

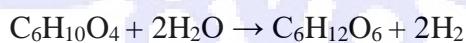
Gambar II. 4 Tahap Proses *Anaerobic Digestion*

(Sumber: WTERT, 2009)

➤ Proses Hidrolisis

Yaitu proses pelarutan organik tak terlarut dan pemecahan senyawa-senyawa organik rantai panjang atau kompleks seperti protein, karbohidrat, lemak, selulosa, dan hemiselulosa menjadi senyawa dengan rantai yang lebih sederhana seperti glukosa, asam lemak, alkohol, dan asam amino. Mikroorganisme yang berperan antara lain adalah *Bacteroides*, *Butyrivibrio*, *Clostridium*, *Fusobacterium*, *Selenomonas*, dan *Streptococcus*.

Contoh hidrolisis glukosa sederhana:



➤ Proses Asidogenesis

Senyawa hasil proses hidrolisa akan difерментasi oleh mikroorganisme asidogenesis membentuk senyawa asam rantai pendek (asetat, propionat, dan butirat), hidrogen (H_2), karbodioksida (CO_2), dan senyawa dengan berat molekul lebih rendah lainnya. Mikroorganisme yang berperan antara lain *Clostridium*, *Peptococcus*, *Selenomonas*, *Campylobacter*, dan *Bacteroides*.

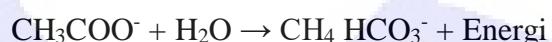
➤ **Proses Asetogenesis**

Asam-asam lemak rantai pendek, butirat, dan propionat akan digunakan oleh mikroorganisme jenis asetogen untuk menghasilkan asam asetat, karbondioksida (CO_2), dan hidrogen (H_2). Mikroorganisme yang berperan salah satu contohnya adalah *Clostridium formicoaceticum*.

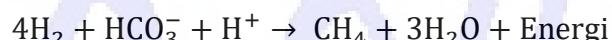
➤ **Proses Metanogenesis**

Semua hasil dari tahap sebelumnya digunakan oleh mikroba metanogen untuk menghasilkan gas CH_4 dan CO_2 . Contoh dari mikroorganisme metanogen antara lain *Methanosarcina spp.* dan *Methanosaeta spp.*

Produsi metana sebagian besar dihasilkan dari reaksi dengan substrat asetat:



Sebagian besar sisanya mengoksidasi H_2 dan mereduksi bikarbonat:



II.3.3 Penggunaan *Inoculum*

Inoculum adalah suatu bahan yang mengandung mikroorganisme tertentu yang kemudian digunakan kembali untuk memulai proses pengembangbiakan bakteri pada media yang baru. Pada proses pembuatan biogas, *inoculum* dibutuhkan terutama dalam mengembangbiakkan bakteri metanogen yang berperan penting dalam menghasilkan gas metana.

Ada beberapa jenis *inoculum* yang dapat digunakan dalam proses *anaerobic digestion*. Forster-Carneiro dkk. (2008) menemukan bahwa salah satu *inoculum* terbaik adalah kotoran babi dan *digested sludge*. Adapun menurut Quintero dkk. (2012), setelah menguji beberapa kombinasi *inoculum* berupa larutan rumen dengan kotoran sapi, lumpur dari kotoran babi, serta lumpur dari pengolahan air limbah, didapat bahwa kombinasi larutan rumen dan kotoran babi menghasilkan biogas yang paling baik. Larutan rumen dari binatang *ruminant* merupakan jenis *inoculum* yang sering digunakan dikarenakan kandungan bakteri metanogen yang tinggi (Aurora, 1983). Selain itu, rumen juga mudah didapat melalui Rumah Potong Hewan (RPH).

II.3.4 Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Biogas

Untuk dapat memproduksi biogas dengan optimal, dibutuhkan kondisi lingkungan yang mendukung. Adapun variabel-variabel yang harus diperhatikan dalam proses produksi biogas menggunakan teknologi *anaerobic digestion* antara lain:

➤ Ketersediaan Oksigen

Bakteri metanogenik merupakan bakteri anaerobik yang sangat sensitif terhadap kehadiran oksigen. Oleh karena dalam pembuatan biogas perlu dipastikan bahwa tidak ada udara yang masuk ke dalam sistem. Pada kondisi ideal kandungan oksigen di dalam biogas tidak mencapai 2 % volume.

➤ Kadar Air

Laju produksi biogas meningkat secara eksponensial pada kandungan air limbah padat hingga 60% (Rees dkk., 1980). Penambahan air dinilai dapat meratakan persebaran bakteri dalam substrat sehingga dapat menjamin pencampuran dan kesediaan nutrien, melarutkan inhibitor, menghambat transport oksigen dan memfasilitasi penukaran substrat, nutrien dan *buffer*.

➤ Ukuran umpan (*feed*)

Ukuran umpan harus diatur sedemikian rupa agar tidak mengganggu proses *feeding* maupun *discharging* dan memiliki luas permukaan yang cukup untuk mempermudah kontak bakteri dalam proses dekomposisi anaerobik.

➤ pH

Produksi gas metana dapat berjalan terjadi pada pH antara 6,6 sampai 7,6 dan dinilai optimum dalam jenjang pH 7,0 – 7,2 (McCarty, 1964). Di luar batas pH tersebut, penguraian dapat berjalan akan tetapi dapat menghambat pertumbuhan bakteri metanogenetik. Apabila pH turun di bawah 6,2, maka efisiensi *digester* akan turun secara drastis serta asam yang terbentuk dapat menjadi racun bagi bakteri metanogen.

➤ Asam Lemak Volatil

Dalam kondisi yang ideal untuk proses dekomposisi anaerobik, asam lemak volatil diharapkan kurang dari 250 mg/L. Akan tetapi dalam kondisi *high solid anaerobic digestion*, asam lemak volatil dapat mencapai 700 mg/L (Tchobanoglous, 1993).

➤ Suhu

Berdasarkan percobaan-percobaan simulasi *landfill* dalam lisimeter di laboratorium, produksi gas metana akan meningkat secara signifikan pada suhu tinggi (Padmi dan Chaerul, 2008).

➤ Waktu Retensi

Waktu retensi dalam *anaerobic digester* berkisar antara 20-30 hari. Menurut Agrahari dkk. (2013), waktu retensi maksimum untuk limbah makanan adalah sekitar 15 hari.

➤ Nutrien

Rasio C/N mewakili hubungan antara jumlah yang karbon dan nitrogen Dari suatu bahan. Apabila rasio C/N rendah, amonia akan terakumulasi dan nilai pH melebihi 8,5, yang bersifat racun terhadap bakteri metanogenik. Rasio C/N yang optimal untuk proses anaerobik yaitu 20-30. Rasio C/N yang terlalu tinggi akan menyebabkan nitrogen cepat habis sehingga menurunkan produksi gas. Rasio C/N di akhir proses yang optimal adalah dalam rentang 12-15 (Damanhuri dan Padmi, 2010).

II.3.5 Penggunaan Biogas

Biogas yang dihasilkan dari proses dekomposisi anaerobik dapat diaplikasikan langsung di sistem pembakaran seperti *boiler*, turbin, atau *fuel cells* untuk memproduksi panas (*space heating* atau *water heating*), uap, serta produk panas lainnya. Selain itu, gas yang digunakan langsung pada turbin gas atau *fuel cells* dapat menghasilkan listrik. Biogas juga dapat dijual dengan menginjeksikan dan mengalirkan gas tersebut pada jalur pipa gas alam (*natural gas*).

Pada dasarnya, seluruh instrumen yang didesain menggunakan gas alam sebagai bahan bakarnya dapat juga beroperasi dengan biogas. Penggunaan biogas umumnya dilakukan dalam skala kecil yaitu sebagai bahan bakar untuk memasak (**Gambar II.5**).



Gambar II. 5 Penggunaan Biogas Sebagai Bahan Bakar Kompor di Indonesia

(Sumber: <http://ibeka.netsains.net>)

Penggunaan sumber energi biogas dinilai ramah lingkungan dan memberi banyak keuntungan. Adapun kelebihan penggunaan biogas sebagai alternatif energi antara lain sebagai berikut (Bagher dkk., 2015):

- Sumber energi terbarukan: Sebagian besar bahan dalam pembuatan biogas didapat dari air limbah atau sampah yang terbentuk.
- Mengurangi timbulan sampah di *landfill*: Dengan berkurangnya timbulan tersebut, maka polusi tanah dan air dapat tereduksi.
- Tidak mencemari lingkungan: Produksi biogas tidak membutuhkan kehadiran oksigen yang berarti tidak membutuhkan *fuel*.
- Memperbanyak peluang kerja: Produksi biogas dinilai efisien terutama di daerah pedesaan dimana pengoperasian instalasi baru untuk memproduksi biogas dapat berarti peningkatan kesempatan kerja di daerah tersebut.
- Teknologi yang lebih terjangkau: Aplikasi penggunaan biogas yang luas akan mendorong produksi gas tersebut melalui instalasi-instalasi kecil dengan lebih luas atau melalui pabrik dengan skala yang lebih besar.
- Mengurangi efek gas rumah kaca: Penggunaan gas metana sebagai energi dapat mengurangi efek rumah kaca sehingga penggunaan biogas menjadi populer.
- Investasi kecil: Biogas mudah dibuat dan membutuhkan biaya investasi kecil untuk instalasi skala kecil.

Selain sisi positif dalam penggunaan biogas sebagai sumber energi, terdapat kendala/sisi negatif dalam aplikasi yang sering dihadapi teknologi tersebut, antara lain:

- Perkembangan teknologi yang lambat: Tidak banyaknya teknologi baru yang dapat memperingkas atau membuat proses pembuatan biogas lebih efisien dan terjangkau membuat banyak investor tidak tertarik untuk membiayai teknologi tersebut.
- Mengandung pengotor (*impurities*): Biogas mengandung beberapa *impurities* walaupun telah memasuki tahap pemurnian yang dapat menyebabkan korosi pada bagian metal dari suatu mesin apabila digunakan sebagai bahan bakar untuk kompresi.
- Tidak stabil: Gas metana yang terkandung dalam biogas dapat meledak apabila bergesekan langsung dengan oksigen.
- Tidak menarik dalam skala besar: Penggunaan biogas dalam skala besar dinilai tidak layak secara ekonomi dan sulit untuk meningkatkan efisiensi sistem.

II.3.6 Instalasi Pengolahan Biogas (*Biodigester*)

II.3.6.1 Jenis *Biodigester*

Dalam aplikasinya, terdapat beberapa jenis *digester* yang telah umum digunakan. Jenis tersebut dapat dikelompokkan berdasarkan kategori-kategori seperti suhu operasional, jenis umpan, dan jenis aliran.

- *Biodigester* berdasarkan suhu operasional

Menurut Pullen (2015), secara garis besar terdapat dua tipe utama dari *anaerobic digester* (AD) yaitu *digester* termofilik dan mesofilik. *Digester* termofilik beroperasi pada suhu sampai 60°C. Sedangkan *digester* mesofilik bekerja pada rentang suhu 25°C sampai 40°C. Jenis termofilik memiliki proses dan produksi biogas yang lebih cepat dibandingkan dengan instalasi mesofilik. Suhu yang tinggi juga dapat membunuh bakteri patogen. Akan tetapi, instalasi biogas termofilik sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga umumnya digunakan untuk umpan yang tidak memiliki banyak variasi, berbeda

dengan tipe mesofilik dimana lebih umum digunakan untuk umpan yang lebih bervariasi.

- *Biodigester* berdasarkan jenis umpan
- Suatu *digester* digolongkan memiliki sistem basah (*wet system*) apabila memiliki 5% sampai 15% bahan kering (**Gambar II.6**). *Dry system* didefinisikan sebagai suatu sistem pengolahan biogas dengan kadar kering feed di atas 15%. Adapun *biodigester* tipe basah lebih umum digunakan karena air membantu umpan lebih homogen dan memudahkan pemindahan material dengan sistem pompa.



Gambar II. 6 Salah Satu Instalasi Biogas Tipe Wet System

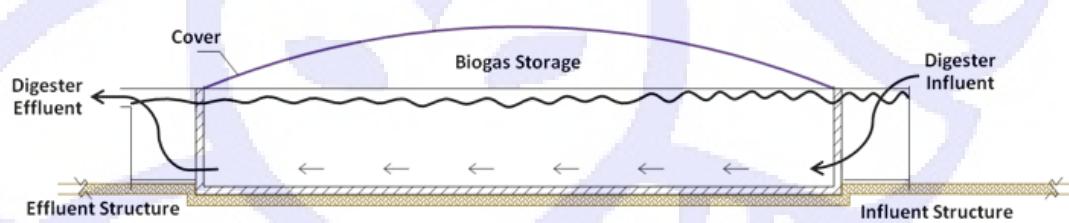
(Sumber: BIOFerm Energy System, 2009)

- *Biodigester* berdasarkan tipe aliran

Sebagian besar dari instalasi biogas memiliki tipe *continuous flow* yang memungkinkan automatisasi. Tipe ini menghasilkan lebih banyak biogas dan memiliki kontrol yang lebih baik dalam menentukan waktu retensi untuk mendapatkan aktivitas bakteri yang optimum. Tipe *batch* mengharuskan *digester* untuk kembali dibuka dan memulai proses dari awal sehingga menjadi tantangan terutama dalam tahap operasional. Biasanya tipe ini adalah *digester dry system* dimana produksi biogas akan mengalami titik puncak dan titik terendah.

- *Biodigester* berdasarkan arah aliran

Digester dengan arah aliran vertikal biasanya dimasukkan dari atas instalasi dan umpan dibiarkan jatuh perlahan ke bagian bawah selama proses dekomposisi. Saat material telah mencapai bagian dasar, proses dekomposisi sebagian besar telah terjadi dan umpan dibuang sebagai *digestate*. Sedangkan sistem aliran horizontal memiliki prinsip kerja yang sama akan tetapi menggunakan lebih banyak *feedstock* solid yang mengalir secara horizontal (**Gambar II.7**).



Gambar II. 7 *Anaerobic Digester* Tipe Aliran Horizontal

(Sumber: <http://www.plugflowdigester.com/>)

II.3.6.2 Komponen *Anaerobic Digester*

Instalasi *anaerobic digester* tipe termofilik dan mesofilik memiliki komponen dasar yang sedikit berbeda. Adapun komponen dasar instalasi tipe mesofilik antara lain:

- Mesin pencacah

Sebelum memasuki *digester*, umpan harus dicacah terlebih dahulu agar memiliki ukuran yang seragam sehingga memudahkan persebaran bakteri. Pada sistem *continuous*, umumnya umpan akan dicacah sampai lolos saringan 12mm.

- *Input buffer*

Pada dasarnya, *input buffer* adalah suatu tangki tertutup yang menampung umpan setelah melewati proses pencacahan. Umpan ditampung dan kemudian dikeluarkan dengan debit sesuai kebutuhan serta menjamin aliran umpan tetap kontinu.

- Mesin pasteurisasi

Pada proses mesofilik dimana beroperasi pada suhu 25°C sampai 40°C tidak cukup untuk membunuh bakteri patogen. Dengan adanya mesin pasteurisasi,

umpam dipanaskan hingga 70°C minimal selama satu jam seperti yang diwajibkan oleh regulasi di European Union (EU). Teknologi ini dinilai menghasilkan biogas dengan kualitas yang lebih baik dengan memperkecil kemungkinan persaingan dengan bakteri lain serta hasil *digestate* yang lebih berkualitas untuk dijadikan pupuk.

- *Digester*

Digester merupakan pusat dari instalasi pengolahan biogas. Dengan menggunakan tangki kedap udara yang biasanya terbuat dari baja yang dilapisi plastik, beton, atau bahkan *glass fibre*, mayoritas proses produksi biogas terjadi di dalam *digester*.

- Penampung gas

Biogas yang telah diproduksi kemudian dialirkan kedalam tempat penampungan gas. Umumnya tekanan gas diatur dalam rentang sedang yaitu 2 sampai 100 psi.

- Penampung residu/*digestate*

Selain menghasilkan biogas, teknologi *anaerobic digester* juga menghasilkan residu berupa padatan dan cairan atau lebih dikenal dengan *digestate*. Jejak biogas juga masih dapat ditemukan di dalam *digestate* sehingga masih perlu ditangkap dan dialirkan kembali ke penampung gas. *Digestate* berupa padatan dapat dimanfaatkan menjadi pupuk atau kompos sedangkan fase cairan dapat dijadikan pupuk cair berkualitas tinggi.

Digester tipe termofilik memiliki komponen dasar yang serupa dengan tipe mesofilik. Satu-satunya perbedaan pada tipe termofilik adalah adanya penambahan sistem untuk menambah panas dan mempertahankannya sesuai dengan kebutuhan.

II.3.7 Limbah Biogas

Seperti yang telah disebut sebelumnya, pada pengolahan limbah organik dengan *anaerobic digester* akan dihasilkan residu atau *digestate* baik berupa padatan maupun cairan atau campuran antara keduanya (**Gambar II.8**). Residu ini perlu ditangani lebih lanjut, untuk residu dengan kadar kering tinggi disarankan untuk

disimpan dengan aman atau bahkan dikomposkan untuk mencegah emisi gas metana yang masih terkandung di dalamnya (Lukehurst dkk., 2010).



Gambar II. 8 Digestate Dari Pengolahan Anaerobic Digestion

(Sumber: www.kemira.com)

II.3.8 Keamanan Biogas

Metana yang terkandung dalam biogas (kira-kira 60%) dapat membentuk campuran senyawa yang dapat meledak di udara bebas. Metana memiliki *Lower Explosive Limit* (LEL) sebesar 5% atau 50.000 ppm dan *Upper Explosive Limit* (UEL) sebesar 15% atau 150.000 ppm. Artinya, apabila kadar gas metana ada di dalam batas tersebut maka gas tersebut dapat dengan mudah meledak di udara. Biogas juga mengandung H_2S dan NH_3 yang berpotensi dapat meledak. Oleh karena itu di sekitar instalasi biogas tidak boleh ada api menyala atau benda lain yang dapat menimbulkan percikan.

Selain ledakan, biogas juga dapat membahayakan manusia terutama dalam ruangan tertutup. Seperti yang pernah dilaporkan oleh Osbern dan Crapo pada tahun 1981 dimana terdapat kasus kematian tiga orang akibat kekurangan oksigen (*asphyxiation*) dari gas kotoran sapi di ruang tertutup. Gas metana lebih ringan dari udara sehingga cenderung mengisi bagian atas ruang tertutup dan menghasilkan ruang minim oksigen. Karbon dioksida dan hidrogen sulfida lebih berat dari udara dan akan mengisi bagian bawah pada ruangan tertutup. Kedua gas tersebut juga berbahaya bagi manusia dimana karbon dioksida dengan konsentrasi tinggi dapat masuk ke dalam aliran darah menyebabkan hilang kesadaran dan kematian, sedangkan hidrogen sulfida dalam konsentrasi kecil dapat menyebabkan iritasi mata

dan berbau busuk serta pada konsentrasi besar dapat menghancurkan indera penciuman dan melumpuhkan kemampuan untuk bernafas yang dapat berakhir pada kematian.

Untuk memastikan keamanan dalam pengoperasian instalasi biogas, tindakan pencegahan harus dilakukan diantaranya:

- Memastikan seluruh peralatan yang digunakan bekerja dengan baik dan perawatan rutin terus dilakukan.
- Mempelajari panduan keselamatan sehingga mengetahui potensi-potensi bahaya yang akan dihadapi dalam pengoperasian instalasi biogas.
- Memasang sensor gas terutama gas yang bersifat mudah meledak, beracun, dan dapat menimbulkan sesak nafas.
- Menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) yang sesuai.