

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Organik

2.1.1 Sampah Organik

Menurut *World Health Organization* (WHO) definisi sampah adalah sesuatu yang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang yang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya (Chandra, 2006). Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah dapat berasal dari kegiatan manusia, hewan dan juga alam.

Berdasarkan sifatnya, sampah dapat dibagi menjadi dua yaitu sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik adalah sampah yang mudah terdegradasi dan mudah terurai, contohnya : sampah sayuran, daun-daunan, kotoran hewan, sisa makanan, kertas, kayu dan lain-lain. Sampah organik disebut juga sampah basah yang mudah membusuk (*garbage*) karena aktivitas mikroorganisme (Wardi, 2011).

2.1.2 Kotoran Sapi

Kotoran sapi adalah substrat yang paling cocok sebagai sumber penghasil biogas, karena mengandung bakteri penghasil gas metana yang terdapat dalam perut *ruminansia*. Bakteri tersebut yang membantu mempercepat proses pembentukan biogas pada proses fermentasi (Sufyandi, A., 2001). Selain itu, kotoran sapi juga merupakan salah satu biomassa yang mengandung karbohidrat, protein, dan lemak. Dalam mengolah limbah dari kotoran hewan ternak untuk menghasilkan biogas, maka diperoleh sejumlah limbah kotoran ternak yang disebut sebagai *slurry*. *Slurry* kotoran sapi 65 mengandung 1,8% - 2,4% nitrogen, 1,0% - 1,2% fosfor (P205), 0,6% - 0,8% potasium (K 20), dan 50% - 75% bahan organik.

Menurut Saputri (2014), bahan baku pembuatan biogas dari kotoran sapi merupakan penghasil biogas yang paling baik diantara kotoran hewan yang lain karena setiap 10-25 kg kotoran sapi per hari mampu menghasilkan 2 m³ biogas

2.2 Biogas

Biogas merupakan gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses 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, misalnya sampah sayuran dan kotoran hewan (sapi, kambing, babi, dan ayam). Proses fermentasi ini terjadi secara alamiah namun membutuhkan waktu yang relatif lama. Berbeda dengan bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara) yang merupakan bahan bakar tidak dapat diperbaharui, biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan karena keberadaan bahan baku akan terus ada selama kehidupan ini masih berlangsung (Pertiwiningrum, 2015).

Biogas adalah proses produksi gas bio dari material organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi material organik ini tanpa melibatkan oksigen dapat disebut *anaerobic digestion*. Gas yang dihasilkan sebagian besar (lebih 50%) berupa metana (Pambudi, 2005). Secara prinsip pembuatan biogas sangat sederhana, dengan memasukkan substrat (kotoran hewan atau manusia) ke dalam unit pencernaan (*digester*), ditutup rapat, dan selama beberapa waktu biogas akan terbentuk yang selanjutnya dapat digunakan sebagai sumber energi (Karim, dkk, 2005).

Material organik yang terkumpul pada *digester* (reaktor) akan diuraikan menjadi dua tahap dengan bantuan dua jenis bakteri, 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 (Budiyanto & Muizuddin, 2014).

2.3 Bahan Baku Biogas

Bahan utama biogas adalah bahan organik dan air. Bahan baku yang dimanfaatkan untuk biogas harus memiliki beberapa persyaratan atau kriteria sebagai berikut.

1. Bahan organik, sampah, atau limbah pertanian, harus mengandung unsur karbon dan hidrogen serta nitrogen. Unsur nitrogen diperlukan bakteri untuk pembentukan sel.
2. Agar fermentasi lebih cepat, bahan yang kasar harus digiling atau dirajang terlebih dahulu.
3. Bahan baku harus berbentuk bubur oleh karena itu kandungan air harus cukup tinggi (optimum 7% – 9%). Kadar air dalam kotoran sapi kira-kira 18% (rata-rata 11% – 25%), maka perlu diencerkan dengan perbandingan 1:1.
4. Air yang tidak mengandung zat-zat yang dapat menghambat pengembangbiakan bakteri.
5. Perbandingan unsur karbon dan nitrogen (C/N) paling baik untuk pembentukan biogas adalah 30.

Parameter yang memenuhi syarat sebagai bahan baku biogas yaitu :

Table 2.1 Parameter bahan baku biogas

| Parameter | Nilai |
|------------------|-------------|
| Nilai pH | 7,3 |
| Suhu | 26°C |
| %N | 6 |
| COD | 12.080 mg/L |
| %C | 47,32 |
| C/N | 7,9 |
| VS | 4,222 g/L |
| Total Solid (TS) | 4,957 g/L |

Sumber : Pertiwinigrum, 2015

Beberapa bahan organik yang dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas yaitu:

1. Limbah rumah tangga. Limbah yang dipakai misalnya limbah sayur, limbah kulit buah, kertas, sekam, daun, limbah sisa makanan, dan lain-lain.



Gambar 2.1 Limbah sayur

Sumber: Data Primer, 2021

2. Kotoran ternak, seperti kotoran sapi, kerbau, babi, kambing, dan unggas.



Gambar 2.2 Kotoran sapi

Sumber : Data primer, 2021

3. Kotoran manusia. Kotoran manusia dapat menghasilkan gas bio, namun sebelum digunakan untuk bahan baku biogas, cukup penting melakukan karakteristik awal beberapa sampel tinja.

2.4 Kandungan Biogas

Nilai kalori dari 1 m³ biogas sekitar 6.000 watt jam yang setara dengan setengah liter minyak diesel. Biogas sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, LPG, butana, batubara, maupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil (Gantina, 2012).

Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂), dan beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya *hydrogen*

sulfida (H₂S) dan ammonia (NH₃) serta *hydrogen* (H₂), dan nitrogen yang kandungannya sangat kecil. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH₄). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida (CO₂).

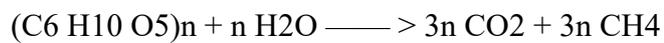
Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang di ijinakan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar maka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulphur dioksida/sulphur trioksida (SO₂/SO₃). senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk *Sulphur acid* (H₂SO₃) 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.

Ada tiga kelompok bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas, yaitu :

1. Kelompok bakteri fermentatif: *Streptococci*, *Bacteriodes*, dan beberapa jenis *Enterobacteriaceae*.
2. Kelompok bakteri asetogenik: *Desulfovibrio*.
3. Kelompok bakteri metana: *Mathanobacterium*, *Mathanobacillus*, *Methanosacaria*, dan *Methanococcus*.

Bakteri *methanogen* secara alami dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti: air bersih, endapan air laut, sapi, kambing, lumpur (*sludge*) kotoran anaerob ataupun TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Biokonversi limbah organik ini melibatkan proses fermentasi. Proses biokonversi seperti ini dikenal pula sebagai proses pencernaan anaerob. Secara kimiawi, proses terbentuknya biogas berupa metana dan karbondioksida adalah sebagai berikut,

- Untuk substrat berupa selulosa



- Untuk substrat berupa senyawa kompleks seperti lignin, tanin, dan polimer aromatik



(Budiyanto & Muizuddin, 2014).

2.5 Faktor yang Memengaruhi Produksi Biogas

Adapun faktor-faktor yang memengaruhi produksi biogas sebagai berikut.

1. Laju pembebanan (*Loading rate*)

Laju pembebanan adalah besaran yang menyatakan jumlah material organik dalam satu satuan volume yang diumpankan pada reaktor. Perubahan laju pembebanan yang mendadak dapat mengakibatkan kenaikan yang setara dalam produksi asam yang tidak dapat disesuaikan oleh kenaikan yang setara dalam pembentukan metan. Pembentukan produk asam asetat akan mengakibatkan penurunan pH dan menghambat produksi metan. Satuan laju pembebanan adalah kg COD/m³ hari.

2. Konsentrasi substrat (COD)

Konsentrasi bahan organik sangat berpengaruh terhadap perencanaan pembuatan dimensi reaktor dan juga bagi kelangsungan proses penguraian zat organik kompleks menjadi senyawa sederhana. Kelemahan perencanaan reaktor dengan kandungan COD yang rendah adalah kebutuhan volume reaktor yang cukup besar untuk dapat menampung umpan substrat.

3. Kandungan asam lemak organik (*Volatile fatty acid*)

Asam lemak organik bisa disebut sebagai volatile fatty acid yang mempunyai rumus R-COOH, dimana R= CH₃ (CH₂)_n, Asam lemak yang dibentuk dalam hidrolisa polisakarida umumnya adalah jenis rantai pendek seperti asetat, propionate dan butirat. Konsentrasi asam lemak yang tinggi akan menyebabkan turunnya pH reaktor dan akan membuat terbentuknya asam lemak rantai panjang. Batas konsentrasi asam asetat yang dapat ditoleransi adalah dibawah 10 mg/L; diatas batas tersebut menyebabkan rusaknya sistem biologi.

4. Alkalinitas

Alkalinitas pada proses fermentasi *anaerobic* adalah kemampuan lumpur didalam reaktor untuk menetralkan asam. Hal ini diperlukan untuk mengimbangi fluktuasi konsentrasi asam didalam reaktor, sehingga fluktuasi pH tidak terlalu besar dan tidak sampai mengakibatkan gangguan pada stabilitas reaktor.

5. pH

Stabilitas proses fermentasi *anaerobic* sangat tergantung pada nilai pH di dalam reaktor. Nilai pH yang rendah menyatakan adanya kelebihan proton (H) di dalam reaktor sebab proton akan berubah menjadi H₂ yang merupakan senyawa dalam reaktor. Nilai pH yang baik untuk operasi adalah antara 6,0 – 7,5.

Bakteri pada umumnya tumbuh dalam suatu rentang pH tiga unit dan mikroba juga menunjukkan nilai pertumbuhannya maksimum antara pH 6,0 – 7,5. Pada pH lebih rendah dari 5,0 dan lebih tinggi dari 8,5 pertumbuhannya sering terhambat meskipun untuk beberapa mikroba ada pengecualian, seperti sejumlah kecil *Acetobacter spp.*

Pengaturan pH sangat penting untuk menjaga pertumbuhan mikroba yang terbaik dari proses pengubahan sistem mikroba anerobik. Pada awal operasi atau pada saat inokulasi pH dalam bioreaktor dapat turun menjadi 6 atau lebih rendah. Hal ini disebabkan terbentuknya asam-asam lemak organik. Setelah beberapa saat pH akan naik kembali yang disebabkan karena terbentuknya gas metan dari asam-asam lemak tersebut.

6. Rasio perbandingan karbon dan nitrogen

Di dalam reaktor terdapat populasi mikroba yang memerlukan karbon dan nitrogen. Apabila nitrogen tidak tersedia dengan cukup, maka mikroba tidak dapat memproduksi enzim yang berguna untuk mencerna karbon. Apabila nitrogen terlalu banyak maka pertumbuhan mikroba akan terganggu, hal ini khususnya terjadi apabila kandungan ammonia didalam substrat terlalu tinggi. Kebutuhan atom atom karbon selama respirasi pembentukan sae untuk setiap 1 atom nitrogen adalah sebanyak 30 atom karbon. Oleh karena itu nilai C/N yang baik adalah sekitar 30.

Tabel 2.2 Rasio C/N Bahan Organik

| Bahan Organik | Rasio C/N |
|--|-----------|
| Kotoran ayam | 10 |
| Kotoran kambing | 12 |
| Kotoran babi | 2 |
| Kotoran sapi | 24 |
| Kotoran manusia | 6-10 |
| Kotoran kerbau | 18 |
| Kotoran kuda | 25 |
| Sampah buah-buahan dan sayuran (organik) | 25 |

Sumber : Agung Sulistyono, 2010

7. Temperatur

Proses pengubahan zat organik polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana didalam reaktor dipengaruhi oleh temperatur. Berdasarkan temperatur yang biasa pada pengoperasian reaktor, maka bakteri yang terdapat didalam reaktor dapat dibedakan atas dua golongan, yaitu: Termofilik yang hidup pada suhu antara 40 – 60°C, dan Mesofilik yang hidup pada suhu antara 25 – 40°C. Temperatur yang terbaik untuk pertumbuhan mikroba mesofilik adalah 30°C atau lebih tinggi sedikit. Bila reaktor *anaerobic* dioperasikan pada suhu yang lebih rendah, misalnya 20°C, pertumbuhan mikroba pada kondisi ini sangat lambat dan sulit pada awal operasi untuk beberapa bioreaktor. Inokulasi akan lebih baik jika dimulai pada suhu 30°C.

8. Senyawa racun dan penghambat

Senyawa penghambat atau inhibitor pada proses fermentasi *anaerob* dapat dibedakan atas 2 jenis, yaitu penghambat fisik dan penghambat kimia. Penghambat fisik adalah temperatur dan penghambat kimia biasa disebut juga dengan racun diantaranya adalah logam berat, anti biotik dan *Volatile Fatty Acid* (VFA). Proses pengolahan yang dilakukan tidak hanya secara *anaerobic* akan tetapi dilakukan pula secara aerobik. Proses aerobik menurut Stefan (1986), adalah pengolahan biologi yang memanfaatkan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik dalam kondisi memberikan oksigen dengan cara aerasi.

2.6 Reaktor Biogas

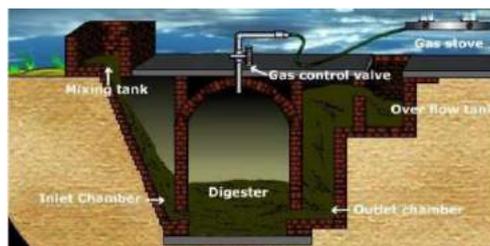
Reaktor merupakan komponen utama dalam produksi biogas. *Digester* merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara *anaerob* (tanpa udara) menjadi menjadi gas CH₄ dan CO₂. *Digester* harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi *anaerob* dapat berjalan dengan baik.

2.6.1 Jenis reaktor biogas (*biodigester*)

Jenis *biodigester* menurut jenis konstruksinya dibedakan menjadi :

1. *Fixed dome*

Biodigester ini memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan dalam reaktor, karena itu dalam konstruksi ini gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor.

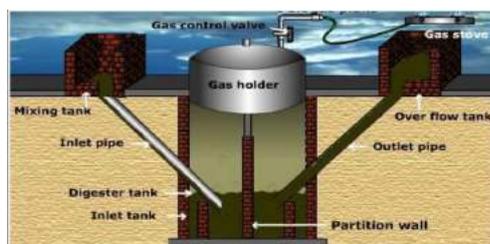


Gambar 2.3 Tipe *fixed dome plant*

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

2. *Floating dome*

Pada tipe ini terdapat bagian pada konstruksi reaktor yang bisa bergerak untuk menyesuaikan dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan reaktor ini juga menjadi tanda telah dimulainya produksi gas dalam reaktor biogas. Pada reaktor jenis ini pengumpul gas berada dalam satu kesatuan dengan reaktor tersebut.



Gambar 2.4 Tipe *floating dome plant*

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

Dari segi aliran bahan bak reaktor biogas, *biodigester* dibedakan menjadi :

1. Bak (*batch*)

Pada *digester* tipe bak, bahan baku ditempatkan di dalam suatu wadah atau bak dari sejak awal hingga selesainya proses digestion. *Digester* jenis ini umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil.

2. Mengalir (*continuous*)

Pada *digester* tipe ini, aliran bahan baku masuk dan residu keluar pada selang waktu tertentu. Lama bahan baku selama dalam reaktor disebut waktu retensi hidrolis (*hydraulic retention time/HRT*).

Sementara dari segi tata letak *biodigester*, dibedakan menjadi :

1. Seluruh *biodigester* di permukaan tanah

Biasanya *digester* jenis ini dibuat dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah Volum 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 tidak tahan lama. Untuk skala yang besar, *digester* jenis ini juga memerlukan luas lahan yang besar juga.

2. Sebagian tangki *biodigester* di bawah permukaan tanah

Biasanya *biodigester* ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil, dan kapur yang dibentuk seperti sumuran dan ditutup dari plat baja. Volume tangki dapat diperbesar atau diperkecil sesuai dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini adalah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke dalam bahan isian, sehingga menghambat proses produksi.

3. Seluruh tangki *biodigester* 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.

2. 6. 2 Komponen utama *biodigester*

Komponen pada *biodigester* sangat bervariasi, tergantung pada jenis *biodigester* yang digunakan. Tetapi, secara umum *biodigester* terdiri dari komponen-komponen utama sebagai berikut :

1. Saluran masuk *slurry* (bahan organik)

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



Gambar 2.5 Saluran masuk

Sumber : Data primer, 2021

2. Ruang *digestion*

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



Gambar 2.6 Ruang *digestion*

Sumber : Data primer, 2021

3. Saluran keluar residu (*sludge*)

Fungsi saluran ini adalah untuk mengeluarkan kotoran (*Sludge*) yang telah mengalami fermentasi *anaerobic* oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan hidrostatik. Residu yang keluar pertama kali merupakan *slurry* masukan yang pertama setelah waktu retensi. *Slurry* yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.



Gambar 2.7 Saluran keluar residu

Sumber : Data primer, 2021

4. Tangki penyimpanan biogas

Tujuan dari tangki penyimpan biogas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik. Jenis tangki penyimpan biogas ada dua, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*fixed dome*) dan terpisah dengan reaktor (*floatated dome*). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang dihasilkan dalam tangki seragam.



Gambar 2.8 Tangki penyimpanan biogas

Sumber : Data Primer, 2021

2. 6. 3 Komponen pendukung *biodigester*

Selain komponen utama, pada sebuah *digester* perlu ditambahkan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas dalam jumlah yang banyak dan aman. Komponen-komponen pendukung sebagai berikut :

1. Katup pengaman tekanan (*control valve*)

Fungsi dari katup pengaman adalah sebagai pengaman *digester* dari lonjakan tekanan biogas yang berlebihan. Bila tekanan dalam tabung penampung biogas lebih tinggi dari tekanan yang diijinkan, maka biogas akan dibuang keluar. Selanjutnya tekanan dalam *digester* akan turu kembali. Katup pengaman tekanan cukup penting dalam reaktor biogas yang besar dan sistem kontinu, karena umumnya *digester* dibuat dari material yang tidak tahan tekanan yang tinggi supaya biaya konstruksi *digester* tidak mahal. Semakin tinggi tekanan di dalam *digester*, semakin rendah produksi biogas di dalam *digester* terutama pada proses hidrolisis dan asidifikasi. Selalu pertahankan tekanan diantara 1,15-1,2 bar di dalam *digester*.

2. Sistem pengaduk

Pada *digester* yang besar sistem pengaduk menjadi sangat penting. Tujuan dari pengadukan adalah untuk menjaga material padat tidak mengendap pada dasar *digester*. Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam *digester* dan temperatur teraga merata diseluruh bagian. Dengan penadukan potensi material mengendap di dasar *digester* semakin kecil, konsentrasi merata dan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob secara merata. Selain itu dengan pengadukan dapat mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju ke bagian penampung biogas.

3. Saluran biogas

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