

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biogas

Energi biogas merupakan energi terbarukan yang dapat dihasilkan dengan teknologi tepat guna yang relatif lebih sederhana dan sesuai untuk daerah pedesaan. Biogas merupakan gas campuran terutama terdiri dari metana dan karbon dioksida yang diproduksi secara anaerob melalui tiga tahap yaitu hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis (Drapcho dkk, 2011). Biomassa berupa limbah seperti kotoran ternak, sisa-sisa panen, air bakau, air rawa, serbuk gergaji, sayur-sayuran, dan lainnya. Namun sebagian besar terdiri atas kotoran ternak. Sumber biomassa yang berbeda akan menghasilkan perbedaan kuantitas biogas (Sucipto, 2013).

Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) serta beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya hydrogen sulfida (H_2S), ammonia (NH_3), hydrogen (H_2), dan nitrogen (N_2) yang kandungannya sangat kecil.

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi gas metana (CH_4). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana maka semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu : menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air, dan karbon dioksida (CO_2). Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang diijinkan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar maka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulphur dioksida/ sulphur trioksida (SO_2/ SO_3) senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk sulphur acid (H_2SO_3) suatu senyawa yang lebih korosif. Parameter yang kedua adalah menghilangkan kandungan karbon dioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan

untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalan biogas serta dapat menimbulkan korosif.

Penggunaan biogas sebagai energi alternatif relatif lebih sedikit menghasilkan polusi, disamping berguna menyehatkan lingkungan karena mencegah penumpukan limbah sebagai sumber penyakit, bakteri, dan polusi udara. Keunggulan biogas adalah dapat menghasilkan produk samping yaitu lumur kompos dan pupuk cair (Aminah, 2011). Sistem produksi biogas juga mempunyai beberapa keuntungan (Wahyuni, 2013) seperti (a) mengurangi pengaruh gas rumah kaca, (b) mengurangi polusi bau yang tidak sedap, (c) menghasilkan produk samping yaitu pupuk, dan (d) Produksi daya serta panas.

Biogas bersifat bersih, tidak berasap hitam selain itu derajat panasnya lebih tinggi dari bahab bakar minyak tanah dan kayu bakar serta dapat disimpan untuk penggunaan yang akan datang (Wahyuni, 2013). Produksi biogas didasarkan pada perombakan anaerob kotoran hewan dan bahan buangan organik lainnya. Selama perombakan anaerob akan menghasilkan gas metan 54-70 %, karbon dioksida 25-45 %, hidrogen, nitrogen, dan hidrogen sulfida dalam jumlah yang sedikit (Simamora, 2006).

Komposisi gas yang terdapat dalam biogas disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Gas yang Terdapat dalam Biogas

Komponen	Volume (%)
Metana (CH ₄)	55 – 75
Karbon dioksida (CO ₂)	25 – 45
Nitrogen (N ₂)	0 – 0,3
Hidrogen (H ₂)	1 – 5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0 – 3
Oksigen (O ₂)	0,1 – 0,5

Sumber : Sitepu, 2013

2.2. Potensi Kotoran Ternak Sebagai Sumber Energi

Proses produksi perternakan menghasilkan kotoran ternak dalam jumlah banyak. Didalam kotoran ternak tersebut terdapat kandungan bahan organik dalam konsentrasi yang tinggi. Gas metana dapat diperoleh dari kotoran ternak tersebut setelah melalui serangkaian proses biokimia yang kompleks. Kotoran ternak

telebih dahulu harus mengalami dekomposisi yang berjalan tanpa kehadiran udara (anaerob).

Kotoran ternak merupakan bahan baku yang potensial dalam proses produksi biogas karena mengandung pati dan lignoselulosa. Biasanya, kotoran ternak dimanfaatkan sebagai pupuk dan sisanya digunakan untuk memproduksi gas metana menggunakan proses anaerob. Salah satu ternak yang kotorannya biasa dimanfaatkan sebagai pupuk dan bahan baku biogas adalah sapi (Agustine, 2011).

Biomassa yang mengandung karbohidrat tinggi akan menghasilkan gas metana yang rendah dan CO₂ yang tinggi, jika dibandingkan dengan biomassa yang mengandung protein dan lemak dalam jumlah tinggi. Secara teori, produksi metana yang dihasilkan dari karbohidrat, protein, dan lemak berturut-turut adalah 0,37; 1,0; 0,58 m³ CH₄/kg bahan kering organik. Kotoran sapi mengndung ketiga unsur bahan organik tersebut sehingga dinilai lebih efektif untuk dikonversi menjadi gas metana (Drapcho dkk, 2008). Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis, jumlah konsumsi pakan, serta individu ternak sendiri (Aminah, 2011).

Kandungan unsur hara beberapa jenis kotoran hewan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Unsur Hara pada Beberapa Jenis Kotoran Hewan Ternak.

Jenis Ternak	Unsur Hara (%)						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
Sapi Perah	0,53	0,35	0,41	0,28	0,11	0,05	0,004
Sapi Potong	0,65	0,15	0,30	0,12	0,10	0,09	0,004
Kuda	0,70	0,10	0,58	0,79	0,14	0,07	0,010
Domba	1,28	0,19	0,93	0,59	0,19	0,09	0,020
Unggas	1,50	0,77	0,89	0,30	0,88	0,00	0,100

Sumber : Aminah, 2011

Pada Tabel 2. Menunjukkan kandungan unsur hara pada beberapa jenis kotoran hewan ternak, seperti pada sapi potong terdiri atas N (0,65%), P (0,15%), K (0,30%) (Aminah, 2011). Kotoran ternak yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas

(Sucipto, 2013). 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. Beberapa percobaan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme dari bakteri metanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20.

2.3. Potensi Air Rawa Sebagai Sumber Energi

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 (CH₄) 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 CO₂ oleh bakteri dari batuan vulkanik atau magmatik alami secara kimiawi: $\text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4$

Spesifikasi air rawa disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Air Rawa

No	Parameter	Satuan	Standar Maksimum	Sampel Air Rawa Bagian Tengah Kali	Sampel Air Rawa Bagian Agak Pinggir Darat	Sampel Air Rawa Bagian Pinggir Darat
A. Pemeriksaan Fisik						
1	Bau	-	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau
2	Rasa	-	Normal	Normal	Normal	Normal
3	Warna	Pt.Co/TCU	15	5.8	5.1	6.9
4	Kekeruhan	Skala NTU	5	1.46	1.44	2.99
5	Temperatu	C	3	20.8	14.7	20.8
B. Parameter Kimia						
1	pH	-	6,5 – 8,5	6.27	6.13	6.49
2	Amonia	mg/L	1,5	0.89	0.85	0.90
3	Nitrit	mg/L	3	0.012	0,010	0.019
4	Nitrat	mg/L	50	0.0	0.0	0.0
5	Besi total	mg/L	0,1	2.16	0.02	2.19
6	COD	mg/L	10	5.4	8.2	6.9
7	BOD	mg/L	2	6.0	5.9	6.0
8	C _a CO ₃	mg/L	500	31.9	31.9	31.9
C. Parameter Biologi						
	Coli total	MPN/100 ml		0	0	0

Sumber : Hasil Analisis Laboratorium UGM, 2009

2.4. Proses Pembentukan Biogas

Prinsip pembuatan biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerob untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa 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 (Sufyandi, 2011).

Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut dengan digester atau bioreaktor anaerob. Barnett dkk. 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 3 tahap proses yaitu, hidrolisis, fermentasi (asetogenesis), dan metanogenesis sebagai berikut :

1. Hidrolisis/Tahap Pelarutan

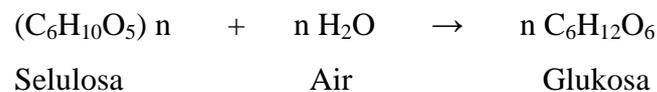
Pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik mudah larut yang terdapat pada kotoran sapi dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer yang larut dalam air). Senyawa kompleks ini, antara lain protein,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

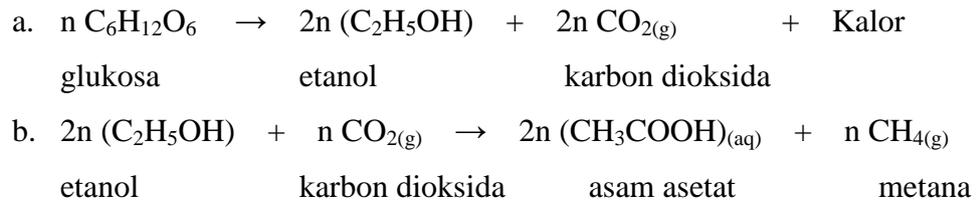
Pada tahap pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari perombakan gula-gula sederhana ini yaitu asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butirrat, gas karbon dioksida, hidrogen 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, 2012)

Asam organik rantai pendek yang dihasilkan dari tahap fermentasi dan asam lemak yang berasal dari hidrolisis lemak dan difermentasi menjadi asam asetat, H₂, dan CO₂ oleh bakteri asetogenik (Drapcho dkk, 2008). Pada fase ini,

mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi H_2 dan CO_2 untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein dkk, 2008).

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

Reaksi :



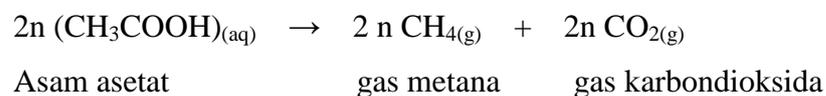
3. Metanogenesis

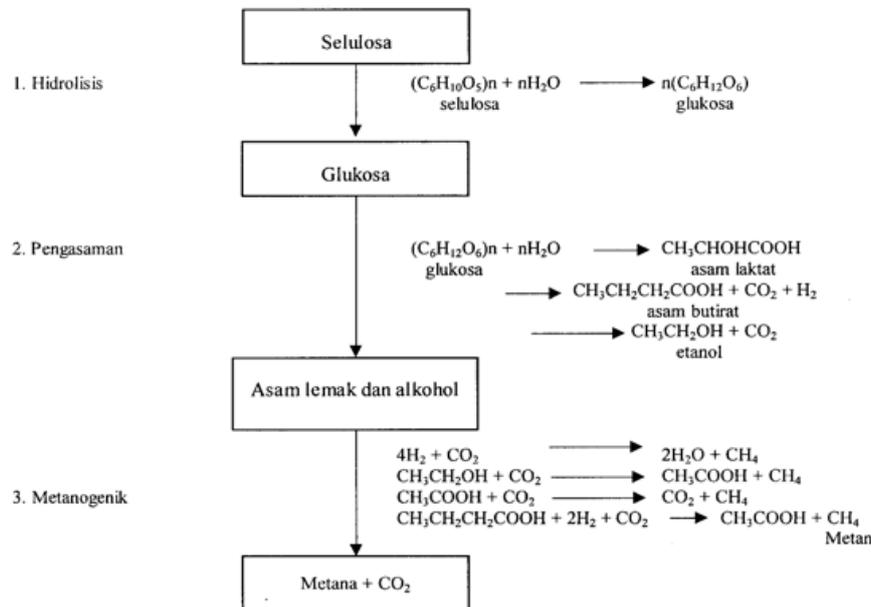
Pada tahap metanogenesis terjadi proses pembentukan gas metana. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini, yaitu mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hidrogen sulfida. Bakteri yang berperan dalam proses ini antara lain, *Methanococcus*, *Methanobacillus*, *Methanobacterium*. Terbentuknya gas metana terjadi karena adanya reaksi dekarboksilasi asetat dan reduksi CO_2 .

Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan temperatur $25\text{ }^\circ\text{C}$ di dalam digester.

Pada proses ini dihasilkan 70 % CH_4 , 30 % CO_2 , sedikit H_2 dan H_2S (Price dan Cheremisinoff, 1981)

Reaksi :





Gambar 1. Tahapan Proses Pembentukan Biogas

Sumber : Grady dkk,1999

2.5. Parameter Proses Pembentukan Biogas

Laju proses pembuatan biogas sangat ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi mikroorganisme, diantaranya adalah temperatur, pH, ketersediaan unsur hara, lama proses, jenis bakteri, pengadukan bahan organik, rasio C/N, faktor konsentrasi padatan, *volatile solids*, dan pengaruh tekanan. Berikut ini adalah pembahasan tentang faktor-faktor tersebut :

1. Temperatur

Temperatur sangat menentukan lamanya proses pencernaan di digester. Bila temperatur meningkat, umumnya produksi biogas juga meningkat sesuai dengan batas-batas sekemampuan bakteri pencerna bahan organik (Sufyandi, 2011). Bakteri yang umum dikenal dalam proses fermentasi anaerob, misalnya : *Psychrophilic* pada temperatur $< 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, bakteri *Mesophilic* pada temperatur $15\text{ }^{\circ}\text{C} - 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, bakteri *Thermophilic* pada temperatur $45\text{ }^{\circ}\text{C} - 65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Umumnya digester anaerob skala kecil yang terdapat di sekitar, beroperasi pada temperatur $25\text{ }^{\circ}\text{C} - 37\text{ }^{\circ}\text{C}$, atau pada lingkungan tempat bakteri *Mesophilic* hidup.

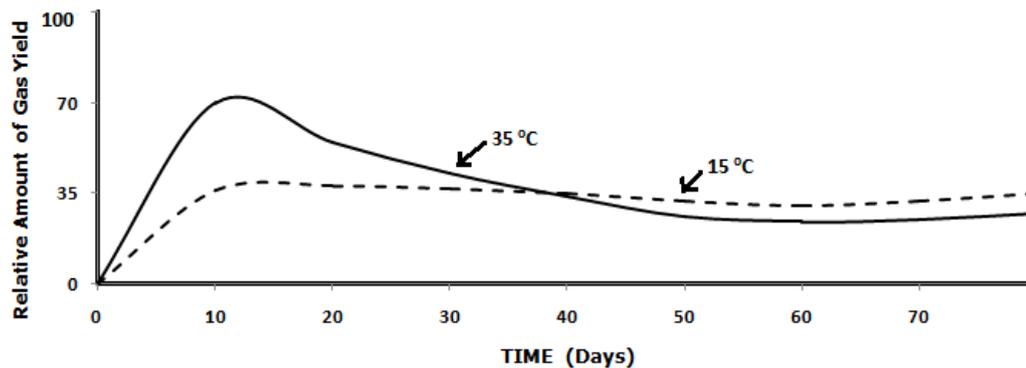
Temperatur yang optimal untuk digester adalah temperatur $30 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, kisaran temperatur ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan

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)



Gambar 2. Perbandingan Tingkat Produksi Gas Pada 15 °C dan 35 °C

Sumber : Sufyandi, 2011.

Lebih lanjut, yang harus diperhatikan pada proses biometanisasi adalah perubahan temperatur, karena proses tersebut sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Perubahan temperatur tidak boleh melebihi batas temperatur yang diijinkan. Untuk bakteri *Psychrophilic* selang perubahan temperatur berkisar antara 2 °C/jam, bakteri *Mesophilic* 1 °C/jam dan bakteri *Thermophilic* 0,5 °C/jam. Walaupun demikian perubahan temperatur antara siang dan malam tidak menjadi masalah besar untuk aktivitas metabolisme (Sufyandi, 2011).

Sangat penting untuk menjaga temperatur tetap stabil apabila temperatur tersebut telah dicapai. Panas sangat penting untuk meningkatkan temperatur bahan yang masuk kedalam biodigester. 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. 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 (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* (Haryaty, 2014)

3. Ketersediaan Unsur Hara

Bakteri anaerob membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung nitrogen, fosfor, magnesium, sodium, mangan, kalsium dan kobalt (Gunerson dan Stuckey, 1986). Level nutrisi harus sekurangnyanya 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 dan 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 dan Stuckey, 1986)

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.

5. Jenis Bakteri

Hal yang 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.

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



Gambar 3. Bakteri *Green Phoskko-7*
Sumber : Anonim, 2017.

Bakteri anaerob dalam aktivator *Green Phoskko-7* (GP-7) hidup secara saprofit dan bernafat secara anaerob dimanfaatkan dalam proses pembuatan biogas. GP-7 (Anonim, 2017) 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 CH_4 , H_2S , N_2 , H_2 , dan CO_2 .

Kelebihan dari *Green Phoskko* (GP-7)

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

Pada *Digester* kondisi yang sesuai dengan kebutuhan bakteri ini adalah kedap udara, material memiliki PH > 6, kelembaban 60 %, dan temperatur > 30 °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 Phoskko* 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 m³ atau setara berat 1 ton.

6. 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.

7. Rasio Carbon Nitrogen (C/N)

Proses anaerob 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 metanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8 – 20.

Rasio karbon dan nitrogen (C/N) beberapa bahan organik disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rasio Karbon dan Nitrogen (C/N) Beberapa Bahan Organik

Bahan	Rasio C/N
Kotoran bebek	8
Kotoran manusia	8
Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran babi	18
Kotoran domba	19
Kotoran sapi/kerbau	24
Eceng gondok	25
Kotoran gajah	43
Batang jagung	60
Jerami padi	70
Jerami gandum	90
Serbuk gergaji	Diatas 200

Sumber : KARKI dan DIXIT, 1984

8. 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.

9. *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*.

10. Pengaruh Tekanan

Semakin tinggi tekanan di dalam digester maka semakin rendah produksi biogas di dalam digester, terutama pada proses hidrolisis dan asidifikasi. Tekanan dipertahankan di antar 1,15 – 1,2 bar di dalam digester.

2.6. *Digester* Biogas

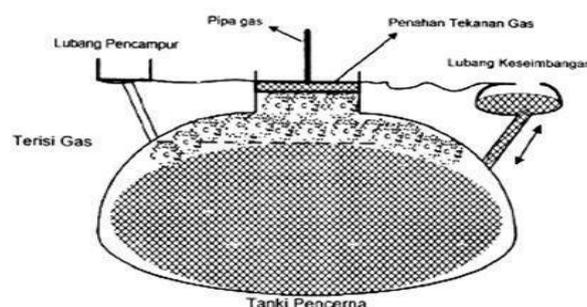
Digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. *Digester* merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara anaerob menjadi gas CH_4 dan CO_2 . *Digester* harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan dengan baik.

Jenis-Jenis *Digester* Biogas :

Terdapat beberapa jenis digester yang dapat dilihat berdasarkan konstruksinya, jenis aliran, dan posisinya terhadap permukaan tanah (Irtas, 2016). Jenis digester yang dipilih dapat didasarkan pada tujuan pembuatan digester tersebut. Hal yang penting adalah apapun yang dipilih jenisnya, tujuan utamanya adalah mengurangi limbah ternak atau bahan organik dan menghasilkan biogas yang mempunyai kandungan CH_4 yang tinggi. Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi :

1. *Digester* Kubah Tetap (*Fixed dome*)

Pada *fixed dome plant*, *Digesternya* tetap. Penampung gas ada pada bagian atas *Digester*. Ketika gas mulai timbul, gas tersebut menekan 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.



Gambar 4. *Digester* Jenis Kubah Tetap

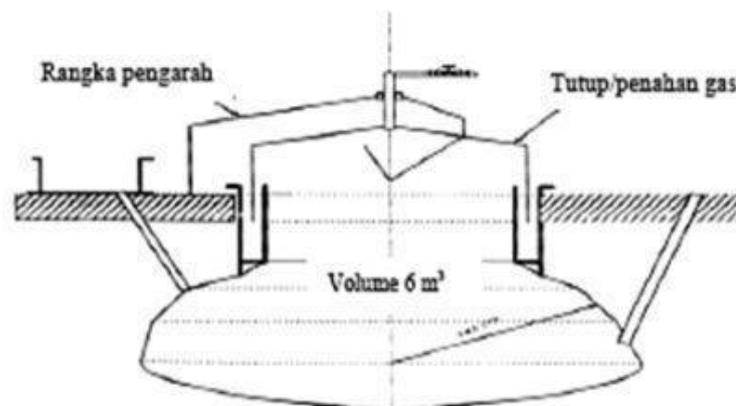
Kelebihan dan kekurangan pada digester jenis kubah tetap disajikan pada Tabel 5.

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 sehingga kebocoran sulit diketahui
2. Biaya konstruksi rendah.	2. Rawan terjadi retakan di bagian penampung gas
3. Tidak ada bagian yang bergerak.	3. Tekanan gas sangat tinggi
4. Dapat dipilih dari material tahan karat.	4. Temperatur digester rendah
5. Umurnya panjang.	
6. Dapat dibuat dalam tanah sehingga menghemat tempat.	

2. Digester Tipe Kubah Apung (*Floating drum plant*)

Floating drum plant 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.



Gambar 5. Digester Jenis Kubah Apung

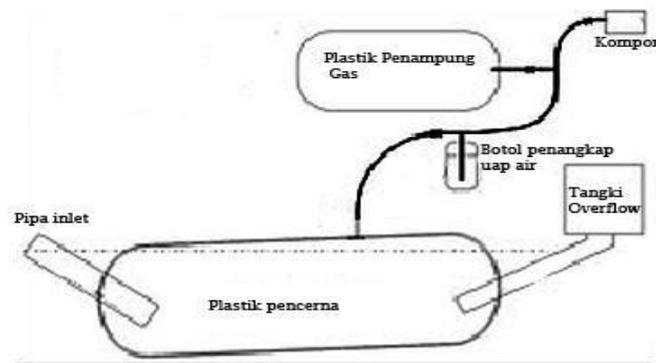
Kelebihan dan kekurangan pada digester jenis kubah apung disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kelebihan dan Kekurangan Digester Jenis Kubah Apung

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

3. Digester 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.



Gambar 6. Digester Jenis Balon

Kelebihan dan kekurangan pada digester jenis balon disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kelebihan dan Kekurangan Digester 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

Berdasarkan aliran bahan baku untuk reaktor biogas, digester dibedakan menjadi dua (Sunaryo, 2014) 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 penampungan 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 pemasukkan 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 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.

Berdasarkan segi tata letak penempatan, digester dibedakan menjadi (Irtas, 2016) :

1. Seluruh tangki digester diletakkan di atas permukaan tanah

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

2. Sebagian tangki digester diletakkan di bawah permukaan tanah

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

3. Seluruh tangki digester diletakkan di bawah permukaan tanah

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