

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Pengembangan Teknologi Biogas

Sejarah awal penemuan biogas pada awalnya muncul di benua Eropa. Biogas yang merupakan hasil dari proses *anaerobic digestion* ditemukan seorang ilmuwan bernama Alessandro Volta yang melakukan penelitian terhadap gas yang dikeluarkan rawa-rawa pada tahun 1770. Pada tahun 1776 mengaitkannya dengan proses pembusukan bahan sayuran, sedangkan Willam Henry pada tahun 1806 mengidentifikasi gas yang dapat terbakar tersebut sebagai metan. Pada perkembangannya, pada tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses *anaerobic digestion*. Selanjutnya, tahun 1884 seorang ilmuwan lainnya bernama Pasteur melakukan penelitian biogas menggunakan kotoran ternak.

Perkembangan biogas mengalami pasang surut, seperti pada akhir abad ke-19 tercatat Jerman dan Perancis memanfaatkan limbah pertanian menjadi beberapa unit pembangkit yang berasal dari biogas. Selama perang dunia II banyak petani di Inggris dan benua Eropa lainnya yang membuat digester kecil untuk menghasilkan biogas. Namun, dalam perkembangannya karena harga BBM semakin murah dan mudah diperoleh, pada tahun 1950-an pemakaian biogas di Eropa mulai ditinggalkan. Jika era tahun 1950-an Eropa mulai meninggalkan biogas dan beralih ke BBM, hal sebaliknya justru terjadi di negara-negara berkembang seperti India dan Cina yang membutuhkan energi murah dan selalu tersedia. Cina menggunakan teknologi biogas dengan skala rumah tangga yang telah dimanfaatkan oleh hampir sepertiga rumah tangga di daerah pinggiran Cina. Perkembangan biogas di Cina bisa dikatakan mengalami perkembangan yang signifikan, pada tahun 1992 sekitar lima juta rumah tangga menggunakan instalasi biogas sebagai bahan bakar utama. biogas merupakan jantung dari tumbuhnya ekonomi di Cina, namun beberapa kendala harus diselesaikan untuk meraih potensi besar.

Perkembangan yang senada juga terjadi di India, tahun 1981 mulai dikembangkan instalasi biogas di India. India merupakan negara pelopor dalam penggunaan energi biogas di benua Asia dan pengguna energi biogas ini dilakukan sejak masih dijajah oleh Inggris. India sudah membuat instalasi biogas sejak tahun

1900. Negara tersebut mempunyai lembaga khusus yang meneliti pemanfaatan limbah kotoran ternak yang disebut *Agricultural Research Institute* dan *Gobar Gas Research Station*. Data yang diperoleh menyebutkan bahwa pada tahun 1980 di seluruh India terdapat 36.000 instalasi biogas yang menggunakan feses sapi sebagai bahan bakar. Teknik biogas yang digunakan sama dengan teknik biogas yang dikembangkan di Cina yaitu menggunakan model sumur tembok dan dengan drum serta dengan bahan baku kotoran ternak dan limbah pertanian.

Menginjak abad ke 21 ketika sadar akan kebutuhan energi pengganti energi fosil, di berbagai negara mulai menggalangkan energi baru terbarukan, salah satunya biogas. Di Indonesia, teknologi biogas masuk pada 1970-an yang perkembangannya diawali di daerah perdesaan. Biogas merupakan salah satu jenis energi baru terbarukan yang menjadi salah satu perhatian bagi Kementerian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral), seperti yang ditunjukkan oleh Menteri ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) Darwin Zahedy Saleh yang menyempatkan untuk melakukan kunjungan kerja ke Desa Mandiri Energi di desa Haurngombong, Sumedang. Menteri ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) menjanjikan akan memberikan bantuan untuk mengembangkan potensi energi yang walaupun terlihat kecil, namun mampu memenuhi energi di Indonesia.

2.2 Pengertian Biogas

Biogas merupakan bahan bakar gas dan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara *anaerobic digestion* atau fermentasi anaerobik dari bahan organik dengan bantuan bakteri metana (Novembri, 2011). Biogas dapat dibakar seperti elpiji, dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan (Perdana, 2013).

Energi yang terkandung didalam biogas tergantung dari kandungan metan dalam biogas. Semakin tinggi kandungan metan dalam biogas semakin tinggi pula kandungan energi atau nilai kalor. Biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran 4800 – 6700 kkal/m³, untuk gas metan murni 100% mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m³ (Nina, 2013). Komponen utama biogas adalah gas metan (CH₄) dan karbondioksida (CO₂), sedikit kandungan hidrogen sulfida (H₂S), amonia (NH₃), hidrogen (H₂) dan nitrogen (N₂) (Sintia, 2018). Komposisi biogas dapat

dilihat pada Tabel 2.1. berikut ini :

Tabel 2.1. Komposisi Biogas

Komponen	Rumus	Konsentrasi (% volume)
Metana	CH ₄	50 – 75
Karbondioksida	CO ₂	25 – 45
Uap air	H ₂ O	2 – 7
Oksigen	O ₂	< 2
Nitrogen	N ₂	< 2
Hidrogen Sulfida	H ₂ S	< 2
Amonia	CH ₃	< 1
Hidrogen	H ₂	< 1

Sumber : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2017

Menurut kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), dalam buku Informasi Bioenergi (2017) biogas merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang dihasilkan melalui proses fermentasi bahan – bahan organik dalam kondisi anaerobik, dengan ciri mudah terbakar, mempunyai kandungan gas metan sekitar 50 – 75%, dan nilai kalor yang cukup tinggi sekitar 6.400 – 6.600 kkal/m³. Kandungan 1 m³ biogas setara dengan 0,62 liter minyak tanah atau 0,46 kg LPG.

Pemanfaatan biogas memegang peranan penting dalam manajemen limbah karena metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dalam pemanasan global bila dibandingkan dengan karbondioksida. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon.

2.2.1 Sifat Biogas

Sifat fisik dan kimia dari biogas mempengaruhi pemilihan teknologi yang akan digunakan, dimana pengetahuan tentang sifat-sifat dari biogas bermanfaat untuk mengoptimalkan peralatan yang menggunakan gas ini, karena kandungan utama biogas terdiri dari metana dan karbondioksida maka sifat biogas difokuskan pada sifat-sifat dari masing-masing gas tersebut. Unsur-unsur seperti nitrogen (N₂). Hidrogen sulfida mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap material yaitu dapat menyebabkan korosi jika beraksi dengan air (H₂O). Sifat – sifat metana pada

karbondioksida dapat dilihat Tabel 2.2. berikut ini :

Tabel 2.2. Sifat - Sifat Metana dan Karbondioksida

	Metana (CH ₄)	Karbondioksida (CO ₂)
Berat molekul	16,04	44,1
Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)	0,554	1,52
Titik beku @ 14,7 psia	182,53 °C	-56.60 °C
Volume jenis	4,2 ft ³ /lb	8,8 ft ³ /lb
Temperatur kritis	46,6 °C	31,10 °C
Tekanan kritis	673 psia	1072 psia
Perbandingan panas jenis	1,307	1,303

Sumber : Agustiawan, 2014

Pada tahap pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari gula sederhana pada tahap ini akan ada beberapa golongan bakteri yang memegang peranan penting dalam proses terbentuknya biogas ini, yaitu:

1. Golongan Bakteri Pengguna Selulosa

Bakteri-bakteri ini akan mengubah selulosa menjadi gula. Selulosa merupakan komponen terbesar penyusun bahan-bahan organik.

2. Golongan Bakteri Pembentuk Asam

Bakteri pembentuk asam ini aktif menguraikan substans - substans polimer kompleks, yaitu protein, karbohidrat, dan lemak menjadi asam-asam organik sederhana yaitu asam-asam butirat, propinat, laktat, asetat, dan alkohol. Adapun jenis bakteri yang aktif memproduksi asam-asam tersebut adalah bakteri *Hethanobacterium Propiunicum* dan *Methanobacterium suboxydan*.

3. Golongan Bakteri Pembentuk Gas Metana

Kondisi anaerob merupakan kondisi yang sangat mendukung terjadinya proses pembentukan biogas, proses ini disebut juga metanogenik. Bakteri yang aktif dan memproduksi gas metana antara lain, *Methonobacterium Sohngeniei*, *Methonococcus Mozei*, *Methono Sarcina Methanica*. Bakteri pembentuk metana sangat sensitif terhadap pH, komposisi substrat dan temperatur. Apabila kadar

pH di bawah 6.0 maka proses pembentukan metana akan terhenti dan tidak ada penurunan kandungan organik pada endapan.

2.2.2 Biogas Sebagai Energi Ramah Lingkungan

Sejak diperkenalkan pada tahun 1970-an, biogas banyak mengalami perkembangan dalam hal teknologi maupun jumlah yang terpasang. Pemanfaatan biogas umumnya ditujukan untuk memenuhi kebutuhan energi dan listrik rumah tangga, meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan menanggulangi masalah lingkungan akibat limbah peternakan, industri dan rumah tangga. Pemanfaatan biogas juga seringkali dipakai sebagai program atau proyek energi yang ramah lingkungan dengan mengusung pembangunan berkelanjutan sebagai salah satu persyaratan dari program tersebut termasuk pembangunan ekonomi berkelanjutan.

2.2.3 Manfaat Biogas Dalam Kehidupan Sehari-hari

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang sangat bersih dan modern. Hal ini dikarenakan bahan bakar ini tidak menggunakan bahan bakar fosil. Adapun manfaat biogas lainnya yaitu :

1. Bahan Bakar Kendaraan

Bahan bakar fosil merupakan salah satu sumber energi tak terbarukan yang akan cepat habis jika digunakan secara terus-menerus. Oleh karena itu saat ini banyak sekali para ilmuwan yang mulai mengembangkan energi alternatif pengganti. Beberapa alasan mengapa biogas baik untuk bahan bakar kendaraan adalah lebih mudah untuk biaya operasional, ramah lingkungan dan tidak mempengaruhi kinerja dari kendaraan itu sendiri.

2. Pengganti Gas LPG

Sama halnya dengan BBM, harga gas LPG, hingga saat ini juga terus mengalami kenaikan. Biogas yang diolah dengan baik dapat diandalkan sebagai pengganti gas LPG. Mengganti gas LPG dengan biogas juga akan berdampak pada tertekannya harga produksi.

3. Memanfaatkan Sampah Lingkungan

Manfaat biogas berikutnya adalah dapat membantu mengurangi sampah rumah tangga. Seperti yang kita ketahui pengolahan biogas menggunakan jenis limbah apapun, yang dapat terurai. Efeknya lingkungan akan menjadi lebih bersih dan bebas sampah, menjauhkan diri dari penyakit, mengurangi

lingkungan kumuh dan menghilangkan bau tidak sedap yang dihasilkan penumpukan sampah.

2.2.4 Potensi Pengembangan Biogas di Indonesia

Pemanfaatan biogas di Indonesia sebagai energi alternatif sangat memungkinkan untuk diterapkan di masyarakat, apalagi sekarang ini harga bahan bakar minyak yang makin mahal dan langka keberadaannya. Biomassa adalah bahan biologis yang berasal dari organisme atau makhluk hidup. Biomassa seperti kayu, pertanian, perkebunan, dan limbah kotoran hewan sangat banyak dijumpai di seluruh provinsi Indonesia dengan kualitas yang berbeda-beda. Pada saat ini sebagai sumber bahan baku biogas tersedia secara melimpah dan belum dimanfaatkan secara maksimal (Elizabeth, 2015). Secara umum, penggunaan limbah pertanian sebagai bahan dasar biogas lebih sulit dibandingkan kotoran ternak, waktu yang dibutuhkan untuk proses hidrolisis bahan selulosa dari limbah pertanian lebih lama.

Beberapa program telah dilaksanakan oleh pemerintah Indonesia untuk meningkatkan penggunaan teknologi biogas, seperti demonstrasi instalasi dan pelatihan mengoperasikan digester untuk masyarakat. Ditahun 1984, jumlah digester yang telah dibangun di Indonesia hanya 100 unit, sembilan tahun kemudian menjadi 350 unit (Wiloso, 1995). Peningkatan jumlah digester yang tidak signifikan ini disebabkan mahalnya biaya yang harus dikeluarkan untuk membangun instalasi digester. Teknologi ini sudah banyak digunakan oleh peternak sapi di daerah Boyolali sejak tahun 1990-an dan masih beroperasi sampai sekarang. Penelitian yang dilakukan pada tahun 2000 menghasilkan rancangan digester biogas yang terbentuk dari bahan plastik dan pada tahun 2005 rancangan tersebut dipasarkan dengan harga 1,5 juta rupiah per instalasi (Aprianti,2005).

2.3 Kotoran Sapi

Sapi memiliki sistem pencernaan khusus yang menggunakan mikroorganisme dalam sistem pencernaan yang berfungsi untuk mencerna selulosa dan lignin dari rumput berserat tinggi, oleh karena itu kotoran sapi memiliki kandungan selulosa yang tinggi dan sangat cocok diolah menjadi biogas. Dengan mengolah limbah sapi menjadi biogas maka kita telah mengurangi pencemaran limbah dan menjaga lingkungan.

Populasi hewan ternak sapi semakin meningkat setiap tahunnya, di Indonesia jumlah sapi mencapai 16,6 juta ekor sapi, dan 1,4 juta ekor kerbau (Kementerian Pertanian, 2017). Produksi limbah ternak diasumsikan dari proporsi bobot hidup ternak. Ternak babi akan menghasilkan limbah kurang lebih 3,6 % dari total bobot hidup, sapi 9,4 % dari total bobot hidup, domba 1,8 % untuk setiap bobot badan 50 kg. Sapi perah dengan bobot badan 500 kg akan menghasilkan limbah kurang lebih 47 kg/hari. Gangguan yang disebabkan oleh limbah peternakan meliputi gangguan estetika, lalat, bau, debu, dan bulu (Indri, 2015), sehingga jika tidak dikelola dengan baik dapat mencemari perairan umum atau danau, Sementara itu gas tidak sedap berupa gas metana dapat menimbulkan efek rumah kaca karena gas metan memiliki dampak panas 21 kali lebih tinggi dari karbondioksida (Dianawati, 2015). Komposisi kotoran sapi yang umumnya telah diteliti dapat dilihat pada Tabel 2.3. berikut ini :

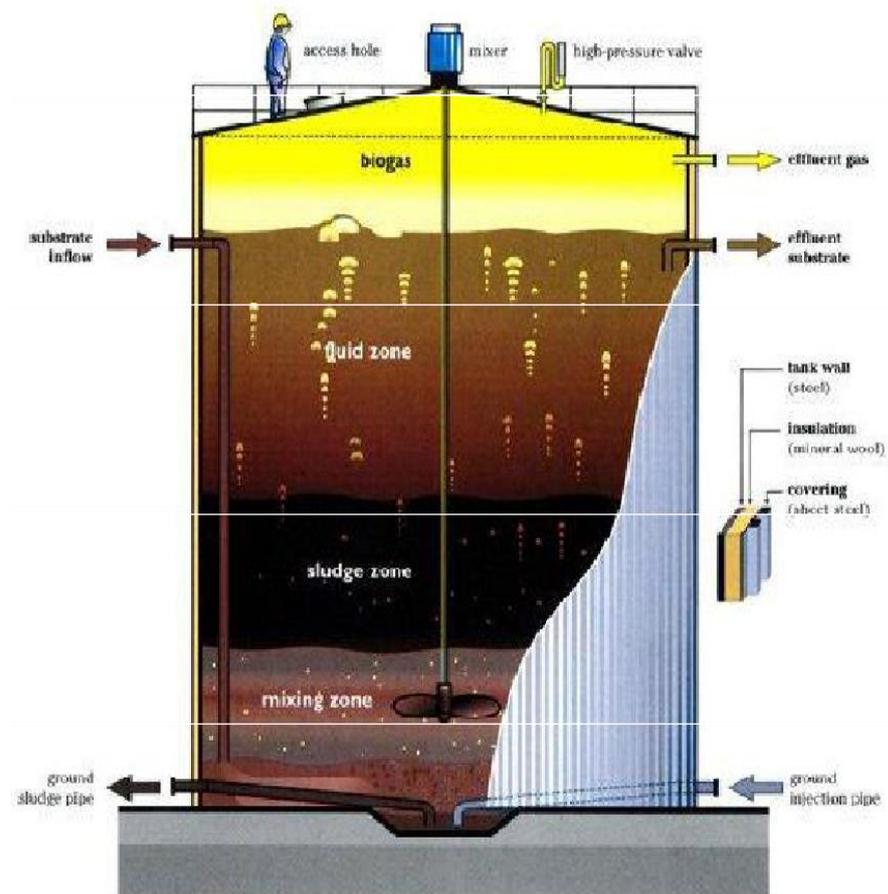
Tabel 2.3. Komposisi Kotoran Sapi

Senyawa	Persentase
Hemiselulosa	18,6 %
Selulosa	25,2 %
Lignin	20,2 %
Protein	14,9 %
Debu	13,0 %

Sumber : Candra, 2012

2.4 Reaktor Biogas

Reaktor 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 20 - 35 hari. Skema digester Biogas dapat dilihat pada Gambar 2.1. berikut ini :



Sumber : <http://andrew.getux.com/200>

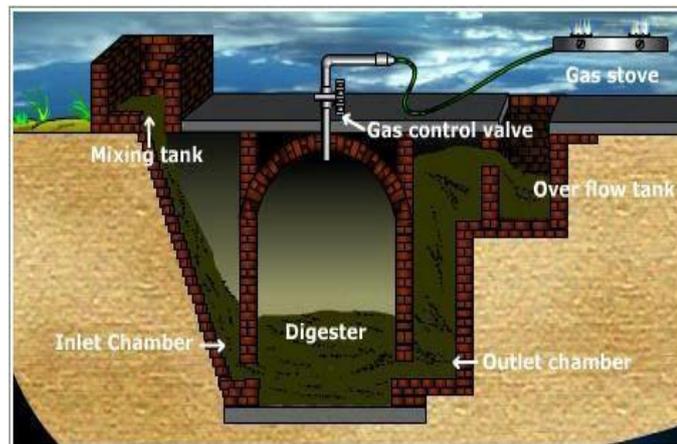
Gambar 2.1. Digester Biogas

2.4.1 Jenis - Jenis Digester Biogas

Terdapat beberapa jenis digester yang dapat dilihat berdasarkan konstruksi, jenis pengoperasian, dan posisinya terhadap permukaan tanah. Jenis digester yang dipilih dapat didasarkan pada tujuan pembuatan digester tersebut. Hal yang penting adalah apapun yang dipilih jenisnya, tujuan utama adalah mengurangi kotoran dan menghasilkan biogas yang mempunyai kandungan CH_4 tinggi. Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi:

1. Reaktor Kubah Tetap (*Fixed Dome*)

Digester jenis ini mempunyai Volume tetap. Seiring dengan dihasilkannya biogas, terjadi peningkatan tekanan dalam digester. Karena itu, dalam konstruksinya digester jenis kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor. Indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan. Skema digester jenis kubah dapat dilihat pada Gambar 2.2. berikut ini :



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

Gambar 2.2. Digester Tipe *Fixed Dome*

Digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti pada Tabel 2.4. berikut:

Tabel 2.4. Kelebihan dan Kekurangan *Fixed Dome Type*

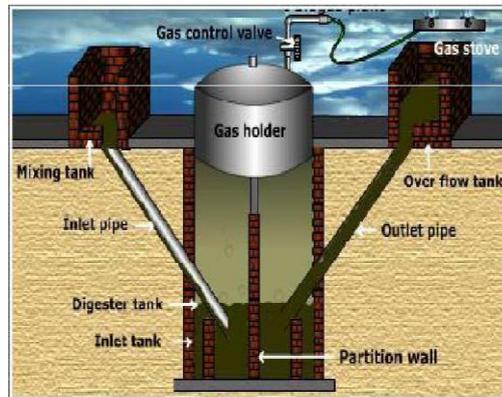
Kelebihan	Kekurangan
1. Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah.	1. Bagian dalam digester tidak terlihat, khususnya yang dibuat di dalam tanah sehingga kebocoran tidak terdeteksi.
2. Biaya konstruksi rendah.	2. Tekanan gas berfluktuasi dan bahkan fluktuasinya sangat tinggi.
3. Tidak terdapat bagian yang bergerak.	3. Temperatur digester Rendah
4. Dapat dipilih dari material yang tahan karat.	
5. Umurnya panjang.	

Sumber : <http://www.kulonprogokab.go.id/>

2. *Floating Dome* (Kubah Apung)

Pada digester tipe ini terdapat bagian yang reaktor yang dapat bergerak seiring dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian kubah dapat dijadikan Indikasi bahwa produksi biogas sudah mulai atau sudah terjadi. Bagian yang bergerak juga berfungsi sebagai pengumpul biogas. Keuntungan dari reaktor ini adalah volume gas yang tersimpan dapat dilihat secara langsung karena

adanya pergerakan naik turun. Akibat tempat penyimpanan yang terapung sehingga tekanan gas konstan. Sementara itu, kelemahannya adalah membutuhkan teknik khusus untuk membuat tampungan gas bergerak seiring naik atau turunnya produksi biogas, material dari tampungan gas yang dapat bergerak harus dipilih yang mempunyai sifat tahan korosi, hal tersebut menyebabkan harganya relatif lebih mahal. Skema Digester tipe *floating dome* dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut



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

Gambar 2.3. Digester Tipe *Floating Dome* (Kubah Apung)

3. Reaktor Balon

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisiensi dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor ini terdiri atas satu bagian yang berfungsi sebagai digester sekaligus penyimpanan gas yang masing – masing bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat. Material organik terletak pada bagian bawah karena memiliki berat lebih besar dibandingkan dengan gas. Skema digester reaktor balon dapat dilihat pada Gambar 2.4. berikut ini :



Sumber : shodikin,2011

Gambar 2.4. Reaktor Tipe Balon

4. Reaktor Dari Bahan *Fiber Glass*

Reaktor dari bahan *fiber glass* merupakan jenis reaktor yang paling banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan *fiber glass* sehingga lebih efisiensi dan penanganannya dalam biogas. Reaktor ini terdiri atas satu bagian yang berfungsi sebagai digester sekaligus penyimpanan gas yang masing-masing bercampur tanpa sekat. Skema Reaktor *fiber glass* dapat dilihat pada Gambar 2.5. berikut ini :



Sumber : Shodikin, 201

Gambar 2.5. Reaktor Tipe *Fiber Glass*

2.4.2 Digester Biogas Berdasarkan Pengoperasian

Desain digester jika dilihat dari cara pengoperasian digester, ada dua desain digester yaitu:

1. *Continuous Feeding*

Proses pencernaan anaerobik dari limbah kotoran sapi secara kontinyu memakan waktu sekitar 8 jam dalam temperatur hangat (35°C). Sepertiga biogas akan dihasilkan pada minggu pertama, seperempatnya pada minggu kedua, sisanya akan dihasilkan pada minggu ketiga sampai kedelapan. Produksi gas dapat dipercepat dengan memasukkan bahan baku secara kontinyu (*continuous feeding*) serta sejumlah kecil buangan proses setiap hari. Proses juga akan menyisakan nitrogen pada *slurry* buangan yang kemudian digunakan untuk pupuk. Hal yang perlu diperhatikan dalam sistem kontinyu adalah tangki harus cukup besar untuk menampung semua bahan yang terus menerus dimasukkan selama proses pencernaan berlangsung

2. *Batch Feeding*

Umumnya Desain *batch* diperuntukkan untuk mengolah biogas limbah sayuran.

Tangki tunggal merupakan desain yang paling baik untuk digunakan. Tangki dapat dibuka dan *slurry* buangan proses dapat dikeluarkan dan digunakan sebagai pupuk kemudian bahan baku yang baru dimasukkan kembali. Tangki ditutup dan proses fermentasi diawali kembali. Sistem *batch* akan mulai memproduksi setelah minggu kedua sampai minggu keempat, laju peningkatan produksi menjadi lambat lalu menurun setelah bulan ketiga atau keempat. Limbah sayuran mempunyai rasio C : N yang tinggi dibandingkan dengan limbah kotoran ternak sehingga perlu ditambahkan limbah kotoran ternak.

2.4.3 Digester Biogas Berdasarkan Segi Tata Letak Penempatan

Jika dilihat dari Segi tata letak penempatan digester, terdapat tiga jenis desain digester yaitu:

1. Seluruh Digester di Atas Permukaan Tanah

Biasanya digester jenis ini dibuat dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah Volume yang kecil, sehingga biogas yang dihasilkan hanya mampu digunakan untuk kebutuhan sebuah rumah tangga. Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi sehingga tidak tahan lama.

2. Sebagian Tangki Biogas di Letakkan di Bawah Permukaan Tanah.

Digester ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil dan kapur yang dibentuk seperti sumur dan ditutup dari plat baja atau konstruksi semen. Volume tangki dapat dibuat untuk skala besar ataupun skala kecil sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu dingin (rendah), suhu dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke bahan baku biogas. Sehingga memperlambat proses bekerjanya bakteri, seperti diketahui bakteri akan bekerja optimum pada rentang temperatur tertentu saja.

3. Seluruh Tangki Digester di Letakkan 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 menghemat lahan tempat, pembuatan digester didalam tanah mampu menjaga lahan tempat, pembuatan digester di dalam tanah berguna mempertahankan suhu digester stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri.

2.4.4 Komponen Digester

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 *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 mengalirkan bahan baku dan menghindari endapan pada saluran masuk.

2. Ruang *Digestion* (Ruang Fermentasi)

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

3. Saluran Keluar Residu (*Sludge*)

Fungsi saluran ini adalah mengeluarkan kotoran (*sludge*) yang telah mengalami fermentasi anaerobik oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip ke - setimbangan 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.

4. Tangki Penyimpan Biogas

Tujuan dari tangki penyimpanan biogas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik. Jenis tangki penyimpanan 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.

2.5 Proses Pengolahan Kotoran Sapi Secara Anaerobik

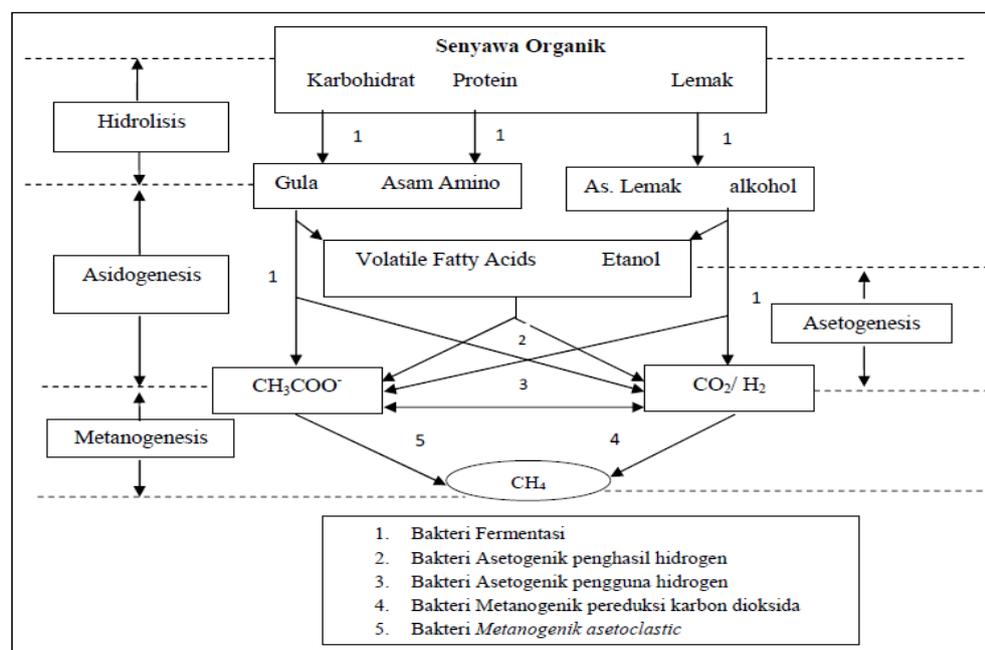
Pengolahan secara anaerobik berarti selama proses pengolahan tidak ada udara yang masuk di dalam reaktor. Pengolahan anaerobik dapat diaplikasikan secara luas untuk berbagai macam limbah dan sangat cocok untuk pengolahan limbah yang mengandung karbon organik konsentrasi tinggi. Dalam proses pengolahan anaerobik, produk yang dihasilkan adalah biogas, yaitu terdiri dari gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Dalam pengolahan anaerobik terjadi 3 jenis penguraian yaitu hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis. Pengolahan anaerobik

memiliki beberapa keuntungan dan kerugian dapat dilihat pada Tabel 2.5. berikut ini :

Tabel 2.5. Keuntungan dan Kerugian Proses Anaerobik

No	Keuntungan	Kerugian
1	Energi yang dibutuhkan sedikit	Membutuhkan waktu pemiakan yang lama
2	Nutrisi yang dibutuhkan Sedikit	Tidak mendegradasi senyawa nitrogen dan fosfor
3	Dapat menghasilkan senyawa metana (CH_4) yang merupakan sumber energi yang potensial	Sangat sensitif terhadap perubahan temperatur
4	Hanya membutuhkan reaktor dengan volume yang kecil	Menghasilkan senyawa yang beracun seperti H_2S

Pengolahan anaerobik ini akan menguraikan senyawa organik pada limbah dengan cara hidrolisis dan fermentasi yang melibatkan bermacam - macam bakteri anaerob. Diagram konversi bahan organik menjadi metan secara anaerobik (Jiang, 2014) dapat dilihat pada Gambar 2.6. berikut ini.



Sumber : Jiang, 2014

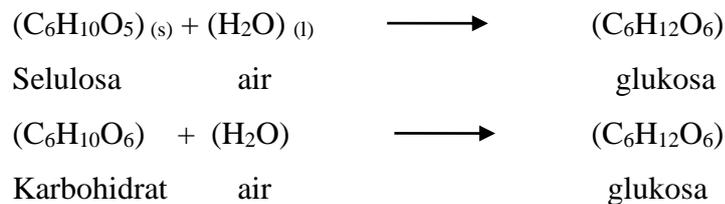
Gambar 2.6. Diagram Konversi Bahan Organik Menjadi Metan Secara Anaerobik

2.5.1 Tahapan Pengolahan Limbah Cair Proses Anaerobik

Tahapan pengolahan limbah cair dengan proses anaerobik, terdapat 3 jenis reaksi pembentukan yaitu reaksi hidrolisa, reaksi asidogenik, dan reaksi metanogen.

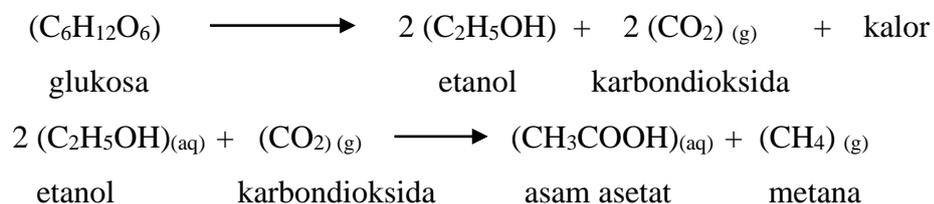
1. Reaksi Hidrolisa / Tahap pelarutan

Hidrolisis merupakan proses penguraian bahan organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga dapat diurai oleh bakteri pada proses fermentasi. Bakteri mendekomposisi rantai panjang karbohidrat, protein dan lemak menjadi bagian yang lebih pendek. Laju hidrolisis merupakan fungsi dari faktor seperti pH, suhu, komposisi serta ukuran partikel substrat dengan reaksi sebagai berikut.



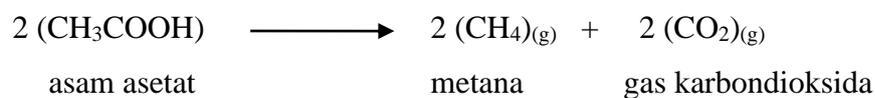
2. Reaksi Asidogenik / Tahap pengasaman

Pada tahap ini produk yang telah dihidrolisa, dikonversikan menjadi asam lemak volatil, alkohol, aldehid, keton, amonia, karbondioksida, air dan hidrogen oleh bakteri pembentuk asam. Asam - asam organik yang terbentuk adalah asam asetat, asam propionat, asam butirat dan asam. Reaksi yang terjadi menurut (Price, 1981) adalah :



3. Reaksi Metanogenik / Tahap gasifikasi

Proses ini berlangsung 14 hari di dalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan CH_4 , CO_2 , sedikit H_2 dan H_2S . Reaksi yang terjadi adalah :



Metanogen dan asidogen membentuk suatu hubungan yang saling menguntungkan. Metanogen mengubah hasil dari proses asidogen seperti asam

asetat menjadi metana dan karbon dioksida. Mikroorganisme metanogen tumbuh secara lambat dengan waktu tumbuh berkisar 13 hari pada suhu 35°C dan 50 hari pada suhu 10°C.

2.5.2 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Proses Anaerobik

Beberapa faktor yang harus diperhatikan dan dijaga agar proses produksi biogas berjalan dengan stabil adalah pH, *total solid*, *volatile solid*, *hydraulic retention time*, sistem pengadukan atau sistem hidrodinamika, jenis dan sumber mikroorganisme dan jenis reaktor yang digunakan.

1. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme (Wilis, 2012). pH optimum dari mikroorganisme membentuk metana adalah pada pH = 6,7 - 7,5. Namun, Sebagian besar mikroorganisme lebih memilih kisaran pH netral, yaitu sekitar pH 7,0 - 7,5. Pada proses fermentasi, mikroorganisme produksi asam berhasil hidup dalam kondisi yang relatif asam, turun ke pH 5,0, sebagian besar produsen metana umumnya memerlukan nilai pH netral untuk menjadi aktif.

2. *Total Solid* (TS), dan *Volatile Solid* (VS)

Total solid (TS) adalah jumlah padatan yang terdapat dalam substrat baik padatan yang terlarut maupun yang tidak terlarut. Sedangkan *volatile solid* (VS) adalah padatan - padatan organik yang terdapat dalam substrat. Dari TS dan VS inilah dapat diketahui berapa banyak produksi gas yang akan dihasilkan (Shuler, M. K., 2002)

3. *Hydraulic Retention Time* (HRT)

HRT (waktu tinggal) merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan limbah cair untuk tinggal didalam reaktor. Nilai HRT merupakan perbandingan antara volume reaktor dengan laju alir umpan yang masuk (Speece, 1996).

4. Sistem Pengadukan atau Sistem Hidrodinamika.

Sistem pengadukan atau sistem hidrodinamika adalah satu sistem yang ditujukan untuk homogenisasi larutan yang ada di dalam reaktor dan untuk menjaga pH larutan yang stabil. Sistem pengadukan dapat dilakukan dengan sistem pengadukan dengan motor listrik atau dengan pengaliran sejumlah

aliran menggunakan pompa dengan aliran *bottom-up* yang dapat berfungsi untuk membawa sejumlah karbondioksida kembali ke fase fase larutan limbah. Hal ini penting dilakukan dikarenakan sejumlah CO₂ berada di bagian atas cairan, sementara sejumlah CO₂ masih diperlukan pada tahap reaksi asetogenik.

7. Jenis dan Sumber Mikroorganisme.

Berbagai tahap proses anaerobik sangat tergantung dari kinerja aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Ketergantungan ini dapat ditransformasikan sebagai pertumbuhan mikroorganisme, karena pertumbuhan mikroorganisme merupakan jenis reaksi auto katalitik yang mampu memperbanyak dengan sendiri untuk melakukan perombakan terhadap komponen subsrat limbah cair. Sehingga jenis bakteri yang akan digunakan harus bersinergi. Sumber mikroorganisme sebaiknya digunakan dari bakteri limbah yang diolah, akan tetapi diperlukan berbagai proses pengolahan terlebih dahulu sehingga pertumbuhan mikroorganisme dapat berlangsung dengan baik.

8. Jenis Reaktor

Jenis reaktor yang digunakan untuk proses anaerobik sangat beragam seperti *CSTR*, *reaktor Filter Anaerobik dengan pertumbuhan mikroorganisme melekat*, *Uflow Anaerobik Sludge Blanked (UASB)* dengan aliran limbah yang dipompakan dari bagian bottom ke arah bagian atas reaktor yang dapat berfungsi sebagai sistim pengadukan..

2.5.3 Sistem Perkembangbiakan Mikroorganisme

Mikroorganisme melakukan pembiakan secara aseksual atau vegetatif. Pelaksanaan pembiakan yaitu dengan pembelahan diri atau *divisio*. Pembelahan diri dapat dibagi atas 3 fase, yaitu:

1. Fase Pertama

Pada fase ini sitoplasma mikroorganisme terbelah oleh sekat tegak lurus pada arah memanjang.

2. Fase Kedua.

Pada fase ini diikuti oleh suatu dinding melintang. Di tengah - tengah dinding terdapat suatu lubang kecil, di mana protoplasma kedua sel baru masih tetap terhubung - hubungan.

3. Fase Terakhir

Fase ini adalah terlepas atau terpisahnya kedua sel. Bakteri dengan dinding lebih kokoh tetap bergandeng - gandingan setelah pembelahan.

2.5.4 Pertumbuhan Mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme tergantung dari tersediannya air dan bahan makanan. Bahan makanan digunakan oleh mikroorganisme untuk membentuk bahan sel dan memperoleh energi. Pertumbuhan mikroorganisme pada kondisi yang optimum lebih cepat jika dibandingkan dengan jamur dan kapang. Hal ini disebabkan karena mikroorganisme memiliki struktur sel yang lebih sederhana, sehingga sebagian besar mikroorganisme memiliki waktu generasi hanya sekitar 20 menit.

Pertumbuhan didefinisikan sebagai penambahan kuantitas konstituen seluler dan struktur organisme yang dapat dinyatakan dengan ukuran, diikuti penambahan jumlah, penambahan ukuran sel, penambahan berat atau massa dan parameter lain. Sebagai hasil penambahan ukuran dan pembelahan sel atau penambahan jumlah sel maka terjadi pertumbuhan populasi mikroorganisme. Pertumbuhan mikroorganisme dalam suatu medium mengalami fase - fase yang berbeda, yang berturut - turut disebut dengan fase lag, fase eksponensial, fase *stationer* dan fase kematian. Proses laju pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tingkat keasaman (pH), Temperatur, *Nutrient*, dan Oksigen.

1. Tingkat keasaman (pH)

Kebanyakan mikroorganisme tumbuh baik pada pH sekitar netral dan pH 4,6 – 7,0 merupakan kondisi optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan kapang dan khamir tumbuh pada pH yang lebih rendah.

2. Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme. Setiap mikroorganisme mempunyai kisaran suhu dan suhu optimum tertentu untuk pertumbuhannya. Berdasarkan kisaran suhu pertumbuhan, mikroorganisme dibedakan atas tiga kelompok sebagai berikut :

1. Psikrofil, yaitu mikroorganisme yang mempunyai kisaran suhu pertumbuhan

pada suhu 0 – 20° C.

2. Mesofil, yaitu mikroorganisme yang mempunyai kisaran suhu pertumbuhan 20 - 45° C.
3. Termofil, yaitu mikroorganisme yang suhu pertumbuhannya diatas 45° C

3. *Nutrient*

Mikroorganisme memerlukan suplai nutrisi sebagai sumber energi dan pertumbuhan selnya. Unsur - unsur dasar tersebut adalah : karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, sulfur, fosfor, zat besi dan sejumlah kecil logam lainnya. Ketiadaan atau kekurangan sumber - sumber nutrisi ini dapat mempengaruhi pertumbuhan Bakteri hingga pada akhirnya dapat menyebabkan kematian.

4. Oksigen

Mikroorganisme mempunyai kebutuhan oksigen yang berbeda - beda untuk pertumbuhannya. Berdasarkan kebutuhannya akan oksigen, Bakteri dibedakan atas 4 kelompok sebagai berikut :

1. Aerob, yaitu mikroorganisme yang membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya.
2. Anaerob, yaitu mikroorganisme yang tumbuh tanpa membutuhkan oksigen.
3. Anaerob fakultatif, yaitu mikroorganisme yang dapat tumbuh dengan atau tanpa adanya oksigen.
4. Mikroaerofil, yaitu mikroorganisme yang membutuhkan oksigen pada konsentrasi yang lebih rendah daripada konsentrasi oksigen yang normal di udara.

2.6 Media Biak Mikroorganisme

Mikroorganisme memerlukan unsur - unsur lain yakni unsur pelengkap, vitamin dan unsur senyawa tambahan lain yang terdapat dalam media biak. Media biak mikroorganisme dapat terdiri dari 3 (tiga) jenis media yaitu :

1. Media Biak Kompleks

Mikroorganisme dikembangkan dalam larutan yang mengandung ekstra ragi, otosilat, pepton atau ekstra daging, rempah, rumput dan sari buah.

2. Media Biak Padat

Bahan pematid yang ideal adalah agar - agar. Agar – agar mengandung polisakarida dengan susunan kompleks yang berasal dari ganggang laut.

Lazimnya, medium biakan berisi air, sumber energi, zat hara sebagai sumber karbon, nitrogen, sulfur, fosfat, oksigen, hidrogen serta unsur - unsur sekelumit (*trace elements*). Media biak padatan umumnya digunakan di laboratorium untuk mengembangkan mikroorganisme.

3. Media Biak Sintetik

Mikroorganisme dikembangkan dalam media biak yang terbuat dari senyawa – senyawa kimia.

2.7 Fase Pertumbuhan Mikroorganisme

Bakteri yang diinokulasikan dalam medium yang sesuai dan pada keadaan yang optimum bagi pertumbuhannya, maka terjadi kenaikan jumlah yang sangat tinggi dalam waktu yang relatif pendek. Perbanyakan ini disebabkan oleh pembelahan sel secara aseksual, fase pertumbuhan mikroorganisme :

1. Fase *Lag* atau Ancang - Ancang.

Fase anchang - anchang adalah fase dimana bakteri beradaptasi dengan lingkungannya dan mulai bertambah sedikit demi sedikit. Tahap anchang - anchang mencakup interval waktu antara saat penanaman dan saat tercapainya kecepatan pembelahan maksimum. Lamanya tahap anchang - anchang ini terutama tergantung dari biak awal, umur bahan yang ditanam dan juga dari sifat larutan biak.

2. Fase *Logaritmik* atau Tahap Eksponensial

Tahap pertumbuhan eksponensial atau logaritmik terciri oleh kecepatan pembelahan maksimum yang konstan. Kecepatan pembelahan diri sepanjang tahap log bersifat spesifik tiap jenis Mikroorganisme dan tergantung lingkungan. Jika lingkungan terus berubah, konsentrasi substrat semakin berkurang, kerapatan sel bertambah, dan produk - produk metabolisme tertimbun.

3. Fase *Stationer*

Tahap *stasioner* adalah fase dimana jumlah bakteri yang berkembang biak sama dengan jumlah bakteri yang mengalami kematian. Tahap stasioner dimulai ketika sel tidak tumbuh lagi. Kecepatan pertumbuhan tergantung dari kadar substrat, menurunnya kecepatan pertumbuhan sudah terjadi ketika kadar substrat berkurang sebelum substrat habis terpakai.

4. Fase *Autolysis* (Kematian)

Tahap Kematian adalah fase dimana jumlah bakteri yang mati semakin banyak, melebihi jumlah bakteri yang berkembang biak. Fase kematian ditandai dengan cepat merananya koloni dan jumlah bakteri yang mati senantiasa bertambah. Keadaan ini dapat berlangsung beberapa minggu bergantung pada spesies dan keadaan medium serta faktor - faktor lingkungan.

2.8 *Green Phoskko - 7 (GP - 7)*

Bakteri anaerobik dalam aktivator GP - 7 hidup secara saprofit dan bernapas secara anaerob dimanfaatkan dalam proses pembuatan biogas. Bakteri saprofit digunakan untuk memecah persenyawaan organik dan menghasilkan gas metana CH_4 , H_2S , N_2 , H_2 dan CO_2 . Dalam lingkungan mikro reaktor atau digester biogas yang sesuai kebutuhan bakteri ini kedap udara, material memiliki $\text{pH} > 6$, kelembaban 60 % dan temperatur $> 30^\circ\text{C}$ dan C/N ratio tertentu akan mengurai atau mendekomposisi semua biomassa termasuk jenis sampah dan bahan organik dengan waktu yang cepat sekitar 5-20 hari.



Sumber : <http://kencanaonline.com//>

Gambar 2.7. *Green Phoskko - 7 (GP - 7)*

Kelebihan dari *Green Phoskko - 7 (GP - 7)*

1. Mempercepat proses dekomposisi (menghancurkan bahan organik),
2. Menghilangkan bau busuk pada gas yang telah dihasilkan.
3. Menekan pertumbuhan mikroba.

Penambahan mikroorganisme ini tidak dapat menambah produksi biogas yang dihasilkan. Fungsi dari mikroorganisme ini hanya membantu proses mempercepat pembentukan metana sebagai aktivator .

2.9 Total Solid Content (TS), Volatile Solid (VS), Mol dan Massa Gas, Rendemen Biogas (%) dan Efisiensi Digester (%)

2.9.1 Penentuan Total Solid Content (TS)

Pengertian *Total Solid Content* (TS) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses digester terjadi dan mengindikasikan laju penghancur atau pembusukkan material padatan limbah organik. *Total Solid Content* (TS) dapat dihitung dengan persamaan :

$$TS = (100\% - KA) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana harga KA (Kadar Air) dapat ditentukan dengan :

$$KA = (S_1 - S_2) / S_1 \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

$$S_1 = \text{Massa slurry (gr)}$$

$$S_2 = \text{Massa slurry setelah oven (gr)}$$

2.9.2 Penentuan Volatile Solid (VS)

Volatile Solid (VS) merupakan bagian padatan (*Total Solid - TS*) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik. Penentuan *Volatile Solid* (VS) dapat digunakan persamaan berikut ini

$$VS = (100\% - \text{Abu}) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana harga abu dapat ditentukan dengan :

$$\text{Abu} = (S_2 - S_3) / S_2 \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

$$S_2 = \text{Massa slurry setelah oven (gr)}$$

$$S_3 = \text{Massa abu (gr)}$$

2.9.3 Perhitungan Produksi Biogas

Persamaan yang digunakan dalam menentukan proses pembentukan biogas dari proses anaerobik adalah sebagai berikut :

1. Persamaan Tekanan Biogas

Tekanan gas yang dihasilkan diukur menggunakan manometer U terbuka yang diisi dengan fluida air. Data yang terkumpul selanjutnya diolah dan dihitung sesuai dengan perhitungan tekanan pada manometer U terbuka untuk mengetahui tekanan gas yang dihasilkan selama proses degradasi anaerobik

berlangsung dalam satuan atm. Bila manometer diberi tekanan udara pada salah satu kolom, maka air dikolom lainnya akan naik hingga mencapai tekanan tertentu. Perbedaan ketinggian air dikedua kolom disebut nilai (h). Tekanan dihitung dengan persamaan :

$$P = P_{\text{atm}} + \rho g h \text{ (sumber : Achmad, 2012)}$$

Dimana :

P	= Tekanan biogas (atm)
P _{atm}	= Tekanan atmosfer (1 atm)
ρ	= Densitas zat cair (Kg/m ³)
g	= Percepatan gravitasi (9,81 m/s ²)
h	= Perbedaan tinggi kolom zat cair (m)

2. Menentukan Mol dan Massa Biogas

Untuk menghitung mol biogas yang dihasilkan, persamaan yang digunakan :

$$P V = n R T$$

Dimana :

P	= Tekanan (atm)
V	= Volume desain biogas (m ³)
n	= Mol gas
R	= Tetapan gas universal
T	= Temperatur (K)

Menentukan massa biogas dapat dihitung dengan persamaa :

$$M = \text{mol} \times \text{BM}$$

Dimana :

M	= Massa Biogas (Kg)
BM	= Berat Molekul

2.9.4 Persen Yield

Persen *yield* diukur untuk menghitung perbandingan antara volume biogas yang dihasilkan dengan volume bahan baku yang dimasukkan kedalam biodigester.

Persen *yield* dapat di hitung dengan persamaan :

$$\text{Persen yield} = \frac{\text{Massa Biogas (kg)}}{\text{Jumlah Bahan Baku (kg)}} \times 100\%$$

(Batin E.Tuwuilu,2012)

