

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Baku

2.1.1 Kotoran Sapi

Kotoran sapi adalah limbah hasil pencernaan sapi dan hewan dari subfamili *Bovinae* lainnya. Kotoran sapi memiliki warna yang bervariasi dari kehijauan hingga kehitaman, tergantung makanan yang dimakannya. Setelah terpapar udara, warna dari kotoran sapi cenderung menjadi gelap (wikipedia, 2016).

Kotoran sapi adalah limbah dari usaha peternakan sapi yang bersifat padat dan dalam proses pembuangannya sering bercampur dengan urin dan gas, seperti metana dan amoniak. Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis, jumlah konsumsi pakan, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1988). Komposisi kotoran sapi yang umumnya telah diteliti dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kotoran Sapi

Senyawa	Persentase
Hemisellulosa	18,6 %
Selulosa	25,2 %
Lignin	20,2 %
Protein	14,9 %
Debu	13 %

Sumber : Candra, 2012

2.1.2 Eceng Gondok

Eceng gondok atau *Euchornia crassipes* adalah jenis tanaman tropis yang termasuk ke dalam jenis Pontedericeae. Eceng gondok didata termasuk sebagai tanaman dengan produktifitas dan laju pertumbuhan yang paling cepat di antara seluruh tanaman air di dunia (wikipedia, 2016).

Eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, bahan kerajinan, pupuk, dan yang menarik adalah eceng gondok juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan baku biogas

dikarenakan memiliki kandungan 43% hemiselulosa dan selulosa sebesar 17%. Hemiselulosa akan dihidrolisis menjadi glukosa oleh bakteri melalui proses anaerobic digestion, yang akan menghasilkan gas metan (CH₄) dan karbondioksida (CO₂) sebagai biogas (Rio Indriyanto, 2011).

Menurut Malik (2006) eceng gondok mengandung 95% air dan menjadikannya terdiri dari jaringan yang berongga, mempunyai energi yang tinggi, terdiri dari bahan yang dapat difermentasikan dan berpotensi sangat besar dalam menghasilkan biogas (Chanakya et al, 1993 dalam Gunnarsson and Cecilia, 2006). Biogas dapat diproduksi dari eceng gondok. Tapi dengan metode ini terdapat beberapa kekurangan karena apabila hanya digunakan eceng gondok jumlah biogas dihasilkan sedikit dan waktu yang dihasilkan lama. Jadi, diperlukan penelitian lebih lanjut guna meningkatkan jumlah biogas dihasilkan dan mempercepat waktu produksi, dimana dalam penelitian ini dilakukan pencampuran eceng gondok dengan kotoran sapi, dan juga melakukan pretreatment hidrolisis asam.

Beberapa penelitian telah dilakukan, antara lain produksi biogas dari eceng gondok dengan menggunakan bioreaktor 2 stage. Metode penelitian ini dilakukan dengan cara mencampurkan eceng gondok dengan kotoran sapi dengan perbandingan 7:3, campuran ini diberi label WHS-CD yang disimpan pada suhu ruangan sekitar 25° C. Selain itu telah dilakukan penelitian tentang optimasi pembuatan biogas dari tumbuhan eceng gondok dalam skala lapangan. Metode penelitian ini dilakukan dengan cara menggunakan campuran eceng gondok dan air dengan perbandingan masing-masing 80 kg dan 20 kg yang digunakan sebagai variabel kontrol. Optimasi dilakukan dengan penambahan 15 kg kotoran sapi sebagai inokulum. (Galuh, 2009)

Penelitian eceng gondok sebagai biogas juga dilakukan oleh Panggih Winarni (2013). Panggih Winarni meneliti komposisi eceng gondok dengan air dan perbandingan komposisi eceng gondok dengan kotoran sapi yang optimal. Hasil dari penelitian pendahuluan memperlihatkan bahwa rasio optimum antara

eceng gondok dan air 1:3, sedangkan perbandingan eceng gondok dan kotoran sapi yang optimum 75%:25%. Dan dilihat dari hasilnya perbandingan produksi biogas dari campuran eceng gondok dan kotoran sapi memang mempunyai kualitas dan kuantitas biogas lebih baik dari pada hasil dari bahan baku eceng gondok saja. (Winarni,2013)

2.2 Green Phoskko-7

Green Phoskko-7 (GP-7) Activator pembangkit gas metana sebagai pengurai secara fermentatif semua jenis biomassa termasuk sampah dan limbah organik dalam digester kedap udara (tanpa oksigen) terbuat dari konsorsium mikroba anaerobik.

Dalam lingkungan mikro dalam reaktor atau digester biogas yang sesuai dengan kebutuhan bakteri ini (kedap udara, material memiliki pH > 6, kelembaban 60 % , dan temperatur > 30 derajat Celcius dan C/ N ratio tertentu) akan mengurai atau mendekomposisi semua biomassa termasuk jenis sampah dan bahan organik (limbah kota, pertanian, peternakan, tinja, kotoran hewan dan lain-lainnya) dengan cepat, hanya 5 sampai 20 hari.

Biomassa atau material organik adalah makhluk biologis (hidup dan baru mati) meliputi semua jenis gulma perairan (eceng gondok, kiambang, ganggang laut, alga) , gulma kebun (dhi. alang-alang, rumput, tanaman pengganggu lainnya) , limbah peternakan (tinja ternak sapi, kambing, domba, ayam, babi dan ternak lainnya) , sampah organik, limbah industri pengolahan pertanian (industri buah, sayuran termasuk limbah sagu, limbah industri tapioka, limbah pengolahan tahu, dll) .

2.3 Pengertian Biogas

Biogas adalah gas produk akhir pencernaan atau degradasi anaerobik bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik dalam lingkungan bebas oksigen atau udara. Komponen terbesar biogas adalah methana (CH₄, 54-80%Volum) dan karbondioksida (CO₂, 20-45%Volum) serta sejumlah kecil H₂, N₂ dan H₂S.

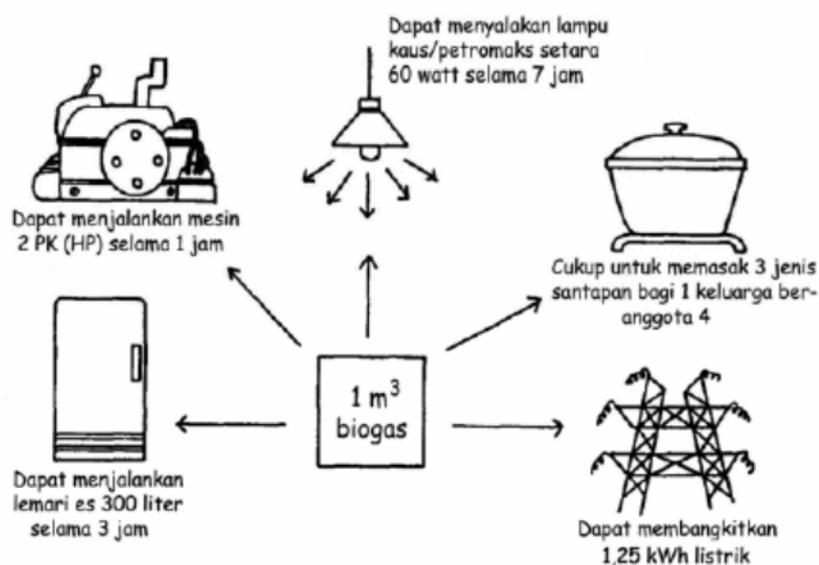
Komposisi biogas yang umumnya telah dihasilkan dari beberapa penelitian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Biogas

No	Komponen	Satuan	Komposisi (%)		
			1*)	2**)	3***)
1	Metana (CH ₄)	% Vol	40–55	50–60	45–65
2	Karbondioksida (CO ₂)	% Vol	25–45	24–40	27–45
3	Nitrogen (N ₂)	% Vol	0–0,3	< 2	0–1
4	Hidrogen (H ₂)	% Vol	1–5	< 1	0–1
5	Karbonmonoksida (CO)	% Vol	-	-	0,1
6	Oksigen (O ₂)	% Vol	0,1–0,5	< 2	0,1

Sumber : *) Setiawan, 2011, **) Hambali, 2007, ***) Hanif, 2000

Biogas dapat digunakan dalam berbagai keperluan seperti memasak, penerangan, pompa air, boiler dan sebagainya. Gambar 1 berikut ini adalah gambar penggunaan gas metana untuk berbagai aplikasi.



Gambar 1. Penggunaan Biogas Untuk Berbagai Aplikasi

Sumber : Kosaric dan Velikonja, 1995

Pemanfaatan biogas mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan BBM (bahan bakar minyak) yang berasal dari fosil diantaranya biogas mempunyai sifat yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Bahan bakar fosil yang pembakarannya kurang sempurna menghasilkan CO₂ yang merupakan salah satu gas penyebab pemanasan global. Sampah organik yang dibiarkan

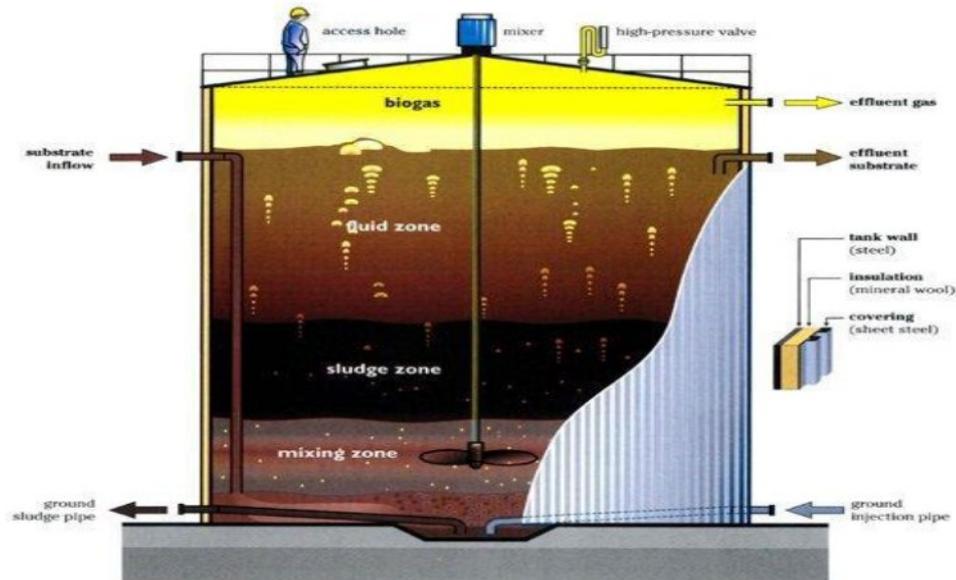
menumpuk dalam alam terbuka dapat menghasilkan gas metana (CH_4) sebagai akibat proses pembusukan sampah yang bereaksi dengan oksigen (O_2), gas metana mempunyai sifat polutan 21 kali dari sifat polutan CO_2 , sehingga dengan dimanfaatkannya sampah sebagai bahan baku biogas dapat menekan jumlah gas metana yang langsung dilepaskan ke udara karena gas metana sebagai salah satu komponen utama biogas digunakan dalam proses pembangkitan tenaga listrik.

Biogas merupakan produk dari pendegradasian substrat organik secara anaerobik. Karena proses ini menggunakan kinerja campuran mikroorganisme dan tergantung terhadap berbagai faktor seperti suhu, pH, *hydraulic retention*, rasio C:N dan sebagainya sehingga proses ini berjalan lambat (Yadvika *et al*, 2004).

Karakteristik dari metana murni adalah mudah terbakar, selain itu dapat mengakibatkan ledakan (Meynell, 1976). Kandungan metana dengan udara akan menentukan pada kandungan berapa campuran yang mudah meledak dapat dibentuk. Pada LEL (*lower explosive limit*) 5.4% metana dan UEL (*upper explosive limit*) 13.9% basis volume. Di bawah 5.4% tidak cukup metana sedangkan, di atas 14% terlalu sedikit oksigen untuk menyebabkan ledakan. Temperatur yang dapat menyebabkan ledakan sekitar 650 – 750°C, percikan api dan korek api cukup panas untuk menyebabkan ledakan (Meynell, 1976).

2.4 Digester Biogas

Digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas CH_4 dan CO_2 . Digester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan dengan baik. Pada umumnya produksi biogas terbentuk pada 4-5 hari setelah digester diisi. Produksi biogas menjadi banyak pada 12-16 hari. Seperti pada gambar 2 merupakan gambar digester biogas yang umumnya digunakan.



Gambar 2. Digester Biogas
 Sumber : <http://andrew.getux.com/2008>

Komponen-komponen digester cukup banyak dan bervariasi. Komponen yang digunakan untuk membuat digester tergantung dari jenis digester yang digunakan dan tujuan pembangunan digester. Secara umum komponen digester terdiri dari empat komponen utama sebagai berikut:

1. Saluran masuk kotoran sapi

Saluran ini digunakan untuk memasukkan bahan baku kotoran sapi kedalam reaktor utama biogas.

2. Ruang *digestion* (ruang fermentasi)

Ruang *digestion* berfungsi sebagai tempat terjadinya fermentasi anaerobik dan dibuat kedap udara. Ruang ini dapat juga dilengkapi dengan penampung biogas.

3. Tangki penyimpan biogas

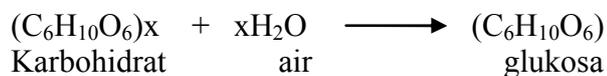
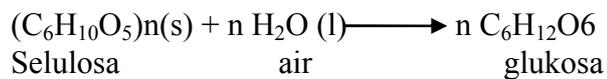
Tujuan dari tangki penyimpan biogas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik. Jenis tangki penyimpan biogas ada dua, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*fixed dome*) dan terpisah dengan reaktor (*floatated dome*). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus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

Reaksi kimia pembuatan biogas (gas metana) ada 3 tahap, yaitu :

1. Reaksi Hidrolisa / Tahap pelarutan

Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti karbohidrat dan asam lemak. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25° C di digester (Price dan Cheremisinoff, 1981).

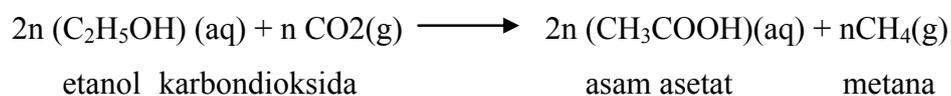
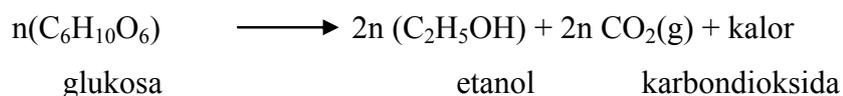
Reaksi:



2. Reaksi Asidogenik / Tahap pengasaman

Pada tahap asidogenesis, bakteri menghasilkan asam, mengubah senyawa rantai pendek hasil proses pada tahap hidrolisis menjadi asam asetat, hidrogen dan karbondioksida. Bakteri tersebut merupakan bakteri anaerobik yang dapat tumbuh dan berkembang pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan, pembentukan asam dalam kondisi anaerobik sangat penting untuk membentuk gas metan oleh mikroorganisme pada proses selanjutnya. Selain itu, bakteri tersebut juga mengubah senyawa yang bermolekul rendah menjadi alkohol, asam organik, asam amino, karbondioksida, H₂S dan sedikit gas metan (Amaru, 2004).

Menurut Deublein dan Steinhauser (2008) produk terpenting dalam tahapan asidogenesis adalah asam asetat, asam propionate, asam butirat, H₂ dan CO₂. Selain itu dihasilkan sejumlah kecil asam formiat, asam laktat, asam valerat, methanol, etanol, butadienol dan aseton. Tahap ini berlangsung pada suhu 25° C di digester (Price dan Cheremisinoff, 1981). Reaksi:

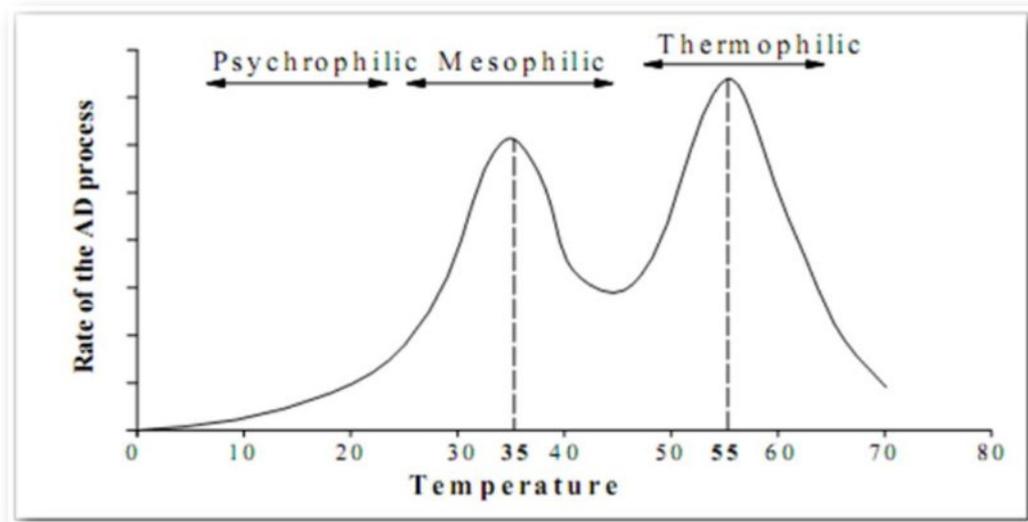


– Kondisi *Mesopilik*

Pada kondisi ini suhu digester antara 20-45^oC, dan sampah organik cair terdigestifikasi selama 18-28 hari. Dibandingkan digester kondisi termopilik, digester kondisi mesopilik pengoperasiannya lebih mudah, tapi biogas yang dihasilkan lebih sedikit dan Volum digester lebih besar.

– Kondisi *Termopilik*

Pada kondisi ini suhu digester antara 50-70^oC, dan sampah organik cair terdigestifikasi selama 11-17 hari. Digester pada kondisi termopilik menghasilkan banyak biogas, tapi biaya investasinya tinggi dan pengoperasiannya rumit.



Gambar 3. Representatif grafik suhu *anaerobic digestion*

Sumber : <http://repository.ipb.ac.id>(Juanga, 2005)

Temperatur optimal untuk pencernaan anaerob adalah pada temperatur 30-35^oC. 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^o C dibanding pada temperatur 15^o 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^o C. Jumlah total dari gas yang

diproduksi pada jumlah bahan yang tetap meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur (Meynell, 1976).

b. Derajat keasaman (pH)

Pada dekomposisi anaerob, faktor pH sangat berperan karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum. Bahkan dapat menyebabkan kematian yang pada akhirnya dapat menghambat perolehan gas metana. Bakteri-bakteri anaerob membutuhkan pH optimal antara 6,2 – 7,6, tetapi pH yang terbaik adalah 6,6 – 7,5. Pada awalnya media mempunyai pH \pm 6 selanjutnya naik sampai 7,5. Bila pH lebih kecil atau lebih besar maka akan mempunyai sifat toksik terhadap bakteri metanogenik. Bila proses anaerob sudah berjalan menuju pembentukan biogas, pH berkisar 7-7,8. Pengontrolan pH secara alamiah dilakukan oleh ion NH_4^+ dan HCO_3^- . Ion-ion ini akan menentukan besarnya pH (Yunus, 1991).

c. Faktor Konsentrasi Padatan (Total Solid Content/TS)

Total *solid content* adalah jumlah material padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses *digester* terjadi yang mengindikasikan laju penghancuran/pembusukan material padatan limbah organik. Konsentrasi ideal padatan untuk memproduksi biogas adalah 7-9% kandungan kering. Kondisi ini dapat membuat proses *digester* anaerob berjalan dengan baik. Nilai TS sangat mempengaruhi proses pencernaan/*digester* bahan organik.

d. Volatile Solids (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°C disebut *volatile solid*.

e. Lama Proses Pencernaan

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.

f. Konsentrasi Substrat

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.

g. Pengadukan

Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam *digester* anaerob karena memberikan peluang material tetap bercampur dengan bakteri dan temperatur terjaga merata di seluruh bagian *digester*. Dengan pengadukan, potensi material yang mengendap di dasar *digester* semakin kecil, konsentrasi merata, dan potensi seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob besar.

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 anaerobik karena memberikan peluang material tetap tercampur dengan bakteri dan temperatur terjaga merata diseluruh bagian. Dengan pengadukan 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. Pengadukan dapat dilakukan dengan:

- Pengadukan mekanis, yaitu dengan menggunakan poros yang dibawahnya terdapat semacam baling-baling dan digerakkan dengan motor listrik secara berkala.
- Mensirkulasi bahan dalam digester dengan menggunakan pompa dan dialirkan kembali melalui bagian atas digester.

Pada saat melakukan proses pengadukan hendaknya dilakukan dengan pelan. Sebagaimana diketahui bahwa tumbuhnya bakteri membutuhkan media yang cocok. Media yang cocok sendiri terbentuk dari bahan organik secara alami dan membutuhkan waktu tertentu sehingga pengadukan yang terlalu cepat dapat membuat proses fermentasi anaerobik justru terhambat.

h. Pengaruh Tekanan

Semakin tinggi tekanan di dalam digester maka semakin rendah produksi biogas di dalam digester, terutama pada proses hidrolisis dan asidifikasi. Tekanan dipertahankan di antara 1.15-1.2 bar di dalam *digester* (Budiman,2010).

i. Senyawa Racun dan Penghambat

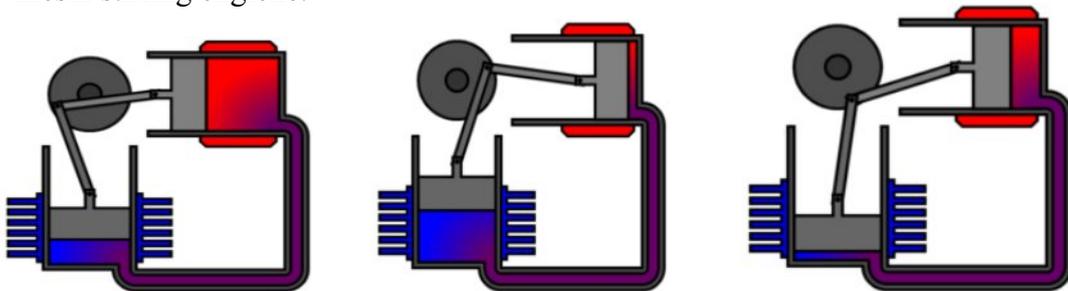
Senyawa penghambat atau inhibitor pada proses fermentasi anaerob dapat dibedakan atas 2 jenis yaitu penghambat fisik dan penghambat kimia. Penghambat fisik adalah temperatur dan penghambat kimia biasa disebut juga dengan racun diantaranya adalah logam berat, anti biotik dan *Volatile Fatty Acid* (VFA). 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. Kekurangan utama pada sistem aerobik adalah proses pertumbuhan mikroorganismenya sangat membutuhkan oksigen sehingga membutuhkan energi yang besar. Proses aerasi umumnya dilakukan untuk bahan organik yang kadarnya tidak terlalu tinggi. Contoh proses aerobik adalah dapat menggunakan sistem activated sludge, trickling filter dan lain sebagainya.

2.7 Mesin Stirling

Mesin Stirling didefinisikan sebagai mesin regenerasi udara panas siklus tertutup. Dalam konteks ini, siklus tertutup berarti bahwa fluida kerjanya secara permanen terkurung di dalam sistem, di mana mesin siklus terbuka seperti mesin pembakaran internal dan beberapa mesin uap, menukarkan fluida kerjanya dengan lingkungan sekitar sebagai bagian dari siklus kerja. Regenerasi berarti bahwa adanya penggunaan alat penukar panas internal, yang dapat meningkatkan efisiensi mesin.

Banyak sekali kemungkinan dari penggunaan mesin stirling ini, dengan mayoritas masuk ke kategori mesin dengan piston tolak balik. Mesin stirling secara tradisional diklasifikasikan ke dalam mesin pembakaran eksternal, meskipun panas bisa didapatkan dari sumber selain pembakaran seperti tenaga matahari maupun nuklir. Mesin stirling beroperasi melalui penggunaan sumber panas eksternal dan heat sink eksternal, masing-masing dijaga agar memiliki perbedaan temperatur yang cukup besar.

Prinsip Kerja Mesin stirling adalah mesin kalor yang unik karena efisiensi teoretisnya mendekati efisiensi teoretis maksimum, yang lebih dikenal dengan efisiensi mesin carnot. Mesin stirling digerakkan ekspansi gas ketika dipanaskan dan diikuti kompresi gas ketika didinginkan. Mesin itu berisi sejumlah gas yang dipindahkan antara sisi dingin dan panas terus-menerus. Piston displacer memindahkan gas antara dua sisi dan piston power mengubah volume internal karena ekspansi dan kontraksi gas. Gambar 3 menunjukkan prinsip kerja dari mesin stirling engiene.



Gambar 4. Prinsip Kerja dari Mesin Stirling Engine.
Sumber: leonidas1558.wordpress.com/2008

Pada dasarnya sistem pembangkit listrik dengan generator stirling mempunyai beberapa komponen untuk membangkitkan sebuah beban yang akan menghasilkan tegangan, arus, dan daya. Dalam hal ini pengaruh energi panas menjadi salah satu factor utama dalam penentuan bentuk dan jenis dari mesin stirling yang akan digunakan agar keluaran daya listrik dan tingkat kestabilan dari putaran pada mesin stirling menjadi maksimal.

Untuk mendapatkan energi pembangkit listrik tenaga panas dengan bantuan Mesin Stirling dengan hasil yang maksimal, maka bagian-bagian dari mesin stirling tersebut harus dikondisikan dengan sedemikian rupa hingga diperoleh Pembangkit listrik dengan tingkat prestasi yang tinggi dan sesuai dengan karakteristik dan bentuk yang diinginkan.

Mesin stirling ini dapat membakar setiap bahan bakar padat (solid) atau cairan ataupun gas sebagai sumber pemanasannya. Hal ini menyebabkan mesin stirling sangat menarik, khususnya pada situasi dimana bahan bakar konvensional saat ini sangat mahal dan sulit untuk memperolehnya. Beberapa jenis mesin Stirling , selain demikian efektif juga sangat mudah pembuatannya, dan dapat digunakan antara lain untuk mesin pembangkit listrik, mesin pendingin, mesin pompa dan lain-lain.

Komponen-komponen mesin stirling terdiri dari block silinder, piston, tangan piston, roda gila, regenerator dan fluida kerja. Fluida kerja berada dalam block silinder panas melakukan gaya kerja terhadap piston sedemikian rupa sehingga memberikan tekanan terhadap roda gila melalui tangan piston. *Stirling engine* tipe *beta* dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 5. *Stirling Engine* Tipe Beta

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

Prinsip kerja mesin stirling adalah memanfaatkan adanya perubahan tekanan dan volume pada gas dalam system tertutup. Gas pada sistem dikontakan pada reservoir panas sehingga system menyerap panas. Panas yang dihasilkan disimpan di dalam sebuah regenerator. Akibat adanya panas ini menyebabkan volume gas bertambah. Karena system dalam keadaan tertutup maka tidak ada gas yang keluar sehingga penambahan volume gas karena pemanasan menimbulkan perubahan tekanan yang cukup besar. Tekanan yang dihasilkan ini kemudian digunakan untuk menggerakkan piston. Sementara itu gas penggerak menyusup ke ruangan yang dingin, dengan melepas panas pada saat bersamaan. Karena penurunan suhu ini volume gas berkurang dan sistem menerima kerja kompresi yang menyebabkan volume gas kembali ke keadaan awal. Keadaan tersebut terjadi berulang secara periodik sehingga terjadi gerakan piston yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan menghubungkannya ke turbin.



Gambar 6. Pembakaran Gas Terhadap *Stirling Engine*

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

Cara kerja mesin ini memanfaatkan sifat dasar udara yang akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika di dinginkan. Dengan demikian akan terjadi siklus pemuaian dan penyusutan sehingga sebuah mesin dapat berputar. Dari definisi diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa sebuah mesin stirling akan bekerja atau berputar jika terdapat perbedaan temperatur.

Mesin Stirling bekerja dengan urutan:

1. Ruang udara dipanasi dari bawah, maka udara di dalam nya akan memuai dan menekan power piston ke atas.
2. Power piston menggerakkan crank shaft bersamaan dengan itu displacer akan berpindah tempat ke posisi paling atas, dengan melihat gambar, dengan adanya posisi displacer di bagian atas ruang udara, maka mayoritas udara di dalam ruang udara mengalami pemanasan. Sehingga terjadi kompresi lanjutan yang menyebabkan power piston terus bergerak hingga posisi puncak.
3. Saat power piston berada di posisi puncak maka dengan bantuan fly wheel, segera piston akan bergerak turun lagi, posisi displacer sudah berada di tengah, sehingga dengan demikian sebagian udara akan mengalami penyusutan yang mengakibatkan power piston terhisap ke bawah.
4. Hal ini terus berlangsung hingga posisi power piston ter-rendah di ikuti oleh pergerakan displacer ke tengah.

5. Dan begitu seterusnya, hal ini berlangsung juga dengan bantuan fly wheel yang menyimpan momen inersianya.

2.7.1 Generator Stirling

Generator sebagai pembangkit tenaga listrik yang porosnya digandengkan dengan poros keluaran unit transmisi. Jenis generator yang digunakan adalah generator arus searah atau generator arus bolak balik(sinkron atau asinkron) tergantung pada jenis pemakaian.

Komponen-komponen pada generator terdiri dari :

a. Rotor

Rotor adalah bagian dari motor listrik atau generator listrik yang berputar pada sumbu rotor. Perputaran rotor di sebabkan karena adanya medan magnet dan lilitan kawat email pada rotor. Sedangkan torsi dari perputaran rotor di tentukan oleh banyaknya lilitan kawat dan juga diameternya.

Bagian rotor yang berputar terdiri atas :

- Poros jangkar
- Inti jangkar
- Kumutator
- Kumparan jangkar

b. Stator

Kebalikan dari rotor, stator adalah bagian pada motor listrik atau dinamo listrik yang berfungsi sebagai stasioner dari sistem rotor. Jadi penempatan stator biasanya mengelilingi rotor, stator bisa berupa gulungan kawat tembaga yang berinteraksi dengan angker dan membentuk medan magnet untuk mengatur perputaran rotor.

Bagian stator yang berputar terdiri atas :

- Kerangka generator
- Kutub utama beserta belitannya
- Bantalan-bantalan poros
- Sikat arang

2.8 Konversi Energi Biogas Untuk Ketenagalistrikan

Biogas selain dapat digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga listrik serta menghasilkan energi panas. Pembakaran 1 ft³ (setara dengan 0.028 m³) biogas menghasilkan energi panas sebesar 10 Btu (2.25 kcal) yang setara dengan 6 kWh/m³ energi listrik atau 0.61 L bensin, 0.58 L minyak tanah, 0.55 L diesel, 0.45 L LPG (natural gas), 1.5 kg kayu bakar, dan 0.79 L bioetanol. Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan *gas turbine*, *microturbines*, dan *Otto Cycle Engine*. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi oleh potensi biogas yang ada, seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban, dan ketersediaan dana. (Arifin, 2011).