

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Biogas**

Biogas berasal dari bakteri dalam proses bio-degradasi bahan organik kondisi anaerob (tanpa udara). Turunan alami dari biogas merupakan bagian penting dari siklus karbon. Methanogens (bakteri penghasil metana) merupakan mata rantai dari micro-organisme yang mendegradasi material dan mengembalikan produk yang terdekomposisi ke lingkungan. Pada proses ini biogas digenerasi, sebuah sumber dari energi terbarukan (ISAT/GTZ, 1999)

Biogas merupakan gas campuran metana ( $\text{CH}_4$ ), karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas lainnya yang didapat dari hasil penguraian bahan organik (seperti kotoran hewan, kotoran manusia, dan tumbuhan) oleh bakteri metanogen. Untuk menghasilkan biogas, bahan organik yang dibutuhkan, ditampung dalam *biodigester*. Proses penguraian bahan organik terjadi secara anaerob (tanpa oksigen). Biogas terbentuk pada hari ke 4-5 sesudah *biodigester* terisi penuh dan mencapai puncak pada hari ke 20-25. Biogas yang dihasilkan sebagian besar terdiri dari 50-70% metana ( $\text{CH}_4$ ), 30-40% karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas lainnya dalam jumlah kecil (Fitria, B., 2009).

Biogas berasal dari hasil fermentasi anaerobik pada substrat berupa kotoran hewan [sapi] oleh mikroba dalam ruang bioreaktor. Proses pembentukan gas metana dilakukan oleh bakteri anaerob dengan reaksi biokimia berupa *hydrolisis*, *acidogenesis*, *asetogenesis*, dan *methanogenesis* (Purwandari, 2013).

Fermentasi anaerobik ini biasa terjadi secara alami di tanah yang basah, seperti dasar danau dan di dalam tanah pada kedalaman tertentu. Proses fermentasi adalah penguraian bahan - bahan organik dengan bantuan mikroorganisme. Fermentasi anaerob dapat menghasilkan gas yang mengandung sedikitnya 50% metana. Gas inilah yang biasa disebut dengan biogas. Biogas dapat dihasilkan dari fermentasi sampah organik seperti sampah pasar, dedaunan, dan kotoran hewan yang berasal dari sapi, babi, kambing, kuda, atau yang lainnya, bahkan kotoran manusia sekalipun. Gas yang dihasilkan memiliki komposisi yang berbeda tergantung dari jenis hewan yang menghasilkannya (Firdaus, U.I., 2009).

Komponen penyusun biogas berdasarkan informasi Pusat Teknologi Pertanian Insitut Teknologi Bandung (PTP – ITB) adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Komponen Penyusun Biogas

<b>Jenis Gas</b>	<b>Jumlah (%)</b>
Metana (CH <sub>4</sub> )	54 – 70
Karbon Dioksida(CO <sub>2</sub> )	27 – 45
Air (H <sub>2</sub> O)	0,3
Hidrogen Sulfide (H <sub>2</sub> S)	Sedikit sekali
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0,5 – 3
Hidrogen	5 – 10

*Sumber: pusat informasi dokumentasi PTP – ITB*

Sedangkan menurut *Information and Advisory Service on Appropriate Technology*, biogas merupakan campuran gas – gas yang terdiri beberapa komponen sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Komponen Penyusun Biogas menurut ISAT/GTZ

<b>Jenis Gas</b>	<b>Jumlah (vol.%)</b>
Methane (CH <sub>4</sub> )	40 – 70
Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> )	30 – 60
Other Gases	1 – 5
Including	
- Hydrogen (H <sub>2</sub> )	0 – 1
- Hydrogen Sulfide (H <sub>2</sub> S)	0 – 3

*Sumber: ISAT/GTZ*

Biogas sendiri memiliki keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar yang berasal dari fosil, salah satunya adalah biogas memiliki sifat ramah lingkungan dan dapat diperbaharui berbeda dengan bahan bakar fosil yang menghasilkan CO<sub>2</sub> apabila pembakarannya kurang sempurna sedangkan CO<sub>2</sub> merupakan salah satu gas penyebab pemanasan global, ditambah lagi bahan bakar dari fosil tidak dapat diperbaharui.

Pemanfaatan biogas juga dapat menekan jumlah gas metana yang langsung dilepas ke udara akibat penumpukan sampah di alam terbuka, penumpukan sampah yang dibiarkan terus menerus dapat menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>) sebagai akibat proses pembusukan sampah yang bereaksi dengan oksigen (O<sub>2</sub>)

Karakteristik biogas adalah sebagai berikut;

- Biogas kira - kira memiliki berat 20 % lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki suhu pembakaran antara 650 - 750°C.
- Biogas tidak berbau dan berwarna yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG.
- Nilai kalor gas metana adalah 20 MJ/ m<sup>3</sup> dengan efisiensi pembakaran 60 % pada konvensional kompor biogas.
- Nilai kalor rendah (LHV) (CH<sub>4</sub>) = 50,1 MJ/kg.
- Densitas (CH<sub>4</sub>) = 0,717 kg/m<sup>3</sup>

Biogas yang dihasilkan apabila dimanfaatkan memiliki kesetaraan energi dengan sumber energi lain yang dapat dilihat pada Tabel 2.3

**Tabel 2.3** Nilai Kesetaraan 1 m<sup>3</sup> Biogas dengan Energi Lainnya

<b>Volume</b>	<b>Kesetaraan</b>
1 m <sup>3</sup> Biogas	0,46 kg LPG
	0,62 L minyak tanah
	3,5 kg kayu bakar
	0,62 minyak solar

Sumber: Wahyuni, 2008

## 2.2 Bahan Baku Pembuatan Biogas

### 2.2.1 Kotoran Sapi

Kotoran sapi merupakan limbah yang berasal dari pembuangan pencernaan sapi. Kotoran sapi adalah limbah peternakan yang merupakan buangan dari usaha peternakan sapi yang bersifat padat dan dalam proses pembuangannya sering bercampur dengan urin dan gas seperti CH<sub>4</sub> dan NH<sub>3</sub>. Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, macam, jumlah makanan yang dimakannya, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1988)

Menurut Direktorat Jendral Peternakan kementerian pertanian Republik Indonesia pada tahun 2017 populasi sapi potong di Indonesia 16.599.247. Jika per ekor sapi menghasilkan kotoran sebanyak 29/kg perhari, maka akan dihasilkan limbah kotoran sapi sebesar 481.378 ton perhari. Dengan potensi 1 kg kotoran sapi akan menghasilkan minimal 0,023 m<sup>3</sup> biogas maka potensi biogas yang bisa dihasilkan sebesar 9.887.608 m<sup>3</sup> (Wahyuni, 2013)

Tingginya potensi biogas yang dapat dihasilkan tergantung dari jumlah kandungan selulosa dari kotoran sapi. Kotoran (feses) sapi mempunyai kandungan selulosa yang cukup tinggi. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa feses sapi mengandung selulosa (22,59%), hemiselulosa (18,32%), lignin (10,20%), total karbon organik (34,72%), total nitrogen (1,26%), rasio C/N 27,56 (Munawaroh, 2010). Sehingga kotoran sapi merupakan substrat yang paling cocok dalam pembuatan biogas dikarenakan tingginya kandungan selulosa di dalam kotoran sapi.

Menurut Saputro et al. (2009), biogas yang dibuat dari kotoran hewan khususnya sapi ini memiliki energi alternatif yang ramah lingkungan, karena selain dapat memanfaatkan limbah dari ternak, sisa pembuatan biogas ini berupa *slurry* yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Energi biogas dapat menggantikan bahan bakar fosil sehingga akan menurunkan gas rumah kaca dan gas emisi lainnya di atmosfer. Menurut Wahyudi (2013), pemanfaatan kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk organik memiliki nilai strategis karena dapat menanggulangi kemiskinan dan kelaparan, pemberdayaan perempuan, memerangi HIV, malaria dan memastikan kelestarian lingkungan.

### 2.2.2 *Efective Microorganisme-4 (EM-4)*

Dalam suatu proses pembentukan biogas di dalam digester yang memanfaatkan bakteri sebagai sarana untuk memecah senyawa polimer (dalam hal ini adalah karbohidrat, lemak, dan protein) diperlukan media tambahan untuk membantu mempercepat proses, dan salah satu media yang dapat digunakan untuk membantu mempercepat proses tersebut adalah EM-4 (*Efective Microorganisme-4*) (Sundari, 2012).

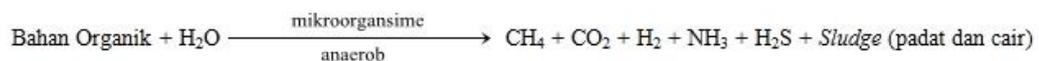
EM-4 merupakan media berupa cairan yang berisi mikroorganisme yang dapat memecah senyawa polimer (dalam hal ini adalah karbohidrat, lemak, dan protein) menjadi senyawa monomernya (Megawati, 2015). Keuntungan dari penambahan EM-4 pada proses pembuatan biogas adalah mempercepat proses fermentasi. Proses fermentasi 7 lebih cepat karena EM-4 terdiri dari bakteri asam

laktat (*Lactobacillus sp*), bakteri fotosintetik (*Rhodospseudomonas sp*), Streptomyces sp, Ragi (*yeast*), *Actinomyces*.

### 2.3 Proses Pembentukan Biogas

Komponen penting dalam pembentukan biogas adalah substrat yang tersusun dari senyawa organik (karbohidrat, protein dan lemak) dan air. Substrat merupakan media pertumbuhan mikroba metanogen penghasil metan. Biomass padat dalam substrat yang bisa diuraikan oleh mikroba menjadi biogas sejumlah 60%, sedangkan sisanya tersuspensi menjadi cairan kental yang disebut *sludge* (*slurry*) dimana *sludge* ini dapat diolah lebih lanjut menjadi pupuk cair atau pupuk kering.

Pada prinsipnya teknologi biogas adalah teknologi yang memanfaatkan proses fermentasi (pembusukan) dari sampah organik secara anaerobik (tanpa udara) oleh bakteri metan sehingga dihasilkan gas metan. Gas metan adalah gas yang mengandung satu atom C dan 4 atom H yang memiliki sifat mudah terbakar (Nandiyanto, 2007 dalam Harsono, 2013). Menurut (Haryati, 2006 dalam Harsono, 2013), proses pencernaan anaerobik merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktivitas bakteri metanogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara. Proses degradasi bahan organik secara anaerob dilakukan oleh mikroorganisme, sehingga reaksi dari proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1

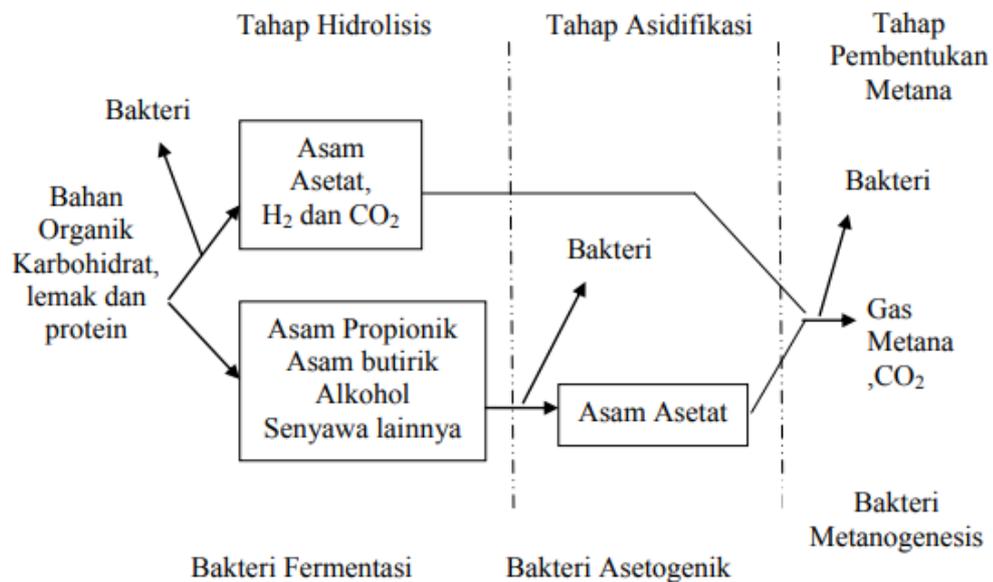


Sumber: Polprasert, 1989

**Gambar 2.1** Reaksi Pembentukan Biogas

Pada pembuatan biogas bahan baku harus banyak mengandung selulosa. Bahan baku dalam bentuk selulosa akan lebih mudah dicerna oleh bakteri anaerob (Wiratmana, 2012). Bakteri biogas terdiri dari kelompok besar bakteri yang kompleks dan bekerja secara berbeda (ISAT/GTZ, 1999) bakteri yang memiliki peran besar dalam pembuatan biogas ini adalah bakteri penghasil metane. Seluruh proses pembentukan biogas bisa dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu tahap

*hydrolysis* (tahap pelarutan), *acidification* (tahap pengasaman), *methane formation* (tahap pembentukan gas metana).



Sumber: ISAT/GTZ, 1999

**Gambar 2.2** Tiga Tahapan Fermentasi Anaerobic pada Biogas

### 2.3.1 Tahap *Hydrolysis*

Secara teoritis, langkah pertama dalam proses pembentukan biogas adalah hidrolisis. Pada tahap hidrolisis ini, kompleks bahan organik (polimer) didekomposisi menjadi unit yang lebih kecil (mono dan oligo) (Megawati, 2014). Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida dan protein dipecah menjadi *peptides* dan asam amino (ISAT/GTZ, 1999) berdasarkan persamaan seperti persamaan yang ditunjukkan di bawah ini:

Lipid  $\longrightarrow$  Asam Lemak, Gliserol

Polisakarida  $\longrightarrow$  Monosakarida

Bakteri yang berperan dalam tahap hidrolisis ini adalah sekelompok bakteri anaerobik, adapun jenis bakteri pada hidrolisis dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut ini:

**Tabel 2.4** Klasifikasi Bakteri Hidrolisis

Bakteri	Substrat yang dihidrolisis
<i>Acetivibrio</i>	Karbohidrat/Polisakarida
<i>Peptostreptococcus</i> dan <i>Bifidbacterium</i>	Protein
<i>Clostridium</i>	Lemak

Proses hidrolisis membutuhkan mediasi exo-enzim yang diekskresi oleh bakteri fermentatif. Produk yang dihasilkan dari proses hidrolisis lebih lanjut diuraikan oleh mikroorganisme yang terlibat dan digunakan untuk proses metabolisme mereka sendiri. Walaupun demikian proses penguraian anaerobik sangat lambat dan menjadi terbatas dalam penguraian limbah selulolitik yang mengandung lignin. Pada proses ini, bakteri pengurai asam menguraikan senyawa glukosa sesuai dengan reaksi berikut (Mosey, 1983 dalam jurnal Manurung (2004)):



Tahap pertama ini sangat penting karena molekul organik besar yang terlalu besar dipecah untuk langsung diserap dan digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber substrat atau makanan (Schnurer dkk. 2009), untuk menghasilkan waktu pencernaan yang lebih pendek dan memberikan hasil metana yang lebih tinggi (Verma, 2002)

### 2.3.2 Tahap *Acidification*

Pada tahap kedua ini bakteri penghasil asam mengubah bakteri fermentasi menjadi asam asetat ( $CH_3COOH$ ), hidrogen ( $H_2$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ). Bakteri ini biasanya hidup di daerah tanpa udara dan bisa tumbuh pada kondisi asam. Untuk memproduksi asam asetat mereka membutuhkan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan (ISAT/GTZ, 1999). Dalam proses oksidasi ini dihasilkan hidrogen dan karbon dioksida, dan bakteri yang berfungsi untuk proses konversi ini dikenal dengan bakteri asetogen.

Menurut Deublein dan Steinhauser (2008) produk terpenting dalam tahapan asidogenesis adalah asam asetat, asam propionate, asam butirat,  $H_2$  dan  $CO_2$ . Selain itu dihasilkan sejumlah kecil asam formiat, asam laktat, asam valerat, methanol, etanol, butadienol dan aseton. Tahap ini berlangsung pada suhu  $25^\circ C$  di dalam digester (Price dan Cheremisinoff, 1981). Reaksi pada tahap ini, sebagai berikut:





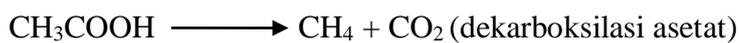
Asidifikasi sangat dipengaruhi oleh suhu sesuai dengan hukum Arrhenius, namun suhu termofilik yang mengakibatkan kematian sel dan biaya energi yang lebih tinggi dapat mengakibatkan suhu sub-optimal yang lebih baik (Broughton, 2009)

### 2.3.3 Tahap *Methane Formation*

Bakteri yang menghasilkan metana terlibat pada tahap ketiga atau terakhir, bakteri ini mendekomposisi senyawa dengan berat molekul yang rendah. Sebagai contoh, mereka memanfaatkan hidrogen, karbon dioksida dan asam asetat untuk membentuk metana dan karbon dioksida. Pada kondisi yang alami, metana diproduksi mikroorganisme yang muncul pada tingkatan dimana kondisi anaerobik mendukung, contohnya di bawah air, rumen sapi dan rawa – rawa (ISAT/GTZ, 1999)

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 (Dueblein dkk, 2008).

Pada akhirnya gas metana diproduksi dengan dua cara. Pertama adalah mengkonversikan asetat menjadi karbon dioksida dan metana oleh organisme asetropik dan cara lainnya adalah dengan mereduksi karbon dioksida dengan hidrogen oleh organisme hidrogenotropik. Berikut ini adalah reaksi utama (reaksi metanogenesis) yang terlibat dalam konversi substrat menjadi metana



Pada tahap ini juga, 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)

Hanya ada dua kelompok yang dikenal metanogen yang memecah asetat: *Methanosaeta* dan *Methanosarcina*, sementara ada banyak kelompok yang berbeda dari metanogen yang menggunakan gas hidrogen, termasuk *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanogenium* dan *Methanobrevibacter*. *Methanosaeta* dan *Methanosarcina* memiliki tingkat pertumbuhan yang berbeda dan juga berbeda mengenai kemampuan mereka untuk memanfaatkan asetat. *Methanosarcina* tumbuh lebih cepat, tetapi menemukan kesulitan untuk menggunakan asetat pada konsentrasi rendah, dibanding *Methanosaeta*. Namun, kehadiran organisme ini dipengaruhi tidak hanya oleh konsentrasi asetat, tetapi juga oleh faktor-faktor seperti beban frekuensi dan pencampuran. Karena produsen metana umumnya tumbuh sangat lambat, hal ini sering tahap membatasi laju dari proses biogas (Schnurer, 2009).

#### 2.4 Parameter Proses Pembentukan Biogas

Laju proses pembentukan biogas sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya ialah temperatur substrat, nutrisi, *retention time*, pH, *volatile solid*, konsentrasi padatan, konsentrasi substrat, pengadukan bahan organik serta bahan penghambat.

Tiap bakteri berbeda yang bertanggung jawab atas tiga tahapan pembentukan biogas memiliki efek yang berbeda dengan beberapa faktor yang telah disebutkan (ISAT/GTZ, 1999).

##### a. Temperatur Substrat

Fermentasi anaerobik pada umumnya terjadi antara 3°C dan sekitar 70°C. Perbedaan ini dibagi menjadi tiga bagian temperatur:

##### - Kondisi *Psychrophilic*

Pada kondisi ini temperatur berada di bawah 20°C (ISAT/GTZ, 1999), pada kondisi ini terjadi proses perombakan bahan organik yang dilakukan oleh bakteri *psychrophilic* secara lambat, waktu fermentasi berlangsung lebih dari 100 hari lamanya.

##### - Kondisi *Mesophilic*

Pada kondisi ini temperatur berada antara 20°C dan 40°C (ISAT/GTZ, 1999), pada kondisi ini proses perombakan yang dilakukan oleh bakteri *mesophilic*

berlangsung cukup baik, waktu fermentasi berlangsung lebih dari 20 hari (Sasse, 1988)

- Kondisi *Thermophilic*

Pada kondisi ini temperatur berada di atas 40°C (ISAT/GTZ, 1999). Pada kondisi ini akan terjadi proses perombakan yang dilakukan oleh bakteri *thermophilic* secara optimal pada temperatur 55°C. waktu fermentasi berlangsung lebih dari 8 (Sasse, 1988)

Laju pertumbuhan bakteri penghasil metana meningkat seiring bertambahnya temperatur. Begitu juga dengan jumlah ammonia bebas yang ikut meningkat seiring meningkatnya temperatur, keefektivan *biodigester* bisa saja terganggu atau bahkan mengurangi hasil biogas. Pada umumnya, *biodigester* tanpa pemanasan sudah cukup baik jika temperatur di sekitarnya sekitar 20°C atau lebih. Jika temperatur dari biogas di bawah 15°C, produksi gas akan menurun dan *biodigester* yang digunakan tidak akan efektif dalam membuat biogas yang memiliki nilai jual (ISAT/GTZ, 1999)

Bahkan Menurut Meynell (1976), temperatur optimal untuk pencernaan anaerob adalah pada temperatur 30-35 °C. Kisaran temperatur ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi gas metana didalam digester dengan lama proses yang pendek. 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. Seperti halnya proses secara biologi tingkat produksi gas 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.

b. Nutrisi

Untuk tumbuh, bakteri memerlukan lebih daripada *supply* bahan organik sebagai sumber karbon dan energi. Bakteri juga memerlukan beberapa nutrisi mineral seperti karbon, oksigen dan hidrogen, bahkan beberapa bakteri membutuhkan *supply* yang memadai dari nitrogen, sulfur, posfor, potasium, kalsium, magnesium dan sejumlah elemen seperti *iron*, mangan, *molybdenum*,

*zinc, cobalt, selenium, nickel* dan sebagainya. Substrat “normal” seperti limbah buangan pertanian atau limbah buangan kota biasanya telah mengandung beberapa elemen yang telah disebutkan. Tingginya konsentrasi dari salah satu zat biasanya akan memberikan efek hambatan (ISAT/GTZ, 1999)

c. Lama Waktu Fermentasi (*retention time*)

Lama proses pencernaan (Hydraulic Retention Time/HRT) adalah jumlah waktu (dalam hari) proses pencernaan/digesting pada tangki anaerob dihitung 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.

*Retention time* lebih akurat pada *biodigester* tipe batch, untuk tipe kontinyu rata – rata *retention time* diperkirakan dengan membagi volume *biodigester* dengan laju alir setiap hari. Jika *retention time* terlalu sebentar, maka bakteri di dalam *biodigester* akan mati lebih cepat daripada mereka bisa memproduksi (ISAT/GTZ, 1999)

d. Derajat Keasaman (pH)

Bakteri penghasil metana hidup dengan baik pada pH netral dan sedikit pada kondisi alkalin. Ketika proses fermentasi telah stabil pada kondisi anaerobil, pH akan secara normal berada pada kisaran nilai 7 dan 8,5. Jika nilai pH turun secara drastis dan berada pada kisaran 6,2, maka substrat akan memiliki efek racun yang akan membuat bakteri *methanogenic* akan mati (ISAT/GTZ, 1999)

Menurut Waskito (2011), bakteri – bakteri metana selain tidak menghendaki suasana asam juga tidak menghendaki suasana lingkungan yang terlalu basa. Sehingga suasana netral adalah suasana yang paling baik untuk menghasilkan biogas. Pengontrolan pH secara alamiah dilakukan oleh ion  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{HCO}_3^-$ . Ion-ion ini akan menentukan besarnya pH.

Maka dari itu faktor pH ini sangat berperan penting di dalam pembuatan biogas, karena apabila pH terlalu tinggi ataupun terlalu rendah maka bakteri

pembentukan metana tidak akan tumbuh secara optimum bahkan bakteri tersebut akan mati, sehingga akan menghambat dalam produksi biogas.

e. *Volatile Solid (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  $538^{\circ}\text{C}$  disebut *volatile solid*

f. Faktor Konsentrasi Padatan (*Total Solid Content*)

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.

g. Konsentrasi Substrat

Pada pembuatan biogas, bahan baku mempunyai peran penting dalam proses pembentukan biogas. Salah satu cara untuk menentukan bahan baku yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan biogas yaitu mengetahui perbandingan Karbon (C) dan Nitrogen (N) atau dikenal dengan rasio C/N (Kurnia dan Kartika, 2014 dalam Efri, 2018)

Produksi gas metan sangat tergantung oleh rasio C/N dari substrat. Menurut Hartono (2009) rentang rasio C/N antara 25 – 30 merupakan rentang optimum untuk proses penguraian anaerob. Jika rasio C/N terlalu tinggi, maka nitrogen akan terkonsumsi sangat cepat oleh bakteri-bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan lagi bereaksi dengan sisa karbonnya. Sebagai hasilnya produksi gas akan rendah. Di lain pihak, jika rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan dibebaskan dan terkumpul dalam bentuk  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Mikroorganisme membutuhkan nitrogen dan karbon untuk pencampuran ke dalam struktur sel bakteri. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metabolisme dari bakteri *methanogenic* mengalami aktivitas yang optimum pada C/N ratio sekitar 8 – 20 (ISAT/GTZ, 1999)

Sel mikroorganisme mengandung Carbon, Nitrogen, Posfor dan Sulfur dengan perbandingan 100:5:1:1. Untuk pertumbuhan mikroorganisme, unsur-unsur diatas harus ada pada sumber makananya (substrat). Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat.

Kandungan air dalam substart dan homogenitas sistem juga mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Karena kandungan air yang tinggi akan memudahkan proses penguraian, sedangkan homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substart menjadi lebih intim.

#### h. Pengadukan

Beberapa substrat dan berbagai macam model dari alat *biodogester* membutuhkan sejenis pengadukan atau pencampuran untuk tujuan menstabilkan proses di dalam *biodigester* (ISAT/GTZ, 1999). Beberapa tujuan penting dalam pengadukan adalah sebagai berikut:

- Mengurangi metabolit yang diproduksi oleh bakteri *methanogens* (gas)
- Mencampurkan substrat segar dan populasi bakteri lain (inakulasi)
- Menghalangi pembentukan buih dan sedimentasi
- Menghindari perbedaan suhu di dalam *biodigester*
- Menghindari kepadatan populasi yang tidak rata di dalam *biodigester*
- Mencegah pembentukan ruangan yang kosong, yang akan mengurangi efektifitas dari *biodigester*

Menurut Gerardi (2003) pengadukan akan sangat mempengaruhi peningkatan produksi metana. Hal tersebut dikarenakan aktivitas metabolisme dari bakteri pembentuk asetat dan bakteri pembentuk metana memerlukan jarak yang saling berdekatan. Selain itu, pengadukan dapat mngurangi terjadinya pemisahan *sludge* dan terbentuknya busa.

### i. 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 anaerobik akan tetapi dilakukan pula secara aerobik. Proses aerobik menurut Stefan S, 1986, adalah pengolahan biologi yang memanfaatkan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik dalam kondisi memberikan oksigen dengan cara aerasi dengan berbagai macam cara.

Keberadaan dari besi berat, *antibiotics* (*Bacitracin*, *Flavomycin*, *Lasalocid*, *Monensin*, *Spiramycin*, dan sebagainya) dan deterjen yang digunakan dalam peternakan dapat menimbulkan efek penghambatan dalam proses *bio-methanation* (ISAT/GTZ, 1999). Limit konsentrasi dari beberapa senyawa penghambat dapat dilihat pada Tabel 2.5

**Tabel 2.5** Limit Konsentrasi dari beberapa Senyawa Penghambat

Senyawa	Volume (mg/L)
Copper	10 – 250
Calcium	8000
Sodium	8000
Magnesium	3000
Nickel	100 – 1000
Zinc	350 – 1000
Chromium	200 – 2000
Sulfide (as Sulfur)	200
Cyanide	2

*Sumber: ISAT/GTZ, 1999*

## 2.5 Digester Pembuatan Biogas

Digester merupakan wadah atau tempat berlangsungnya proses fermentasi limbah organik dengan bantuan mikroorganisme hingga menghasilkan biogas. Digester merupakan sebuah reaktor yang dirancang sedemikian rupa sehingga kondisi didalamnya menjadi anaerobik, sehingga bisa memungkinkan proses dekomposisi anaerobik bisa terjadi. Limbah harus ditampung dalam digester

selama proses dekomposisi berlangsung atau dengan kata lain sampai limbah tersebut menghasilkan biogas.

Digester biogas menyuplai energi dan pupuk. Digester juga meningkatkan kebersihan dan menjaga lingkungan, sebuah digester biogas juga dapat meringankan beban negara dan meningkatkan kondisi rumah tangga. Digester biogas merupakan sumber energi modern yang akan meningkatkan kesejahteraan hidup di sebuah negara (Sasse, 1988)

Beberapa jenis reaktor biogas yang dikembangkan diantaranya adalah reaktor jenis kubah tetap (*Fixed-dome*), reaktor terapung (*Floating drum*), reaktor jenis balon, jenis horizontal, jenis tanah, jenis ferrocement. Dari keenam jenis digester biogas yang sering digunakan adalah jenis kubah tetap (*Fixed-dome*) dan jenis Drum mengambang (*Floating drum*). Beberapa tahun terakhir ini dikembangkan jenis reaktor balon yang banyak digunakan sebagai reaktor sederhana dalam skala kecil (Pambudi, 2007).

Ditinjau dari cara operasionalnya, digester dibagi menjadi dua tipe, yaitu :

a. Tipe Batch Digestion

Pada tipe ini bahan baku dimasukkan ke dalam digester, kemudian dibiarkan bereaksi selama 6 - 8 minggu. Biogas yang dihasilkan ditampung dan disimpan dalam penampung gas. Setelah itu digester dikosongkan dan dibersihkan sehingga siap untuk dipakai lagi. Kelebihan tipe ini adalah kualitas hasilnya bisa lebih stabil karena tidak ada gangguan selama reaksi berjalan. Namun untuk skala industri, tipe ini tidak efektif dan mahal karena membutuhkan minimal dua buah digester yang dipakai bergantian agar dapat memproduksi biogas secara kontinyu (Jati, 2014).

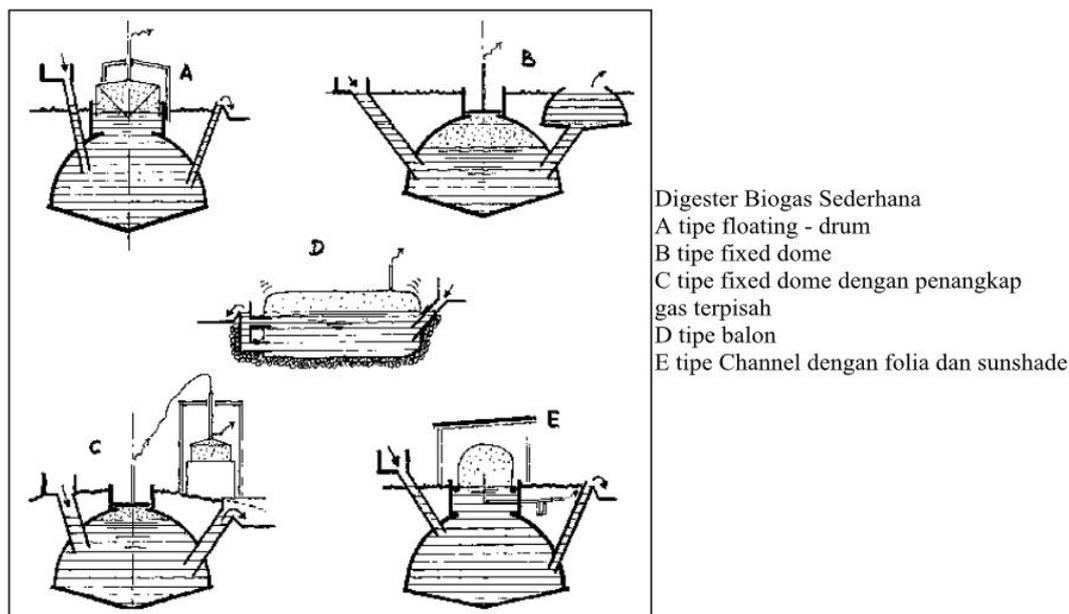
b. Tipe Continuous Digestion

Pada tipe ini proses pemasukan bahan baku dan pengeluaran *slurry* sisa proses dilakukan secara berkala. Jumlah material yang masuk dan keluar harus diatur secara seimbang sehingga jumlah material yang ada di dalam digester selalu tetap. Kekurangan dari tipe ini adalah membutuhkan pengoperasian dan pengawasan yang lebih ketat agar reaksi selalu berjalan dengan baik. Namun untuk skala industri, tipe ini lebih mudah untuk dimaksimalkan hasilnya dan lebih

murah karena hanya membutuhkan satu buah digester untuk menghasilkan biogas secara kontinyu (Jati,2014).

Menurut Sasse (1988) ada tiga tipe utama dari *biodigester* yang dapat dibedakan, yaitu:

- *Biodigester* tipe balon
- *Biodigester* tipe fixed dome
- *Biodigester* tipe *floating-drum*



**Gambar 2.3** Digester Biogas Sederhana

Sumber: Sasse, 1988

a. Digester Tipe Balon

Digester balon memiliki plastik atau kantong digester karet, yang berada di atas bagian digester di mana gas itu akan tertampung di dalam plastik tersebut. Sambungan masuk dan keluaran langsung berada pada permukaan balon. Ketika gas sudah penuh maka digester akan bekerja seperti digester tipe *fixed dome*. Tekanan gas didapatkan melalui balon yang elastis dan dengan menambahkan bobot yang ditempatkan pada balon (Sasse, 1988)

*Slurry* yang dihasilkan akan teraduk secara perlahan oleh pergerakan dari permukaan balon, dan hal itu sangat membantuk dalam proses pembentukan biogas. Umpan atau substrat yang tergolong sulit seperti eceng gondok, masih bisa menggunakan digester tipe balon ini. Material balon ini harus tahan sinar UV, material balon yang telah berhasil digunakan antara lain RMP, *Trevira* dan *Butyl* (Sasse, 1988)

Reaktor ini terdiri dari suatu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpanan gas masing-masing bercampur dalam suatu ruangan tanpa sekat, material organik terletak dibagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas. Kekurangan dan kelebihan digester jenis ini dapat dilihat pada Tabel 2.6

**Tabel 2.6** Kekurangan dan Kelebihan Digester Tipe Balon

<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
Biaya pembuatan murah	Masa hidup singkat (sekitar lima tahun)
Mudah untuk dipindahkan	Mudah rusak
Pembangunan mudah	Tidak membuat lapangan kerja
Memiliki temperatur yang tinggi	
Mudah dibersihkan, dikosongkan dan diperbaiki	

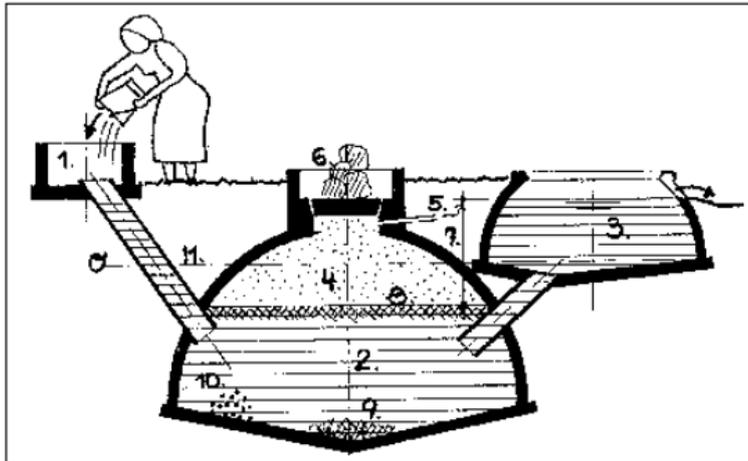
Sumber: Sasse, 1988

Digester tipe balon sangat disarankan apabila permukaan balon tidak rusak dan di mana temperatur rendah maupun tinggi. Satu varian dari digester balon ini adalah *channel-type* dengan *folia* dan *sunshade*.

#### b. Digester Tipe *Fixed Dome*

Digester ini memiliki penampung gas di bagian atas digester, dan digester ini memiliki volume yang tetap. Ketika gas mulai terproduksi, maka gas tersebut akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar digester. Gas yang akan dikeluarkan lewat pipa gas diberi katup/kran guna menghindari kebocoran gas dan juga agar dapat mengontrol gas yang akan keluar dan ditampung. Indikator dari gas yang terbentuk di dalam digester dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan seperti manometer atau *pressure gauge*.

Gas yang terbentuk juga akan menekan *slurry* atau lumpur sisa fermentasi ke bak *slurry*. Jika pasukan umpa dimasukkan secara terus – menerus, gas yang timbul akan terus menekan *slurry* sehingga meluap dan akhirnya masuk ke dalam bak penampungan *slurry*. Skema digester jenis kubah dapat dilihat pada Gambar 2.4 serta kelebihan dan kekurangan digester jenis kubah dapat dilihat pada Tabel 2.7



Digester tipe Fixed dome

1. Tangki pengaduk dengan inlet pipe
2. Digester
3. Tangki Penyisihan
4. Penampung Gas
5. Pipa Gas

6. Lubang Gas

7. Perbedaan Level = Tekanan Gas
8. Busa
9. Akumulasi Slurry
10. Kumpulan pasir dan batu
11. Zero Line

Gambar 2.4 Digester Tipe *Fixed Dome*

Sumber: Sasse, 1988

Tabel 2.7 Kelebihan Dan Kekurangan Digester Jenis Kubah

Kelebihan	Kekurangan
Biaya pembuatan murah	Tekanan gas naik turun secara substansial dan sering kali mengalami kenaikan
Bagian – bagian digester tetap	Digester memiliki temperatur yang rendah
Tidak ada bagian baja yang berkarat	Bagian dalam digester tidak terlihat sehingga kebocoran sulit diketahui
Masa hidup lama (20 tahun atau lebih)	
Pembangunan berada di bawah permukaan	
Memiliki perlindungan dari musim dingin dan menghemat ruang	
Membuat lapangan kerja	

Sumber: Sasse, 1988

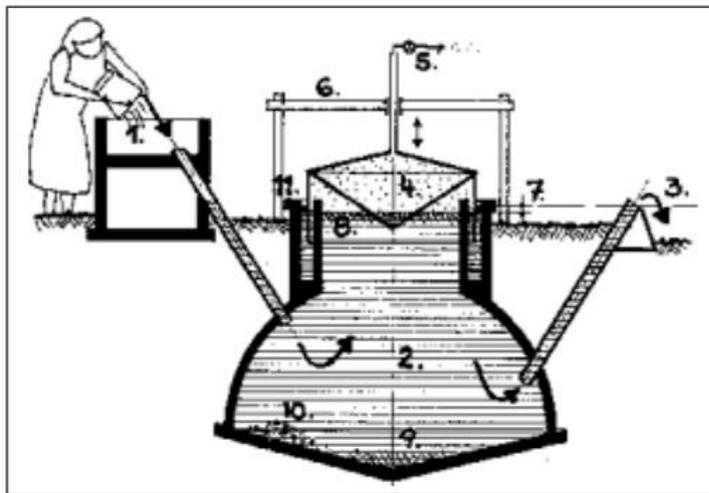
Digester tipe *fixed dome* bisa disarankan apabila konstruksi diawasi oleh teknisi biogas yang berpengalaman.

#### c. Digester Tipe *Floating-Drum*

Digester jenis ini merupakan digester yang berada di bawah permukaan tanah dan memiliki penampungan gas yang bergerak. Pergerakan bagian kubah dapat

dijadikan indikasi bahwa produksi biogas sudah dimulai atau sudah terjadi. Bagian yang bergerak tadi juga berfungsi sebagai pengumpul biogas.

Penampung gas mengapung secara langsung pada fermentasi *slurry* atau pada mantel di digester itu sendiri. Gas yang terbentuk dikumpulkan pada tangki pengumpul gas dimana sekitas tangki itu akan naik. Jika gas turun maka tangki itu akan turun lagi, tangki gas dicegah agar tidak miring dengan bantuan bingkai penahan (Sasse, 1988). Skema digester jenis *floating-drum* dapat dilihat pada Gambar 2.5 serta kelebihan dan kekurangan digester jenis *floating-drum* dapat dilihat pada Tabel 2.8



Digester Floating-Drum

1. Tangki Pengadukan dengan Pipa Masuk
2. Digester
3. Aliran Berlebih ke Pipa Keluaran
4. Pengumpul Gas
5. Keluaran Gas

6. Bingkai Penahan Tangki Gas
7. Perbedaan Level = Tekanan Gas
8. Busa yang Melayang
9. Kumpulan Slurry Tipis
10. Kumpulan Pasir dan Batu
11. Mantel Air dengan Lapisan Minyak

**Gambar 2.5** Skema Digester Jenis *Floating-Drum*

Sumber: Sasse, 1988

**Tabel 2.8** Kelebihan Dan Kekurangan Digester Jenis *Floating-Drum*

Kelebihan	Kekurangan
Sederhana	Biaya pembangunan mahal
Cara pengoperasian mudah dipahami	Banyak bagian yang dapat berkarat
Tekanan gas konstan	Menghasilkan dengan masa waktu yang singkat (di atas 15 tahun)
Volume dari penampungan gas bisa dilihat secara langsung	Biaya perbaikan yang rutin disebabkan oleh pengecatan

Sumber: Sasse, 1988

Walaupun terdapat beberapa kekurangan tetapi digester *floating-drum* selalu digunakan tanpa ragu. Mantel-air yang digunakan dapat diterapkan secara universal dan sangat mudah untuk dirawat.

*Floating-drum* dibuat dari *glass-fibre* yang memiliki plastik yang keras dan *polyethylene* yang memiliki kerapatan yang tinggi, tetapi biaya pembuatannya memang lebih tinggi dibandingkan menggunakan baja (Sasse, 1988)

Dilihat dari segi tata letak penempatan, *biodigester* dibedakan menjadi:

- a. Seluruh *biodigester* diatas permukaan tanah. Biasanya *biodigester* jenis ini dibuat dari tong – tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini ialah volume yang kecil, sehingga biogas yang dihasilkan hanya mampu digunakan untuk kebutuhan sebuah rumah tangga (keluarga). Kelemahan lain ialah 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.
- b. Sebagian tangki *biodigester* diletakan dibawah permukaan tanah. Biasanya *biodigester* ini terbuat dari campuran semen, pasir, krikil, dan kapur yang dibentuk seperti sumur dan ditutup dari plat baja atau kontruksi semen. Volume tangki dapat dibuat untuk skala besar ataupun skala kecil sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini ialah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), suhu dingin yang diterima oleh plat baja merambat kedalam bahan baku biogas, sehingga menghambat proses bekerjanya bakteri. Ingat kembali bahwa bakteri akan bekerja secara optimum pada temperatur tertentu saja.
- c. Seluruh tangki *biodigester* diletakan dibawah permukaan tanah. Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi *biodigester* dibuat didalam tanah dengan kontruksi yang permanen. Selain dapat menghemat tempat atau lahan, pembuatan *biodigester* didalam tanah juga berguna untuk mempertahankan temperatur *biodigester* stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri methanogen. Kekurangannya ialah jika terjadi kebocoran gas dapat menyulitkan untuk memperbaikinya.