organik

Bahan Mentah	C/N Ratio
Kotoran manusia	8
Kotoran kambing	12
Kotoran domba	19
Air bakau	25
Limbah jagung	60
Limbah gandum	90
Kotoran bebek	8
Kotoran ayam	10
Kotoran babi	18
Kotoran sapi	24
Kotoran gajah	43
Limbah padi	7
Serbuk gergaji	2

Sumber : Saragih, B. R., 2010

#### 7. Lama Proses Pencernaan

Lama proses pencernaan (*Hydraulic Retention Time/HRT*) adalah jumlah waktu (dalam hari) proses pencernaan/*digesting* pada tangki anaerob terhitung mulai dari pemasukan bahan organik sampai dengan proses awal pembentukan biogas dalam digester anaerob. HRT meliputi 70-80% dari total waktu pembentukan biogas secara keseluruhan. Lamanya waktu HRT sangat tergantung dari jenis bahan organik dan perlakuan terhadap bahan organik sebelum dilakukan proses pencernaan digester. 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 sedikit.

#### 8. 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.

## 9. Pengaruh Tekanan

Semakin tinggi tekanan di dalam digester maka semakin rendah produksi biogas di dalam digester, terutama pada proses hidrolisis dan asidifikasi. Tekanan dipertahankan di antara 1.15-1.2 bar di dalam digester.

## 10. Sistem Desain Peralatan Digester.

Sistem Desain sangat mempengaruhi proses produksi biogas baik terhadap jumlah biogas itu sendiri atau yang dimasuk dengan rendemen, kualitas biogas yang dihasilkan, efisiensi digester, serta HRT yang dihasilkan. Desain unit proses harus memperbaiki sistem proses perpindahan panas dan perpindahan massa untuk mendukung berbagai parameter yang mempengaruhi laju produksi biogas. Tahap awal desain adalah memilih tipe digester sesuai dengan target desain yang diinginkan.

### 2.5 Nilai Kalor Pembakaran Biogas

Panas pembakaran dari suatu bahan bakar adalah panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna bahan bakar pada volume konstan dalam kalorimeter dan dinyatakan dalam kal/kg atau Btu/lb. Panas pembakaran dari bahan bakar bisa dinyatakan dalam *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). *High Heating Value* merupakan panas pembakaran dari bahan bakar yang di dalamnya masih termasuk *latent heat* dari uap air hasil pembakaran. *Low Heating Value* merupakan panas pembakaran dari bahan bakar setelah dikurangi *latent heat* dari uap air hasil pembakaran. Nilai kalor pembakaran yang terdapat pada biogas berupa *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV) pembakarannya dapat diperoleh dari Tabel 5 berikut :

Tabel 5. Nilai Kalor Pembakaran Biogas dan Natural Gas

Komponen	High Heating Value		Low Heating Value	
	(Kkal/m <sup>3</sup> )	(Kkal/kg)	(Kkal/m <sup>3</sup> )	(Kkal/kg)
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	2.842,21	33.903,61	2.402,62	28.661,13
Karbon Monoksida (CO)	2.811,95	2.414,31	2.811,95	2.414,31
Gas Metana (CH <sub>4</sub> )	8.851,43	13.265,91	7.973,13	11.953,76
Natural Gas	9.165,55	12.943,70	8.320,18	11.749,33

Sumber : Price dan Cheremisinoff, 1981

Pada biogas dengan kisaran normal yaitu 60-70% metana dan 30-40% karbondioksida, nilai kalori antara 20 – 26 J/cm<sup>3</sup>. Nilai kalori bersih dapat dihitung dari persentase metana seperti berikut (Meynel, 1976) :

$$Q = k \times m$$

Dimana :

Q = Nilai kalor bersih ( joule/cm<sup>3</sup> )

k = Konstanta ( 0,33 )

m = Persentase metana ( % )

## 2.6 Karakteristik Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam produksi biogas adalah kotoran sapi, kotoran sapi merupakan salah satu dari bentuk limbah pertanian. Sisa atau buangan senyawa organik yang berasal dari tanaman ataupun hewan secara alami akan berurai baik akibat pengaruh lingkungan fisik seperti panas matahari, lingkungan kimia seperti karena pengaruh senyawa lain atau yang paling umum adalah karena adanya jasad renik yang disebut mikroba, baik bakteri maupun jamur. Akibat penguraian bahan organik yang dilakukan jasad renik tersebut, maka akan terbentuk zat atau senyawa yang lebih sederhana, dan salah satu diantaranya berbentuk CH<sub>4</sub> atau gas methan (Nurhasanah *et al.*, 2006). Kotoran sapi segar mengandung banyak bakteri pembentuk asam dan metana, hal inilah yang menjadi dasar kenapa kotoran sapi banyak digunakan sebagai bahan fermentasi anaerobik.

Aktifitas normal dari mikroba yang membentuk gas methan membutuhkan sekitar 80% air dan 20% kandungan kering dari bahan baku fermentasi. Untuk mendapatkan kandungan kering sebanyak jumlah tersebut maka, bahan baku terlebih dahulu harus diencerkan dengan air dengan perbandingan 1:2 dan setelah itu dimasukkan ke dalam digester atau bioreaktor. Hal ini juga untuk memudahkan pengaliran slurry ke dalam bioreaktor serta menghindari terbentuknya sedimentasi yang akan menyulitkan pengaliran selanjutnya karena salurannya yang tersumbat (Paimin, 1999).

Bakteri yang terlibat dalam proses anaerobik membutuhkan beberapa elemen penting sesuai dengan kebutuhan hidup mikroorganisme seperti sumber makanan dan kondisi lingkungan yang optimum. Bakteri anaerob mengkonsumsi karbon sekitar 30 kali lebih cepat dibanding nitrogen. Rasio optimum untuk reaktor anaerobik berkisar 20 – 30. Jika C/N bahan terlalu tinggi, maka 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 jika C/N bahan baku terlalu rendah, nitrogen akan dibebaskan dan berakumulasi dalam bentuk ammonia ( $\text{NH}_4$ ) yang dapat menyebabkan peningkatan pH. Jika pH lebih tinggi dari 8,5 akan mengakibatkan pengaruh yang negatif pada populasi bakteri metanogen, sehingga akan mempengaruhi laju pembentukan biogas di dalam reaktor. Diketahui nilai rasion C/N pada kotoran sapi adalah 24 (Waskito, 2004).

Menurut Endo et al. (2010), bakteri yang tinggal di sistem pencernaan (*gastrointestinal tract*) dari herbivora, termasuk sapi di sini, umumnya merupakan keluarga *Escherichia coli*, *Lactobacillus johnson* dan *Lactobacillus casei*. Dalam beberapa kesempatan Zhu et al. (2010) meneliti populasi bakteri pemicu metanogenesis dari biomassa di dalam reaktor biogas anaerob. Menurutnya, metanogenesis yang nanti menjadi cikal bakal pembentukan metana dikatalisasi oleh kerjasama sintrofik antar bakteri anaerob, bakteri asetogenik sintrofik, dan archaeobacteria metanogenik. Walaupun memiliki komposisi yang berbeda-beda, rata-rata kotoran memiliki koloni *Methanobacteriales*, *Methanomicrobiales*, dan *Methanosarcinales*. Rata-rata bakteri dipostulasikan bersifat hidrogenotrofik metanogen.

Dalam membuat reaktor skala rumah tangga, perlu dipertimbangkan beberapa hal. Walaupun secara umum kita tidak memerlukan neraca massa, karena ketidak mampuan untuk mengetahui secara tepat komposisi di dalam substrat (kotoran sapi), oleh karenanya secara terus menerus, dan ketidak ekonomisan untuk melakukannya, maka dilakukan pendekatan *rule of thumb*.

Melalui pengalaman, ditemukan beberapa *rule of thumbs* sebagai berikut:

1. Bakteri membutuhkan suhu 38-40°C untuk tumbuh optimal (Zhu et al., 2010).

2. Konversi 1 ton kotoran sapi (kapasitas penampung reaktor 6000 liter) dapat membentuk 4500 – 5700 liter biogas.
3. Waktu konversi 30 hari (Tchobanoglous et al., 2003). Bakteri membutuhkan air 2 kali dari jumlah substrat yang ada untuk melangsungkan proses metabolisme.

Dari *rule of thumb* tersebut, kemudian dibuat desain reaktor. Berikut adalah neraca massa total dan karakteristik fisik dari bioreaktor yang ada, namun perlu diperhatikan bahwa basis reaksi yang dipakai ialah reaksi menurut *rule of thumb*, karena pada dasarnya kita tidak dapat mengidentifikasi input secara terus menerus.

## 2.7 *Green Phoskko-7*

Aktivator Pembangkit Metan *Green Phoskko* adalah konsorium mikroba unggulan bahan organik (limbah kota, pertanian, peternakan dan lain- lainnya). Bakteri anaerob dalam aktivator GP-7 dibawah ini hidup secara saprofit dan bernapas secara anaerob dimanfaatkan dalam proses pembuatan gas bio atau biogas. *Green Phoskko* (GP-7) ini sangat cepat untuk proses pembusukan bahan-bahan organik dibandingkan dengan GP-1, GP-2, GP-3, GP-4, GP-5, GP-6. *Green Phoskko* (GP-7) hanya membutuhkan waktu 5 sampai dengan 20 hari untuk menghasilkan metan. Sedangkan GP-1, GP-2, GP-3, GP-4, GP-5, GP-6 membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 60 hari baru menghasilkan metan. *Green Phoskko* atau Bakteri saprofit yang ada di dalamnya hidup dan berkembang biak. Bakteri tersebut memecah persenyawaan organik dan menghasilkan gas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  dan  $\text{CO}_2$ .

*Green Phoskko-7* merupakan aktivator pembangkit gas metana sebagai pengurai secara fermentatif, semua jenis biomassa termasuk sampah dan limbah organik dalam digester anaerob. Bakteri anaerob GP-7 hidup secara saprofit dan bernapas secara anaerob dimanfaatkan dalam proses pembuatan biogas. Bakteri ini memecah persenyawaan organik dan menghasilkan gas metana. 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°C) akan mengurai atau mendegradasi semua biomassa termasuk jenis sampah dan bahan organik (InaCC, 2014).

Kelebihan dari *Green Phoskko* (Gp-7) :

1. Untuk mempercepat proses dekomposisi (menghancurkan bahan organik),
2. Menghilangkan bau busuk pada gas yang telah dihasilkan,
3. Menekan pertumbuhan mikroba,
4. Menambah hasil pembentukan Metana.



Gambar 1. Bakteri Green Phoskko 7 (GP7)

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

## 2.8 Jenis Digester dan Sistem Produksi Biogas

### 2.8.1 Jenis Digester

Digester biogas memiliki tiga (3) macam tipe dengan keunggulan dan kelemahannya masing-masing. Ketiga tipe biogas tersebut adalah :

1. Tipe *Fixed Domed Plant* (Gambar 2)

Tipe fixed domed plant terdiri dari digester yang memiliki penampung gas dibagian atas digester. Ketika gas mulai timbul, gas tersebut menekan lumpur sisa fermentasi (slurry) ke bak slurry. Jika pasokan kotoran ternak terus menerus, gas yang timbul akan terus menekan slurry hingga meluap keluar dari bak slurry. Gas yang timbul digunakan/dikeluarkan lewat pipa gas yang diberi katup/kran.

Keunggulan :

Tidak ada bagian yang bergerak, awet (berumur panjang), dibuat di dalam tanah sehingga terlindung dari berbagai cuaca atau gangguan lain dan dapat dilakukan diatas atau dibawah permukaan tanah.

Kelemahan :

Rawan terjadi kertakan di bagian penampung gas, tekanan gas tidak stabil karena tidak ada katup gas.

## 2. Tipe *Floating Drum Plant* (Gambar 2)

Terdiri dari satu digester dan penampung gas yang bisa bergerak. Penampung gas ini akan bergerak keatas ketika gas bertambah dan turun lagi ketika gas berkurang, seiring dengan penggunaan dan produksi gasnya.

Kelebihan :

Konstruksi alat sederhana dan mudah dioperasikan. Tekanan gas kons tan karena penampung gas yang bergerak mengikuti jumlah gas. Jum lah gas bisa dengan mudah diketahui dengan melihat naik turunnya drum.

Kelemahan :

Digester rawan korosi sehingga waktu pakai menjadi pendek.

## 3. Tipe *Baloon Plant* (Gambar 2)

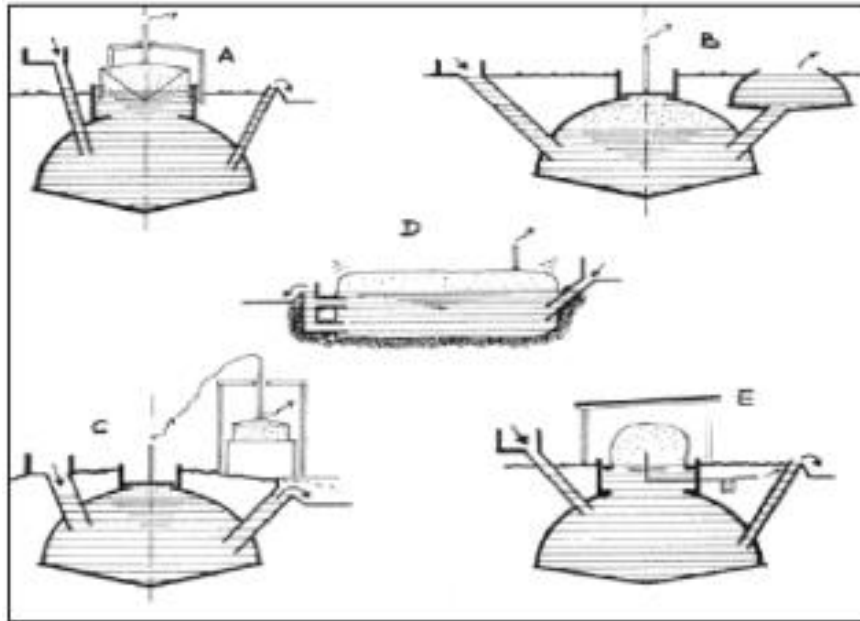
Konstruksi sederhana, terbuat dari plastik yang pada ujung-ujungnya dipasang pipa masuk untuk kotoran ternak dan pipa keluar peluapan slurry. Sedangkan pada bagian atas dipasang pipa keluar gas

Kelebihan :

Biaya pembuatan murah, mudah dibersihkan, mudah dipindahkan.

Kelemahan :

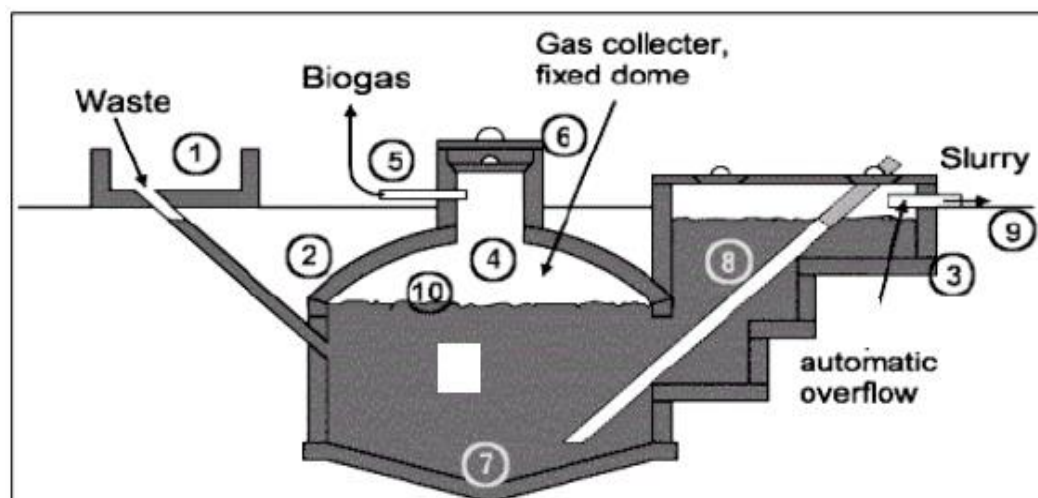
Waktu pakai relatif singkat dan mudah mengalami kerusakan.



Gambar 2. Tipe Digester Biogas: (a) *Floating Drum Plant*, (b) *Fixed Dome Plant*, (c) *Fixed Dome Plant Dengan Gas Holder Terpisah*, (d) *Balloon Plant*, (e) *Chanel-Typed Digester* dengan Pelindung Matahari dan Lapisan Plastik

Secara umum digester biogas terdiri dari beberapa bagian (Gambar 3), yaitu :

1. Bak penampung kotoran ternak dengan pipa masukan kotoran ternak
2. Digester
3. Bak penampung lumpur sisa fermentasi (Sludge)
4. Bak penampung gas (*Gas Holder*)
5. Pipa biogas keluar
6. Penutup digester dengan penahan gas (*Gas Sealed*)
7. Lumpur aktif biogas
8. Pipa keluar slurry



Gambar 3. Contoh Skema Digester Biogas Tipe *Fixed Dome Plant*

### 2.8.2 Sistem Produksi Biogas

Sistem produksi biogas dibedakan menurut cara pengisian bahan bakunya, yaitu pengisian curah dan pengisian kontinyu [1,3,5,6].

#### 1. Pengisian Curah

Yang dimaksud dengan sistem pengisian curah (SPC) adalah cara pengantian bahan yang dilakukan dengan mengeluarkan sisa bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas berhenti, dan selanjutnya dilakukan pengisian bahan baku yang baru. Sistem ini terdiri dari dua komponen, yaitu tangki pencerna dan tangki pengumpul gas. Untuk memperoleh biogas yang banyak, sistem ini perlu dibuat dalam jumlah yang banyak agar kecukupan dan kontinuitas hasil biogas tercapai.

#### 2. Pengisian Kontinyu

Yang dimaksud dengan pengisian kontinyu adalah bahwa pengisian bahan baku kedalam tangki pencerna dilakukan secara kontinyu (setiap hari) tiga hingga empat minggu sejak pengisian awal, tanpa harus mengeluarkan bahan yang sudah dicerna. Bahan baku segar yang diisikan setiap hari akan mendorong bahan isian yang sudah dicerna keluar dari tangki pencerna melalui pipa pengeluaran.

Keluaran biasanya dimanfaatkan sebagai pupuk kompos bagi tanaman, sedang cairannya sebagai pupuk bagi pertumbuhan algae pada kolam ikan. Dengan pengisian kontinyu, gas bio dapat diproduksi setiap hari setelah tenggang

3 - 4 minggu sejak pengisian awal. Penambahan biogas ditunjukkan dengan semakin terdorongnya tangki penyimpan keatas (untuk tipe *floating dome*). Sedangkan untuk digester tipe fixed dome penambahan biogas ditunjukkan oleh peningkatan tekanan pada manometer. Sampai pada tinggi tertentu yang dianggap cukup, biogas dapat dipakai seperlunya secara efisien.

## 2.9 Teknik dan Proses Perancangan Digester

Perancangan adalah suatu proses yang bertujuan untuk menganalisis, menilai memperbaiki dan menyusun suatu sistem, baik sistem fisik maupun non fisik yang optimum untuk waktu yang akan datang dengan memanfaatkan informasi yang ada.

Proses perancangan yang merupakan tahapan umum teknik perancangan dikenal dengan sebutan NIDA, yang merupakan kepanjangan dari Need, Idea, Decision dan Action. Artinya tahap pertama seorang perancang menetapkan dan mengidentifikasi kebutuhan (need) sehubungan dengan alat atau produk yang harus dirancang. Kemudian dilanjutkan dengan pengembangan ide-ide (idea) yang akan melahirkan berbagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan tadi dilakukan suatu penilaian dan penganalisaan terhadap berbagai alternatif yang ada, sehingga perancang akan dapat memutuskan (decision) suatu alternatif yang terbaik. Dan pada akhirnya dilakukan suatu proses pembuatan (Action).

Tahapan perancangan peralatan Digester yang akan digunakan pada proses produksi biogas sangat berhubungan dengan work space design. Dengan merujuk pada work space design dengan memperhatikan faktor antropometri secara umum oleh Roebuck J tahun 1995), maka langkah – langkah yang perlu diperhatikan untuk merancang Digester Biogas yang ditujukan untuk produksi listrik adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kebutuhan konsumsi listrik perhari (kwatt) (establish requirement).
2. Menghitung kebutuhan biogas perhari untuk konsumsi genset sesuai dengan kapasitas listrik yang akan diproduksi perhari.

3. Menentukan jenis bahan baku untuk keperluan produksi biogas. Bahan baku yang dipilih mempunyai nilai produktivitas yang tinggi sehingga dapat memberikan efisiensi yang baik pada alat digester yang akan di rancang
4. Mendefinisikan dan mendeskripsikan Jenis Digester yang sesuai dengan kapasitas biogas yang harus diproduksi termasuk jenis proses yang akan dipakai baik proses kontinyu atau non kontinyu.
5. Membuat layout atau diagram alir proses produksi biogas dengan melakukan berbagai analisa spesifik terhadap telaah-telaah ilmiah untuk mendapatkan kesesuai proses yang melibatkan konsep-konsep ilmiah hubungan antara variabel proses secara termodinamika, dan hidrodinamika serta melengkapi peralatan dengan berbagai instrumen seperti Temperatur indikator, Presurre indikator, flowmeter dan lain –lain untuk kebutuhan pengambilan data.
6. Menghitung semua spesifikasi peralatan yang terlibat pada diagram alir proses yang telah di rancang..
7. Persiapan peralatan sesuai hasil desain dan mengaransemen berbagai peralatan sesuai diagram alir yang telah di tentukan.
8. Melakukan proses penelitian pada alat yang telah dibuat.
9. Melakukan identifikasi unjuk kerja unit peralatan produksi biogas dengan cara pengamatan data, perhitungan dan analisa secara ilmiah.

Hasil rancangan yang dibuat dituntut dapat memberikan kemudahan dan kenyamanan bagi si pemakai. Oleh karena itu rancangan yang akan dibuat harus memperhatikan faktor manusia sebagai pemakainya.

### **2.9.1 Perhitungan Desain Alat Digester**

Perhitungan desain alat digester ini terdiri atas perhitungan data desain, penentuan kapasitas volumetrik produksi gas metana, perhitungan *volatil solid* (VS), perhitungan jumlah kotoran sapi yang dibutuhkan, menentukan konfigurasi digester dan perhitungan konfigurasi *mixing tank*. Perhitungan diatas dapat dilakukan dengan rumusan sebagai berikut :

### 1. Data Desain

Pada data desain ini dilakukan perhitungan untuk menghitung biogas yang harus diproduksi perhari nya ( $V_g$ ), dengan rumus :

$V_g = \text{Kebutuhan biogas gaset/jam} \times \text{waktu operasi/hari}$

### 2. Penentuan Kapasitas Volumetrik Produksi Gas Metana

Penentuan kapasitas volumerik produksi gas metana dihitung berdasarkan persamaan Gummerson and Stucky (1986) sebagai berikut :

$$V_s = \frac{B_0 \times S_0}{\text{HRT}} \times \left[ 1 - \frac{K}{((\text{HRT} \times \mu_m) - 1) + K} \right] \quad \dots (1)$$

Dimana :

$$K = 0,8 + (0,0016 \times e^{0,06 \times S_0}) \quad \dots (2)$$

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

$$V_s = \text{spesifik yield (kapasitas volumetrik gas metana)} \frac{\frac{m^3}{\text{hari}}}{m^3 \text{ reaktor}}$$

$$= \frac{V_g \left( \text{volume gas metana, } \frac{m^3}{\text{hari}} \right)}{V_R \left( \text{volume total reaktor, } m^3 \right)} \quad \dots (4)$$

$B_0$  = kapasitas gas metana tertinggi dalam  $m^3$  gas metana / kg volatil solid (VS) yg ditambahkan

$S_0$  = konsentrasi volatil solid (VS) didalam input material,  $kg/m^3$

HRT = *hidraulic retention time*

K = koefisien kinetik, tidak berdimensi

$\mu_m$  = laju pertumbuhan spesifik maksimum dari mikroorganismenya perhari

T = temperatur operasi rata – rata perhari

Dari harga volume spesifik gas metana dan volume reaktor yang disiapkan didapat volume gas metana perhari yang diproduksi

$V_g = \text{Volume spesifik } (V_s) \times \text{Volume slurry dalam digester } (V_{DS})$

### 3. Perhitungan Volatil Solid (VS)

Perhitungan volatil solid dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{V_{S_1}}{V_{S_2}} = \frac{V_{S_2}}{V_{S_1}}$$

$$V_{S_2} = \frac{V_{S_2}}{V_{S_1}} \times V_{S_1}$$

4. Perhitungan Jumlah Kotoran Sapi yang Dibutuhkan

Total kotoran sapi =  $100/20,7$  (karakteristik kotoran sapi) x VS

5. Menentukan Konfigurasi Digester

Menentukan konfigurasi digester ini dilakukan dengan melakukan perhitungan :

Tinggi biogas dari permukaan slurry ke sisi atas digester,  $h_g$

$$h_g = D - h$$

Lebar permukaan slurry kotoran sapi ( $A_s$ ) dalam digester

$$A_s = 2 \sqrt{\left( \left( \frac{1}{2} D \right)^2 - \left( h - \frac{1}{2} D \right)^2 \right)}$$

Luas segitiga sama kaki AEB

$$L_s = \frac{1}{2} \left( h - \frac{1}{2} D \right)^2 \sqrt{\left( \left( \frac{1}{2} D \right)^2 - \left( h - \frac{1}{2} D \right)^2 \right)}$$

$\Phi$  adalah sudut pusat lingkaran

$$\tan \left( \frac{1}{2} \varphi \right) = \frac{\left( \frac{1}{2} D \right)^2 - \left( h - \frac{1}{2} D \right)^2}{\left( h - \frac{1}{2} D \right)}$$

Luas juring ellips AB adalah

$$L_j = \frac{1}{4} \pi D^2 \left( \frac{\varphi}{360} \right)$$

Luas tembereng

$$L_t = L_j - L_s$$

Volume biogas dalam digester,  $V_g$

$$V_g = L_t \times \text{Panjang digester (L)}$$



### 2.9.2 Desain dan Konstruksi

Konstruksi instalasi reaktor biogas ini akan menggunakan bioreaktor dengan tipe *fixed dome* atau kubah tetap. Fixed dome terdiri dari tiga bagian yaitu: unit pencampur, bagian utama reaktor, dan bagian pengeluaran lumpur. Desain dan konstruksi ini mengikuti penelitian yang dilakukan oleh Waskito pada tahun 2005. Fungsi masing – masing bagian adalah sebagai berikut:

#### 1. Unit pencampuran

Berfungsi untuk menampung kotoran sapi yang terkumpul dari kandang dan mencampur dengan air dengan perbandingan padatan dengan air adalah 1:2 (Paimin,1999). Unit pencampuran disebut juga sebagai *feed stock* berfungsi sebagai sumber pasokan larutan kotoran sapi untuk kemudian akan dijadikan substrat dalam fermentasi anaerob. Proses pencampuran dengan air bertujuan untuk mempermudah penyaluran ke tangki digester. Ukurannya disesuaikan dengan jumlah kotoran sapi dan air yang dibutuhkan. Campuran yang menyerupai bubur ini kemudian dimasukkan ke dalam digester utama.

#### 2. Tangki pencernaan (*Digester*)

Digester merupakan tempat fermentasi anaerob kotoran sapi menjadi biogas terjadi. Pada proses pengolahan kotoran sapi ini menggunakan bioreaktor semi kontinyu atau feed batch dengan tipe kubah tetap dengan menggunakan pengadukan. Pada tangki digester ini dilengkapi dengan mesin pengaduk lumpur (*slurry mixture machine*) sehingga konsentrasi material mengendap di dasar digester semakin kecil. Konsentrasi merata akan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob secara merata. Tangki digester ini juga dilengkapi dengan lubang pemeliharaan (*manhole*) yang diberi penutup, fungsinya adalah untuk pengaman apabila terdapat tekanan yang terlalu besar dari biogas yang terbentuk sehingga tidak merusak konstruksi reaktor.

#### 3. Katup Penampung Gas

Tangki penampungan biogas adalah tangki yang digunakan untuk menyimpan dan menyalurkan seluruh biogas hasil produksi dari biogas digester.

Tangki ini bisa terbuat dari plastik, semen atau baja stainless steel tahan karat yang dilapisi epoxy dan dilengkapi regulator atau sensor pengukur tekanan gas. Penampung biogas berada di bagian atas digester, volume biogas yang dihasilkan mendorong tutup atas digester dan menjadi indikator tahap metanogenesis.

#### 4. Saluran Keluaran Residu

Saluran ini digunakan untuk mengeluarkan kotoran yang telah difermentasi oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatis residu yang keluar pertama kali merupakan slurry masukan pertama setelah waktu retensi.

#### 5. Katup Pengaman Tekanan (*Control Valve*)

Katup pengaman tekanan ini digunakan sebagai pengatur tekanan gas dalam biodigester. Katup pengaman ini menggunakan prinsip pipa T. bila tekanan gas dalam saluran gas lebih tinggi dari kolom air, maka gas akan keluar melalui pipa T, sehingga tekanan gas dalam digester akan turun. Katup pengaman cukup penting dalam reaktor biogas yang besar dan sistem kontinu, karena umumnya digester dibuat dari material yang tidak tahan tekanan tinggi, semakin tinggi tekanan di dalam digester, semakin rendah produksi biogas di dalam digester terutama pada proses hidrolisis dan asidifikasi. Tekanan yang dipertahankan antara 1,15 – 1,2 bar.

#### 6. Saluran Biogas

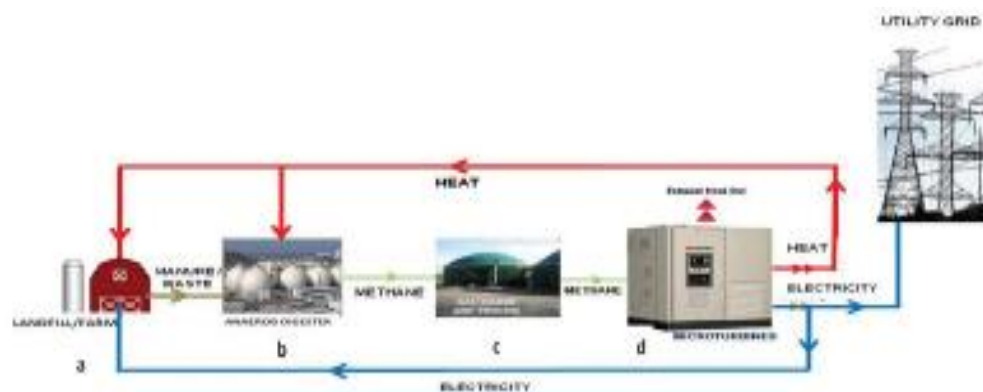
Tujuan dari saluran biogas adalah untuk mengalirkan biogas yang dihasilkan digester. Bahan untuk saluran gas disarankan terbuat dari polimer untuk menghindari korosi. Untuk pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar masak, pada ujung saluran pipa dapat disambung dengan pipa yang terbuat dari logam supaya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

### **2.10 Konversi Energi Biogas Untuk Ketenagalistrikan**

Biogas selain dapat digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga

listrik serta menghasilkan energi panas. Pembakaran 1 ft<sup>3</sup> (setara dengan 0.028 m<sup>3</sup>) biogas menghasilkan energi panas sebesar 10 Btu (2.25 kcal) yang setara dengan 6 kWh/m<sup>3</sup> energi listrik atau 0.61 L bensin, 0.58 L minyak tanah, 0.55 L diesel, 0.45 L LPG (natural gas), 1.5 kg kayu bakar, dan 0.79 L bioetanol. Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan *gas turbine*, *microturbines*, dan *Otto Cycle Engine*. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi oleh potensi biogas yang ada, seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban, dan ketersediaan dana.

Sistem PLTB secara lengkap terdiri dari digester anaerob, *feedstock*, *biogasconditioning* untuk memurnikan kandungan metan dalam biogas, *microturbines*, *heat recovery use*, dan *engine heat recovery*. Berikut ini adalah gambar sistem penyaluran energi listrik dan panas PLTB :



Keterangan :

a. *Feedstock*

b. *Digester*

c. *Biogas Tank*

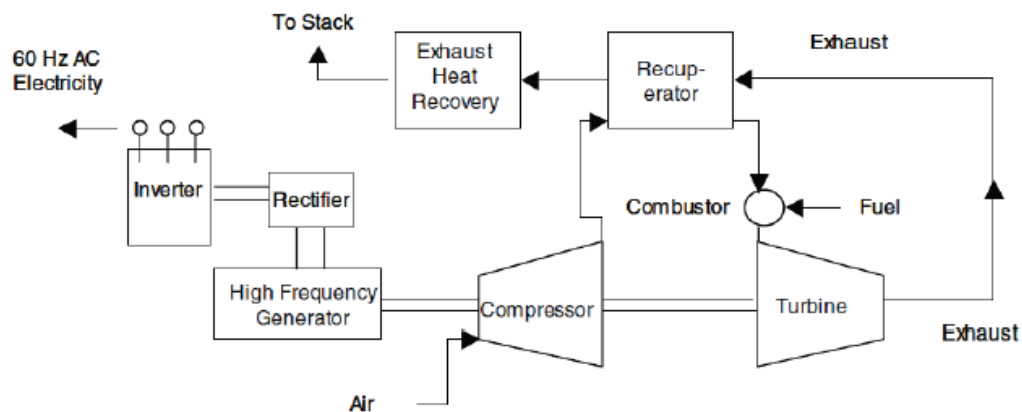
d. *Microturbines*

Gambar 4. Sistem Penyaluran Tenaga Listrik dan PLTB

## 2.11 Generator Pembangkit Tenaga Listrik (*Microturbines Generator*)

*Microturbines* adalah generator listrik kecil yang membakar gas atau bahan bakar cair untuk menciptakan rotasi kecepatan tinggi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Perkembangan energi *microturbines* dewasa ini adalah hasil dari pengembangan pembangkit stasioner skala kecil dan turbin gas otomotif peralatan utama pembangkit listrik dan *turbochargers* yang sebagian besar dikembangkan pada sektor industri otomotif dan pembangkit tenaga listrik. Pemilihan teknologi pembangkit mikroturbin disebabkan karena

pembangkit ini sesuai dengan potensi sumber energi kecil, yakni untuk daya keluaran berkisar 25kW sampai dengan 400 kW.



Gambar 5. Mikroturbin dengan Siklus *Combine Heat Power* (CHP)

Sumber : <http://lib.ui.ac.id/>

Siklus kombinasi daya dan panas merupakan proses pemanfaatan energi yang dihasilkan dari pembakaran biogas. Dalam siklus pada gambar diatas, dapat dilihat bahwa panas yang dihasilkan dari pembakaran biogas digunakan untuk memutar turbin, turbin dikopel dengan generator untuk menghasilkan energi listrik yang dialirkan ke beban. Panas sisa yang dihasilkan setelah dimanfaatkan turbin digunakan kembali oleh recuperator dan *exhaust heat recovery* sebagai pemanas air, misalnya sistem air panas yang digunakan pada hotel.