

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Kotoran Sapi**

Bahan baku yang dapat dibuat biogas adalah bahan organik. Beberapa daftar bahan organik yang dapat dibuat biogas adalah kotoran manusia, kotoran hewan, urin, sampah kota yang berbentuk organik, dan sampah produk pertanian. Di Indonesia, jenis kotoran yang umum digunakan untuk menghasilkan biogas adalah kotoran sapi (Suyitno dkk., 2010).



Sumber : Pertiwiningrum dkk., 2015

Gambar 2.1 Kotoran Sapi

Kotoran sapi kebanyakan hanya dimanfaatkan untuk dijadikan pupuk kandang namun tanpa proses pengolahan. Biasanya kotoran sapi itu hanya dibiarkan mengering di suatu lahan dan setelah kering baru digunakan untuk penyuburan tanah atau tanaman. Kondisi ini tentu dapat merusak lingkungan, terutama pencemaran udara. Sebab kotoran sapi yang masih basah menimbulkan bau tidak sedap (Wardana dkk., 2021). Kotoran sapi memiliki kandungan kimia sebagai berikut : nitrogen 0,4 - 1 %, fospor 0,2 - 0,5 %, kalium 0,1 – 1,5 %, kadar air 85 – 92 %, dan beberapa unsure-unsur lain (Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn). Selain itu, pH kotoran sapi 4,0 - 4,5 atau terlalu asam (Dewi N. M. dkk., 2017).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Dimitrov dkk., (2019) bahwa bahan baku yang digunakan untuk produksi biogas dengan hasil metana yang optimum diperoleh dari limbah ternak atau dari lumpur limbah.

Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi kotoran sapi yang dihasilkan dari sapi dengan bobot waktu hidup 635 kg untuk setiap harinya. Besarnya padatan total (TS) umumnya dapat juga diperkirakan sekitar 10-15% dari massa kotoran awal. Sedangkan besarnya padatan volatil dapat diperkirakan sebesar 8-10% dari massa kotoran awal (Suyitno dkk., 2010).

Tabel 2.1 Spesifikasi Kotoran Sapi Dengan Bobot 635 kg (Suyitno dkk., 2010)

Spesifikasi	Sapi dengan bobot 635 kg
Kotoran	50,8 kg
Kotoran	51,1 liter
Padatan Total (TS)	6,35 kg
Padatan Volatil (VS)	5,4 kg

## 2.2 Biogas

Biogas adalah gas yang mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi (pembusukan) bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa oksigen yang ada dalam udara). Bahan-bahan organik adalah bahan-bahan yang dapat terurai kembali menjadi tanah, misal sampah dan kotoran hewan (sapi, kambing, babi, dan ayam). Proses fermentasi ini sebetulnya terjadi secara alamiah tetapi membutuhkan waktu yang relatif lama. Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan karena keberadaan bahan baku akan terus ada selama kehidupan ini masih berlangsung. Biogas berbeda dengan bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara) yang merupakan bahan bakar tidak dapat diperbaharui (Pertiwiningrum, 2016). Pencernaan anaerobik memberikan peluang bagi biogas untuk digunakan untuk menghasilkan energi, seperti listrik, panas, dan bahan bakar dengan manfaat ekonomi, lingkungan, dan iklim tambahan (N. Scarlet dkk., 2018).

Biogas bersifat bersih, berwarna biru tidak berasap hitam selain itu derajat panasnya lebih tinggi dari bahan bakar minyak tanah, arang, dan kayu bakar serta dapat disimpan untuk penggunaan yang akan datang (Prihatiningtyas, 2019).

### 2.2.1 Komposisi Biogas

Biogas sebagian besar mengandung gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan beberapa kandungan senyawa lain yang jumlahnya kecil diantaranya nitrogen ( $\text{N}_2$ ), hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), ammonia ( $\text{NH}_3$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ), serta oksigen ( $\text{O}_2$ ) (Pertiwiningrum, 2016). Komposisi biogas secara umum, yaitu (Pertiwiningrum dkk., 2016) :

Tabel 2.2 Komposisi biogas secara umum

Komponen	%
Metana ( $\text{CH}_4$ )	55 – 75
Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ )	25 – 45
Nitrogen ( $\text{N}_2$ )	0 – 0,3
Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	1 – 5
Hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	1 – 5
Oksigen ( $\text{O}_2$ )	0,1 – 0,5

Biogas berbeda dengan gas alam dan gas kota. Beberapa perbedaan sifat dari biogas, gas kota, dan gas alam dapat dilihat pada Tabel 2.2. Biogas mempunyai nilai kalor sedang dan besarnya sangat tergantung dari kandungan  $\text{CH}_4$  dalam biogas. Massa jenis biogas sedikit lebih tinggi dari massa jenis udara. Jika dibakar, biogas mempunyai kecepatan maksimum yang rendah, yaitu sekitar 0,25 m/s (Suyitno dkk., 2010).

Tabel 2.3 Perbandingan sifat biogas, gas alam, dan gas kota (Suyitno dkk., 2010)

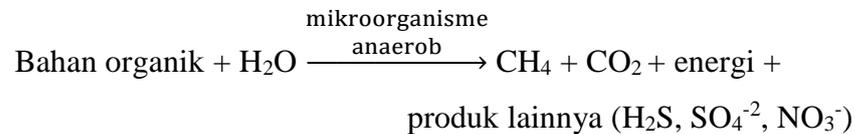
Parameter	Biogas (60 % $\text{CH}_4$ )	Gas Alam	Gas Kota
Nilai kalor bawah ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )	21,48	36,14	16,1
Massa jenis ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1,21	0,82	0,51
Indeks Wobbe bawah ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )	19,5	39,9	22,5
Kecepatan penyalaan maksimum (m/s)	0,25	0,39	0,70
Kebutuhan udara teoritis ( $\text{m}^3$ udara/ $\text{m}^3$ gas)	5,71	9,53	3,83
Konsentrasi maksimum $\text{CO}_2$ dalam cerobong (vol %)	17,8	11,9	13,1
Titik embun ( $^\circ\text{C}$ )	60 – 160	59	60

### 2.2.2 Proses Pembuatan Biogas

Pada proses pemecahan anaerobik, bahan-bahan organik yang ada dalam bahan baku merupakan sumber makanan mikroorganisme dan diubah menjadi

bahan-bahan teroksidasi, sel-sel mikroorganisme baru, energy, gas-gas (CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>) serta produk-produk lainnya (Hardoyo dkk., 2018).

Reaksi umum pembentukan biogas, yaitu (Hardoyo dkk., 2018) :



Proses perombakan bahan organik secara anaerob yang terjadi di dalam digester, terdiri atas empat tahapan proses yaitu:

### 1. Hidrolisis

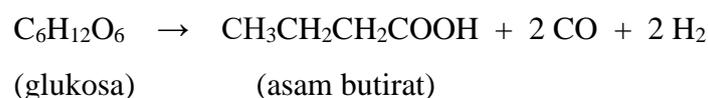
Hidrolisis merupakan langkah awal untuk hampir semua proses penguraian dimana bahan organik akan dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga dapat diurai oleh bakteri pada proses fermentasi (Prihatiningtyas dkk., 2019). Pada tahap ini senyawa-senyawa organik polimer kompleks seperti polisakarida, protein, dan lemak, didegradasi oleh mikroorganisme hidrolitik menjadi monomer gula, asam amino, dan peptida. Sejumlah besar mikroorganisme anaerob dan fakultatif yang terlibat dalam proses hidrolisis, yaitu *Clostridium* (Hardoyo dkk., 2018). Bakteri yang berperan dalam tahap hidrolisis ini adalah sekelompok bakteri anaerobic, adapun jenis bakteri pada hidrolisis dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut (Prihatiningtyas dkk., 2019):

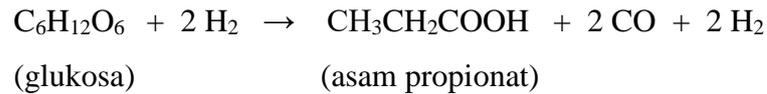
Tabel 2.4 Klasifikasi Bakteri Hidrolisis

Bakteri	Substrat yang dihidrolisis
<i>Acetivibrio</i>	Kabohidrat/polisakarida
<i>Peptostreptococcus</i> , dan <i>Bifidbacterium</i>	Protein
<i>Clostridium</i>	Lemak

### 2. Asedogenesis

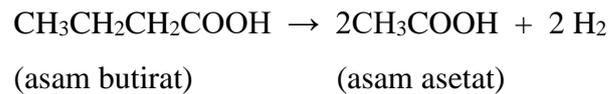
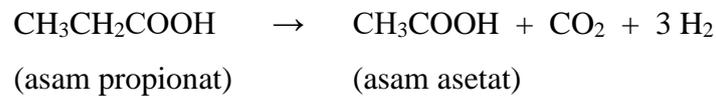
Pada tahap ini produk yang telah dihidrolisa dikonversikan menjadi asam lemak volatil (VFA), alkohol, aldehid, keton, amonia, karbondioksida, air dan hidrogen oleh bakteri pembentuk asam (Prihatiningtyas dkk, 2019). Reaksi asidogenesis dapat dilihat di bawah ini:





### 3. Asetogenesis

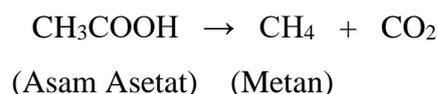
Pada tahap asetogenesis, sebagian besar hasil fermentasi asam harus dioksidasi di bawah kondisi anaerobik menjadi asam asetat, CO<sub>2</sub>, dan hidrogen yang akan menjadi substrat bakteri metanogen. Asetogenesis juga termasuk pada produksi asetat dari hidrogen dan karbon dioksida oleh asetogen dan homoasetogen. Kadang-kadang proses asidogenesis dan asetogenesis dikombinasikan sebagai satu tahapan saja (Prihatiningtyas dkk., 2019). Reaksi asetogenesis dapat dilihat di bawah ini:



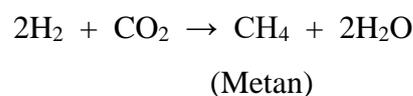
### 4. Metanogenesis

Metanogenesis merupakan langkah penting dalam seluruh proses digestasi anaerobik, karena proses reaksi biokimia yang paling lambat. Metanogenesis ini sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi. Komposisi bahan baku, laju umpan, 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 (Prihatiningtyas dkk., 2019). Tahap terakhir dari proses pembentukan biogas ialah tahap pembentukan gas metan. Tahap ini melibatkan 2 kelompok bakteri metanogen yang berbeda (Hardoyo dkk., 2018).

Bakteri metanogen asetropik menguraikan asam asetat menjadi metan dan CO<sub>2</sub>.



Bakteri metanogen hidrogenotropik mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi metan.



Tiga tahap pertama pada proses pembentukan biogas disebut tahap pembentukan asam, sedangkan tahap keempat disebut tahap pembentukan metan (Hardoyo dkk., 2018).

### 2.2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pembentukan Biogas

Secara keseluruhan, factor-faktor yang mempengaruhi kinerja Stabilitas dan efisiensi digestasi anaerobik, yaitu (Trisakti dkk., 2021):

#### 1. Temperatur

Temperatur adalah salah satu parameter penting yang sering terabaikan dari pandangan peneliti. Kegagalan untuk mengontrol temperatur reaksi dengan benar dapat menyebabkan penurunan efisiensi proses dan secara tidak langsung mempengaruhi laju reaksi, kelarutan logam berat dan karbon dioksida serta buffering. Secara teoritis, laju reaksi akan meningkat dengan meningkatnya temperatur sekitar. Dengan demikian, produksi biogas juga akan meningkat.

#### 2. Lama Proses

Waktu retensi hidraulik adalah waktu rata-rata agar senyawa yang dapat difermentasi tetap berada dalam digester dalam kontak dengan biomassa dan terurai menjadi produk metabolisme. Secara teoritis, waktu retensi yang lama akan menyebabkan efisiensi proses yang rendah. Dalam kondisi anaerob, dekomposisi zat organik lambat dan ini akan membutuhkan waktu lama untuk selesai. Jenis mikroba dan kisaran temperaturnya adalah salah satu alasan yang akan mempengaruhi waktu retensi. Sistem temperatur termofilik dalam digestasi anaerob akan memiliki waktu retensi yang lebih pendek dibandingkan dengan sistem temperatur mesofilik. Pada temperatur tinggi, laju kinetika partikel meningkat begitu juga laju reaksi. Dengan demikian, proses konversi berlangsung lebih cepat dan mengurangi waktu retensi. Pada saat yang sama, waktu retensi yang lebih pendek menyebabkan koloni mikroba aktif untuk dicuci sementara waktu retensi yang lebih lama berarti volume digester yang lebih besar dan meningkatkan biaya operasional.

### 3. Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan parameter penting dalam produksi biogas. Untuk fase hidrolitik yang optimal dan fase produksi metana, pH ditetapkan masing-masing 5 dan 6,5-8, untuk asidogenesis adalah 4,0- 8,5 dengan nilai optimal sekitar 6, dan untuk asetonogenesis adalah sekitar 7. Kisaran pH optimal untuk metanogen adalah 5,5-8,5. Pertumbuhan metanogenik anjlok pada pH di bawah 6,6. pH harus dijaga sekitar netral karena metanogenesis adalah proses yang paling signifikan, dan proses lain dapat berfungsi di sekitar kondisi netral. pH dalam kisaran 6,6-8,0 adalah optimal.

### 4. Penghambat Nitrogen dan Rasio Karbon Nitrogen

Selama digestasi anaerob, rasio C:N dalam bahan organik memainkan peran penting. Untuk mencapai stabilitas proses yang lebih baik selama proses digestasi, nilai rasio C:N melalui proses harus ditingkatkan. Untuk permulaan proses anaerob yang benar, beberapa penulis telah menetapkan nilai optimal sekitar 300:5:1 untuk C:N:P. Mengenai rasio C:N:P, keseimbangan optimal adalah antara 400:5:1 dan 100:28:6. Karena proporsi tidak ditemukan untuk pengolahan semua jenis limbah, salah satu alternatifnya adalah mencampurkan limbah yang berbeda untuk memastikan bahwa substrat yang diumpankan ke digester telah memiliki rasio yang memadai. Meskipun pengaruh nutrisi pada populasi mikroba mungkin berbeda tergantung pada ketersediaannya sebagai fraksi yang larut (bioavailabilitas) atau padat, penting untuk mengkarakterisasi dengan benar perbedaan substrat pada saat itu mulai dari proses untuk memilih proporsi nutrisi yang paling cocok.

### 5. Pengadukan

Untuk mendistribusikan muatan organik yang memasuki sistem secara seragam dengan bakteri, perlu dilakukan proses pengadukan untuk memastikan distribusi padatan dan untuk memfasilitasi pembuangan gas yang dihasilkan. Pengadukan memungkinkan gas untuk melewati busa atau di atas permukaan cairan, mencegah bahan-bahan dalam cairan agar tidak jatuh ke bawah dan memungkinkan kontak antara bakteri dan bahan organik berlangsung homogen. Akibatnya, produksi gas meningkat 10-15%. Keuntungan lainnya adalah menyamakan perubahan temperatur limbah dalam fermentor, mengatur

kepadatan populasi bakteri dalam bubur dan mempercepat reaksi dengan menyediakan campuran populasi bakteri dan limbah segar.

### 2.3 Biodigester



Sumber : Prihatiningtyas dkk. 2019

Gambar 2.2 Biodigester

Biodigester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Biodigester merupakan tempat dimana material organik diurai oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$ . Biodigester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan baik. Pada umumnya, biogas dapat terbentuk pada 4–5 hari setelah digester diisi. Produksi biogas yang banyak umumnya terjadi pada 20–25 hari dan kemudian produksinya turun jika biodigester tidak diisi kembali (Suyitno dkk., 2010).

#### 2.3.1 Komponen Utama Biodigester

Komponen-komponen biodigester cukup banyak dan sangat bervariasi. Komponen yang digunakan untuk membuat biodigester tergantung pada jenis biodigester yang digunakan dan tujuan pembangunan biodigester. Tetapi, secara umum biodigester terdiri dari empat komponen utama, yaitu (Suyitno dkk., 2010):

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

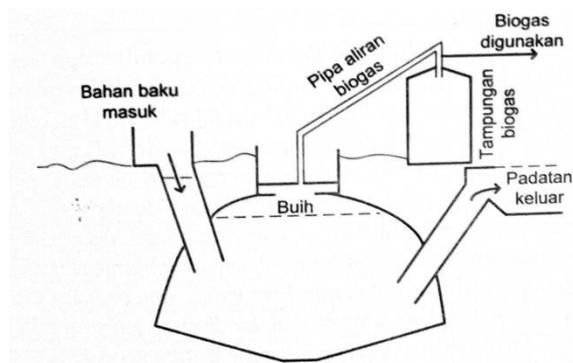
2. Ruang *digestion* (ruang fermentasi). Ruang *digestion* berfungsi sebagai tempat terjadinya proses *digestion* dan dibuat kedap terhadap udara. Ruangan ini dapat juga dilengkapi dengan penampung biogas.
3. Saluran keluar residu (*sludge*). Fungsi saluran ini adalah untuk mengeluarkan kotoran (*sludge*) yang telah mengalami proses *digestion* oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatik. Residu yang keluar pertama kali merupakan *slurry* (lumpur) masukkan yang pertama setelah waktu retensi. *Slurry* yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.
4. Tangki penyimpanan biogas. Tujuan dari tangki penyimpan gas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses *digestion*. Jenis tangki penyimpan biogas ada dua, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*fixed dome*) dan terpisah dengan reaktor (*floating dome*). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang terdapat dalam tangki seragam.

### 2.3.2 Macam-Macam Biodigester

Terdapat beberapa jenis biodigester yang dapat dilihat berdasarkan konstruksi, jenis aliran, dan posisinya terhadap permukaan tanah.

Berdasarkan model konstruksi, digester dibedakan menjadi:

1. *Fixed Dome* (kubah tetap)



Sumber : Prihatiningtyas dkk., 2019

Gambar 2.3 Biodigester Tipe *Fixed Dome*

Reaktor kubah tetap (*fixed-dome*) disebut juga sebagai reaktor cina. Dinamakan demikian karena reaktor ini dibuat pertama kali di Cina sekitar tahun 1930-an. Kemudian sejak saat itu, reaktor ini berkembang dengan berbagai model. Reaktor

tipe ini memiliki dua bagian, yaitu digester sebagai tempat pencerna material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana (Prihatiningtyas dkk., 2019).

Digester jenis ini mempunyai volume tetap. Seiring dengan dihasilkannya biogas, terjadi peningkatan tekanan dalam reaktor (biodigester). Karena itu, dalam konstruksi biodigester jenis kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor. Indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan (Suyitno dkk., 2010).

Adapun kelebihan dan kekurangan digester jenis kubah tetap, yaitu:

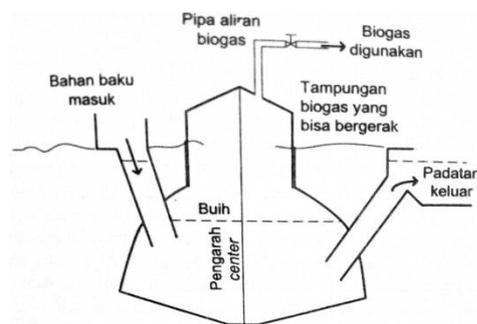
a. Kelebihan

- Sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah
- Biaya konstruksinya rendah
- Tidak terdapat bagian yang bergerak
- Dapat dipilih dari material yang tahan karat
- Umurnya panjang
- Dapat dibuat di dalam tanah sehingga menghemat tempat

b. Kekurangan

- Bagian dalam reaktor tidak terlihat (khususnya yang dibuat didalam tanah) sehingga jika terjadi kebocoran tidak segera terdeteksi
- Tekanan gas berfluktuasi dan bahkan fluktuasinya sangat tinggi
- Temperatur digester rendah

2. *Floating Dome* (kubah apung)



Sumber : Prihatiningtyas dkk., 2019

Gambar 2.4 Biodigester Tipe *Floating Dome*

Reaktor jenis terapung (floating) pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937 sehingga dinamakan dengan reaktor India. Memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak dari drum. Drum ini dapat bergerak naik turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam digester (Prihatiningtyas dkk., 2019).

Dengan model ini, kelemahan tekanan gas yang berfluktuasi pada reaktor biodigester jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan biogas dapat dijaga konstan. Kelemahannya adalah membutuhkan keterampilan khusus untuk membuat tampungan gas yang dapat bergerak. Kelemahan lainnya dari biodigester jenis ini adalah material dari tampungan biogas yang dapat bergerak juga harus dipilih dari material yang tahan korosi dan otomatis harganya lebih mahal (Suyitno dkk., 2010).

### 3. Tipe *balloon plant* (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. Konstruksi dari digester ini 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 (Prihatiningtyas dkk., 2019). Perbedaan dengan digester lainnya hanya terdiri dari satu bagian, yaitu sumur pencernaan yang memiliki fungsi ganda sebagai tempat fermentasi dan tempat penampungan gas. Bagian bawah digester terisi oleh material organik yang berbobot lebih besar. Sementara gas produksi akan terakumulasi pada bagian atas. Jenis digester ini cocok untuk penggunaan skala rumah tangga karena harganya lebih murah, serta konstruksi dan pemasangannya lebih singkat. Namun, digester ini juga memiliki kelemahan mudah mengalami kebocoran (Sri Wahyuni, 2013).

### 4. Tipe *plug flow*

Tipe ini hampir sama dengan tipe baloon plant, tetapi terbuat dari pipa polivinil klorida (PVC) yang di ujung-ujungnya dipasang suatu wadah untuk memasukkan dan mengeluarkan kotoran (Prihatiningtyas dkk., 2019). *Plug flow* digester biasanya berbentuk persegi panjang, kedap air, dan memiliki penutup yang dapat

diubah. Digester ini cocok untuk bahan baku kotoran ruminansia dengan kepadatan 11 – 13%. Digester ini memiliki ciri khas tempat pengumpulan bahan, tempat pencampuran, dan tangki digester yang terpisah. Bahan baku dimasukkan dari salah satu sisi dan mendorong keluar buangan yang telah mengalami proses fermentasi sebelumnya di sisi lain. Gas yang dihasilkan akan terperangkap di bawah penutup dan menuju generator (Sri Wahyuni, 2013).

#### 5. Tipe Balok

Reaktor berbentuk balok yang biasa digunakan dalam skala laboratorium dan praktikum dapat digunakan dengan cara pengerjaan yang sederhana. Konstruksi reaktor tipe ini cukup sederhana dengan aliran umpan dan tempat fermentasi yang terpisah sehingga dibutuhkan pompa untuk mengalirkannya (Prihatiningtyas dkk., 2019).

#### 6. Tipe *fiberglass* terbuat dari bahan fiberglass

Reaktor bahan fiberglass merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga dan skala industri. Reaktor ini menggunakan bahan *fiberglass* sehingga lebih efisien dalam penanganan (Prihatiningtyas dkk., 2019). Digester jenis ini terbuat dari bahan *fiberglass*, sehingga lebih efisien dalam penanganannya dan mudah untuk dipindahkan. Sama seperti pada jenis balok, digester ini juga hanya terdiri dari satu bagian, yaitu berupa sumbu pencernaan yang berfungsi ganda sebagai tempat fermentasi dan penampungan gas. Jika dibandingkan dengan digester yang lainnya, digester berbahan *fiberglass* ini paling banyak memiliki keunggulan. Berikut beberapa keunggulan digester berbahan *fiberglass*, yaitu (Sri Wahyuni, 2013):

- a. Sangat kedap udara dan ringan
- b. Sistem *knock down* dan mudah untuk dibongkar pasang
- c. Perawatan praktis dan tidak mudah tersumbat
- d. Mudah untuk dipindahkan apabila tidak digunakan atau direlokasi
- e. Mudah dideteksi dan diperbaiki ketika terjadi kebocoran
- f. Konstruksi bahan dari *fiberglass* lebih konsisten sehingga tahan terhadap cuaca dan gempa
- g. Ketebalan reaktor mencapai 5 – 10 mm

- h. Suhu gas yang dapat dihasilkan rata-rata 30,2°C. Nilai ini lebih besar dari yang dihasilkan jenis lainnya
- i. Temperatur api rata-rata 749,5°C
- j. Tekanan gas 5,0 kg/cm<sup>3</sup> (5,0 bar = 72,5 psi)
- k. Bahan baku sisa fermentasi dapat ditampung di dalam digester dan diolah menjadi pupuk organik padat siap pakai
- l. Daya tahan digester yang lebih lama, yaitu dapat mencapai waktu sekitar 10 – 20 tahun

Dari segi aliran bahan baku untuk reactor biogas, biodigester dibedakan menjadi:

1. *Batch feeding*

*Batch feeding* merupakan digester yang pengisian bahan organiknya dilakukan sekali sampai penuh, kemudian ditunggu hingga biogas dihasilkan. Isian digester tersebut akan dibongkar setelah biogas tidak diproduksi lagi atau produksinya rendah. Digester kemudian diisi kembali dengan bahan organik yang baru (Sri Wahyuni, 2013). Biodigester jenis ini umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil (Suyitno, 2010).

2. *Continuous feeding*

Jenis digester ini pengisian bahan bakunya dilakukan rutin setiap hari dalam jumlah tertentu. Pada pengisian awal, digester diisi hingga penuh lalu ditunggu sampai biogas diproduksi. Karena bahan baku akan mengalami penyusutan, selanjutnya pengisian dilakukan secara kontinu dalam jumlah tertentu. Digester ini didesain dengan lubang pemasukan dan pengeluaran untuk limbah cair (*sludge*) (Sri Wahyuni, 2013).

Dari segi tata letak penempatan, biodigester dibedakan menjadi (Suyitno dkk., 2010):

- 1. Seluruh biodigester di atas permukaan tanah. Biasanya biodigester 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 (keluarga). Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi sehingga tidak tahan

lama. Untuk pembuatan skala besar, biodigester jenis ini jelas memerlukan luas lahan yang besar juga.

2. Sebagian tangki biodigester diletakkan di bawah permukaan tanah. Biasanya biodigester 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 system ini adalah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), suhu dingin yang diterima oleh plat baja merambat kedalam bahan baku biogas, sehingga merambat proses bekerjanya bakteri. Ingat kembali bahwa bakteri akan bekerja secara optimum pada temperatur tertentu saja.
3. Seluruh tangki biodigester diletakkan dibawah permukaan tanah. Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, di mana seluruh instalasi biodigester dibuat di dalam tanah dengan konstruksi yang permanen. Selain dapat menghemat tempat atau lahan, pembuatan biodigester di dalam tanah juga berguna untuk mempertahankan temperatur biodigester stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri metanogen. Kekurangannya adalah jika terjadi kebocoran gas dapat menyulitkan untuk memperbaikinya.

### 2.3.3 Pemeliharaan Instalasi Biogas

Agar instalasi biogas dapat memproduksi gas secara terus menerus, perlu dilakukan pemeliharaan terhadap instalasi biogas. Berikut merupakan beberapa hal yang harus dilakukan (Sri Wahyuni, 2013).

1. Mengisi bahan baku berupa kotoran ternak segar ke dalam digester sesuai dengan kapasitas harian agar produksi biogas dapat kontinu.
2. Mencegah bahan penghambat (pestisida, disinfektan, air detergen, atau sabun) masuk ke dalam digester.
3. Membersihkan peralatan seperti kompor dan generator secara teratur.
4. Mengolah limbah biogas secara teratur.
5. Mengaplikasikan hasil olahan sisa bahan baku pembuatan biogas agar tidak terjadi penumpukan pada bak penampungan.
6. Segera perbaiki jika terjadi kebocoran pada instalasi peralatan biogas.

## 2.4 Mikroorganisme Pembantu



Sumber : Megawati dan Aji, 2015

Gambar 2.5 Probiotik

Untuk mempercepat proses fermentasi pembentukan gas tanpa bau, maka ditambahkan probiotik ke dalam tangki digester. Proses pembentukan biogas tidak terlepas dari kinerja mikroorganisme. Mikroorganisme yang berupa bakteri metanogenik ini membantu proses fermentasi hingga pembentukan biogas. Bakteri ini bekerja merombak bahan organik dan merubahnya menjadi gas metana. Karakteristik bakteri metanogenik dapat hidup dalam lingkungan anaerobik (tanpa oksigen), umumnya bakteri ini terdapat pada kotoran rumen dan kotoran manusia. Pada dasarnya, bakteri sangat sensitif terhadap perubahan suhu lingkungan, sehingga diperlukan perlakuan khusus untuk mempertahankan populasi bakteri pada kadar yang diperlukan. Perubahan suhu yang tiba-tiba dapat menyebabkan penurunan laju pertumbuhan bakteri dan berdampak pada rendahnya produksi gas metana (Sri Wahyuni, 2013).

## 2.5 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah parameter yang menunjukkan total bahan yang dapat dioksidasi secara kimia dalam sampel dan oleh karena itu menunjukkan kandungan energi bahan baku. COD mewakili energi kimia maksimum yang ada dalam bahan baku karena mikroba mengubah energi kimia menjadi metana. Analisis COD dapat memberikan kesalahan yang cukup tinggi karena ketidakhomogenan sampel dan banyaknya jumlah langkah perlakuan sampel yang diperlukan (pengenceran, penimbangan, dan titrasi). Oleh karena itu, sebaiknya dilakukan oleh personel yang berpengalaman untuk bahan baku biogas yang khas,

yang mengandung bahan organik terkonsentrasi tinggi dan bahan yang besar (Luque dkk., 2013). Adapun rumus Kadar COD, yaitu (SNI,2004) :

$$\text{Kadar COD} = \frac{(a-b) c \times 1000 \times d \times p}{\text{ml sampel}} = \text{mg/L} \quad \dots (1)$$

## 2.6 Nilai Kalor (*Heating Value, HV*) Biogas

Nilai kalor biogas merupakan karakteristik biogas dalam menghasilkan energi panas yang memungkinkan sifat mudah terbakar, dapat diubah menjadi energi (Toribio dkk., 2020). Nilai kalor (HV) adalah jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran tunak (*steady*) dan produk dikembalikan lagi ke keadaan dari reaktan. Besarnya nilai kalor dari suatu bahan bakar sama dengan harga mutlak dari entalpi pembakaran bahan bakar.

$$\text{Nilai Kalor} = |\Delta H_c| \quad \dots(2)$$

Terdapat dua jenis nilai kalor, yaitu:

- a. *Higher Heating Value* (HHV), yaitu nilai kalor atas. Nilai kalor atas ditentukan pada saat H<sub>2</sub>O pada produk pembakaran berbentuk cairan (Suyitno dkk., 2010). Nilai kalor atas juga dikenal dengan *Superior Heating Value* (H<sub>s</sub>) atau *Gross Calorific Value* (GCV) ditentukan dengan membawa semua produk pembakaran kembali ke suhu pra-pembakaran asli dan khususnya mengembunkan uap apapun yang dihasilkan (Luque dkk., 2013).
- b. *Lower Heating Value* (LHV), yaitu nilai kalor bawah. Nilai kalor bawah ditentukan pada saat H<sub>2</sub>O pada produk pembakaran berbentuk gas (Suyitno, 2010). Nilai kalor bawah juga dikenal dengan *Inferior Heating Value* (H<sub>i</sub>) atau *Net Calorific Value* (NCV) ditentukan dengan mengurangi panas penguapan uap air dari nilai pemukulan yang lebih tinggi. Mengasumsikan bahwa panas laten penguapan air dalam bahan bakar dan produk reaksi tidak diperoleh kembali (Luque dkk., 2013).

Energi biogas dapat diubah menjadi energi untuk memasak melalui proses pembakaran. Komponen biogas yang mudah terbakar adalah CH<sub>4</sub>. Biogas mentah yang mengandung CH<sub>4</sub> memiliki nilai kalor rata-rata 30 MJ/kg (Pertiwiningrum dkk., 2018).

## 2.7 Massa Jenis Biogas

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung massa jenis biogas adalah sebagai berikut (Tabatabaei dan Ghanavati, 2018) :

$$\rho \text{ biogas} = C_{\text{CH}_4} \times \rho_{\text{CH}_4} + (1 - C_{\text{CH}_4}) \times \rho_{\text{CO}_2} \quad \dots (3)$$