

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemanfaatan Limbah Peternakan

Pemanfaatan limbah peternakan khususnya kotoran ternak sapi menjadi biogas mendukung konsep *zero waste* sehingga sistem pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dapat dicapai. Beberapa keuntungan penggunaan kotoran ternak sebagai penghasil biogas sebagai berikut :

1. Mengurangi pencemaran lingkungan terhadap air dan tanah, pencemaran udara (bau).
2. Memanfaatkan limbah ternak tersebut sebagai bahan bakar biogas yang dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk keperluan rumah tangga.
3. Mengurangi biaya pengeluaran peternak untuk kebutuhan energi bagi kegiatan rumah tangga yang berarti dapat meningkatkan kesejahteraan peternak.
4. Melaksanakan pengkajian terhadap kemungkinan dimanfaatkannya biogas untuk menjadi energi listrik untuk diterapkan di lokasi yang masih belum memiliki akses listrik.

Melaksanakan pengkajian terhadap kemungkinan dimanfaatkannya kegiatan ini sebagai usulan untuk mekanisme pembangunan bersih (*Clean Development Mechanism*).

Kotoran sapi merupakan kotoran yang paling efisien digunakan sebagai penghasil biogas karena setiap 10 - 20 kg kotoran perhari dapat menghasilkan 2 m³ biogas. Dimana energi yang terkandung dalam 1 m³ biogas sebesar 2000-4000 kkal atau dapat memenuhi kebutuhan memasak bagi satu keluarga (4-5 orang) selama 3 jam (Suriawiria,2005). Setiap 1 m³ kotoran sapi setara dengan 60 watt lampu bolam \cong 100 candle power \cong 620 lumen) dengan tekanan : 70 - 85 mmH₂O. (Widodo and Hendriardi, 2005).

2.2. Pengolahan Limbah Peternakan Sapi Menjadi Biogas

Pengolahan limbah peternakan sapi menjadi biogas pada prinsipnya menggunakan metode dan peralatan yang sama dengan pengolahan biogas dari biomassa yang lain. Adapun alat penghasil biogas secara anaerobik pertama dibangun pada tahun 1900. Pada akhir abad ke-19, riset untuk menjadikan gas metan sebagai biogas dilakukan oleh Jerman dan Perancis pada masa antara dua Perang Dunia. Selama Perang Dunia II, banyak petani di Inggris dan Benua Eropa yang membuat alat penghasil biogas kecil yang digunakan untuk menggerakkan traktor. Akibat kemudahan dalam memperoleh BBM dan harganya yang murah pada tahun 1950-an, proses pemakaian biogas ini mulai ditinggalkan. Tetapi, di negara-negara berkembang kebutuhan akan sumber energi yang murah dan selalu tersedia selalu ada. Oleh karena itu, di India kegiatan produksi biogas terus dilakukan semenjak abad ke-19. Saat ini, negara berkembang lainnya, seperti China, Filipina, Korea, Taiwan, dan Papua Nugini telah melakukan berbagai riset dan pengembangan alat penghasil biogas. Selain di negara berkembang, teknologi biogas juga telah dikembangkan di negara maju seperti Jerman.

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 (Nandiyanto, 2007). Menurut Haryati (2006), proses pencernaan anaerobik merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktivitas bakteri metanogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara, bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga. Gas metan adalah gas yang mengandung satu atom C dan 4 atom H yang memiliki sifat mudah terbakar. Gas metan yang dihasilkan kemudian dapat dibakar sehingga dihasilkan energi panas. Bahan

organik yang bisa digunakan sebagai bahan baku industri ini adalah sampah organik, limbah yang sebagian besar terdiri dari kotoran dan potongan - potongan kecil sisa-sisa tanaman, seperti jerami dan sebagainya serta air yang cukup banyak.

Proses fermentasi memerlukan kondisi tertentu seperti rasio C : N, temperatur, keasaman juga jenis digester yang dipergunakan. Kondisi optimum yaitu pada temperatur sekitar 32 – 35°C atau 50 – 55°C dan pH antara 6,8 – 8 . Pada kondisi ini proses pencernaan mengubah bahan organik dengan adanya air menjadi energi gas. Jika dilihat dari segi pengolahan limbah, proses anaerobik juga memberikan beberapa keuntungan lain yaitu menurunkan nilai COD dan BOD, total solid, volatile solid, nitrogen nitrat dan nitrogen organic, bakteri coliform dan patogen lainnya, telur insek, parasit, dan bau.

Proses pencernaan anaerobik, yang merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktifitas bakteri metanogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara. Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga.

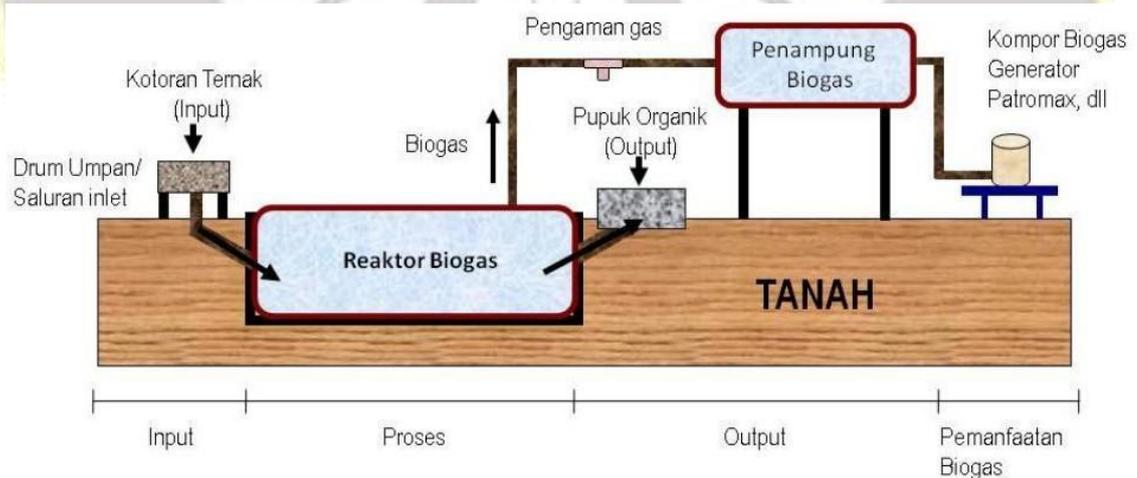
Menurut Haryati (2006), pembentukan biogas meliputi tiga tahap proses yaitu:

1. Hidrolisis, pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik mudah larut dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer).
2. Pengasaman, pada tahap pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari perombakan gula-gula sederhana tadi yaitu asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butirrat, gas karbondioksida, hidrogen dan ammonia.

3. Metanogenik, pada tahap metanogenik terjadi proses pembentukan gas metan. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini yang akan mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hydrogen sulfida.

Jika dilihat analisa dampak lingkungan terhadap lumpur keluaran (*slurry*) dari digester menunjukkan penurunan COD sebesar 90% dari kondisi bahan awal dan pebandingan BOD/COD sebesar 0,37 lebih kecil dari kondisi normal limbah cair BOD/COD = 0,5. Sedangkan unsur utama N (1,82%), P (0,73%) dan K (0,41%) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan pupuk kompos (referensi: N (1,45%), P (1,10%) dan K (1,10%)) (Widodo dkk., 2006). Berdasarkan hasil penelitian, hasil samping pupuk ini mengandung lebih sedikit bakteri patogen sehingga aman untuk pemupukan sayuran/buah, terutama untuk konsumsi segar (Widodo dkk., 2006).

Saat ini berbagai jenis bahan dan ukuran peralatan biogas telah dikembangkan sehingga dapat disesuaikan dengan karakteristik wilayah, jenis, jumlah dan pengelolaan kotoran ternak. Peralatan dan proses pengolahan dan pemanfaatan biogas ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 1. Instalasi digestifikasi anaerobic (Waskito, D., 2011)

Digester dapat dibuat dari bahan plastik Polyetil Propilene (PP), fiber glass atau semen, sedangkan ukuran bervariasi mulai dari 4 – 35 m³.

Biogas dengan ukuran terkecil dapat dioperasikan dengan kotoran ternak 3 ekor sapi.



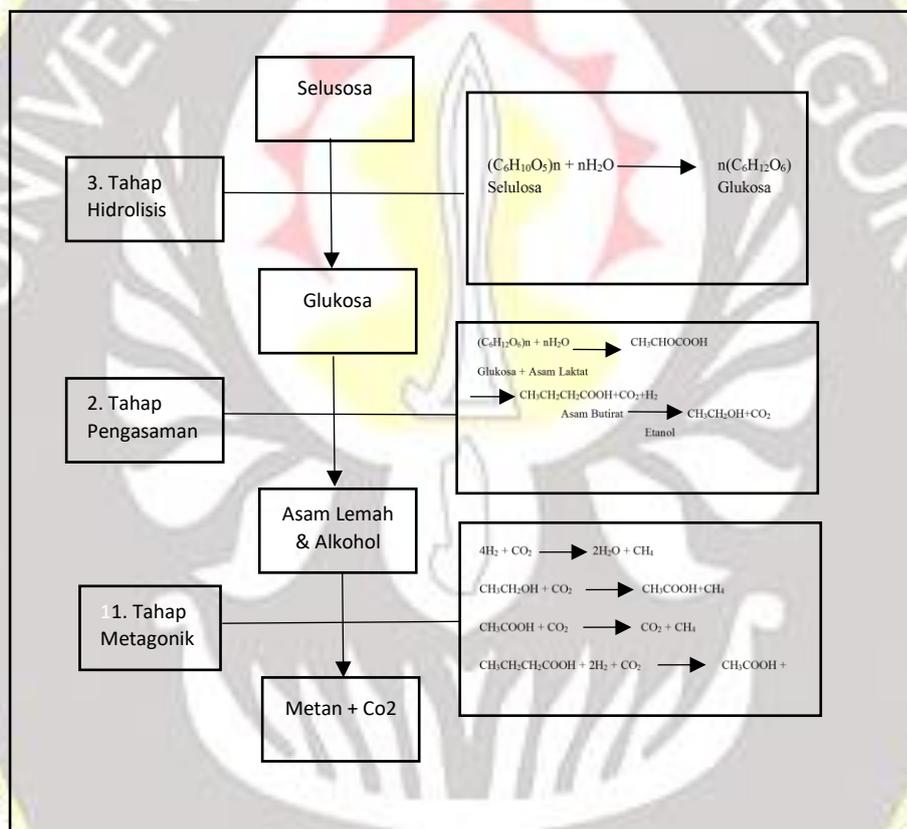
Gambar 2. 2. Contoh digester anaerobic (Waskito, D., 2011)

Cara Pengoperasian Unit Pengolahan (Digester) Biogas seperti terjabar dalam Seri Bioenergi Pedesaan Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian Departemen Pertanian tahun 2009 sebagai berikut :

1. Buat campuran kotoran ternak dan air dengan perbandingan 1 : 2 (bahan biogas).
2. Masukkan bahan biogas ke dalam digester melalui lubang pengisian (inlet) hingga bahan yang dimasukkan ke digester ada sedikit yang keluar melalui lubang pengeluaran (outlet), selanjutnya akan berlangsung proses produksi biogas di dalam digester.
3. Setelah kurang lebih 8 hari biogas yang terbentuk di dalam digester sudah cukup banyak. Pada sistem pengolahan biogas yang menggunakan bahan plastik, penampung biogas akan terlihat mengembung dan mengeras karena adanya biogas yang dihasilkan. Biogas sudah dapat digunakan sebagai bahan bakar, kompor biogas dapat dioperasikan.
4. Pengisian bahan biogas selanjutnya dapat dilakukan setiap hari, yaitu sebanyak kira-kira 10% dari volume digester. Sisa pengolahan bahan biogas berupa sludge secara otomatis akan keluar dari lubang pengeluaran (outlet) setiap kali dilakukan pengisian bahan biogas. Sisa hasil pengolahan bahan biogas tersebut dapat digunakan sebagai pupuk kandang/pupuk organik, baik dalam keadaan basah maupun kering.

Biogas yang dihasilkan dapat ditampung dalam penampung plastik atau digunakan langsung pada kompor untuk memasak, menggerakkan generator listrik, patromas biogas, penghangat ruang/kotak penetasan telur dan lain sebagainya.

Untuk memanfaatkan kotoran ternak sapi menjadi biogas, diperlukan beberapa syarat yang terkait dengan aspek teknis, infrastruktur, manajemen dan sumber daya manusia. Bila faktor tersebut dapat dipenuhi, maka pemanfaatan kotoran ternak menjadi biogas sebagai penyediaan energi di pedesaan dapat berjalan dengan optimal.

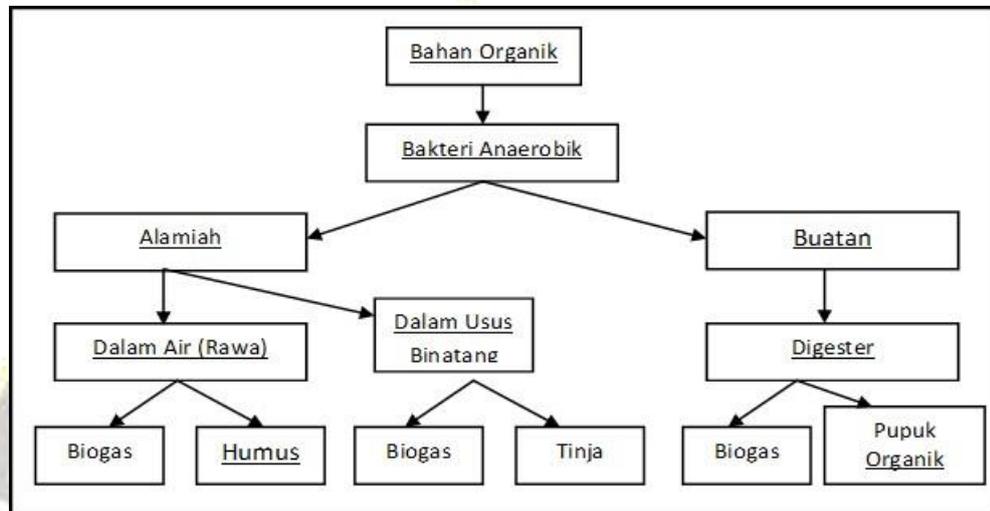


Gambar 2. 3. Tahap pembedakan biogas (Sulistiyo, A.,2010)

2.3. Digestifikasi Anaerobik

Digestifikasi anaerobik adalah proses pembusukan bahan organik oleh bakteri anaerobik pada kondisi tanpa udara, yang menghasilkan biogas dan

pupuk cair. Ada dua jenis digestifikasi anaerobik, yaitu alamiah dan buatan, seperti terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Proses digestifikasi anaerobic (Sulistiyo, A.,2010)

Biogas adalah gas campuran yang mudah terbakar dengan komposisi, seperti terlihat pada Tabel 2.4, dan digunakan untuk memasak, lampu biogas, dan bahan bakar mesin.

2.4. Tahap Pembentukan Biogas

Limbah peternakan seperti feses, urin beserta sisa pakan ternak kambing merupakan salah satu sumber bahan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Namun di sisi lain perkembangan atau pertumbuhan industri peternakan menimbulkan masalah bagi lingkungan seperti menumpuknya limbah peternakan termasuknya didalamnya limbah peternakan sapi. Limbah ini menjadi polutan karena dekomposisi kotoran ternak berupa BOD dan COD (*Biological/Chemical Oxygen Demand*), bakteri patogen sehingga menyebabkan polusi air (terkontaminasinya air bawah tanah, air permukaan), polusi udara dengan debu dan bau yang ditimbulkannya.

Biogas merupakan *renewable energy* yang dapat dijadikan bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar yang berasal dari fosil seperti minyak tanah dan gas alam (Houdkova *et.al.*, 2008). Biogas juga sebagai salah satu jenis bioenergi yang didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan-bahan organik seperti kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, sekam dan daun-daun hasil sortiran sayur difermentasi atau mengalami proses metanisasi (Hambali E., 2008).

Gas metan ini sudah lama digunakan oleh warga Mesir, China, dan Roma kuno untuk dibakar dan digunakan sebagai penghasil panas. Sedangkan proses fermentasi lebih lanjut untuk menghasilkan gas metan ini pertama kali ditemukan oleh Alessandro Volta (1776). Hasil identifikasi gas yang dapat terbakar ini dilakukan oleh Willam Henry pada tahun 1806. Dan Becham (1868) murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882) adalah orang pertama yang memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan gas metan.

Gas ini berasal dari berbagai macam limbah organik seperti sampah biomassa, kotoran manusia, kotoran hewan dapat dimanfaatkan menjadi energi melalui proses anaerobik digestion. Biogas yang terbentuk dapat dijadikan bahan bakar karena mengandung gas metan (CH₄) dalam persentase yang cukup tinggi. Komponen biogas tersajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Komposisi Penyusun Biogas

Jenis Gas	Presentase
Metan (CH ₄)	50-70%
Korbondioksida (CO ₂)	30-40%
Air (H ₂ O)	0,3%
Hidrogen Sulfide (H ₂ S)	Sedikit sekali
Nitrogen (N ₂)	1-2%
Hidrogen	5-10%

Sumber : Bacracharya, dkk.,1985

2.4.1. Parameter Proses Pencernaan Limbah organik

Ada tiga kondisi digestifikasi anaerobik berdasarkan suhu digesternya, antara lain:

a. Kondisi Psikopilik

Pada kondisi ini suhu digester antara 10° - 180° C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 30-52 hari.

b. Kondisi Mesopilik

Pada kondisi ini suhu digester antara 20° - 450° C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 18-28 hari. Dibandingkan digester kondisi termopilik, digester kondisi mesopilik pengoperasiannya lebih mudah, tapi biogas yang dihasilkan lebih sedikit dan volume digester lebih besar.

c. Kondisi Termopilik

Pada kondisi ini suhu digester antara 50-700 C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 11-17 hari. Digester pada kondisi termopilik menghasilkan banyak biogas, tapi biaya investasinya tinggi dan pengoperasiannya rumit. (Wenner, K., 1999)

2.4.2. Nutrisi dan Penghambat bagi Bakteri Anaerob.

Bakteri Anaerobik membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi untuk proses reaksi anaerob seperti mineral-mineral yang mengandung Nitrogen, Fosfor, Magnesium, Sodium, Mangan, Kalsium, Kobalt. Nutrisi ini dapat bersifat toxic (racun) apabila konsentrasi di dalam bahan terlalu banyak. Ion mineral, logam berat dan detergen adalah beberapa material racun yang mempengaruhi pertumbuhan normal bakteri patogen didalam reactor pencernaan. Ion mineral dalam jumlah kecil (sodium, potasium, kalsium, amonium dan belerang) juga merangsang pertumbuhan bakteri, namun bila ion-ion ini dalam konsentrasi yang tinggi akan berakibat meracuni. Sebagai contoh, NH_4 pada konsentrasi 50 hingga 200 mg/l merangsang pertumbuhan mikroba, namun bila konsentrasinya diatas 1500 mg/l akan mengakibatkan keracunan. Di bawah ini table konsentrasi kandungan kimia mineral-mineral atau Tingkatan racun dari beberapa zat penghambat yang terdapat dalam proses pencernaan/digestion limbah organik, yaitu:

Tabel 2. 2. Tingkatan racun dari beberapa zat penghambat

Sulfat (SO_4^{-2})	5,000 ppm
Sodium klorida atau garam (NaCl)	40,000 ppm
Cyanide Below	25 mg/l
Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)	40 ppm
Ammonia	3000 mg/l
Nitrat (dihitung sebagai N)	0.05 mg/l
Tembaga (Cu^{+2})	100 mg/l
Khrom (Cr^{+3})	200 mg/l

Nikel (Ni^{+3})	200-500 mg/l
Sodium (Na^{+})	3,500-5,500 mg/l
Potasium (K^{+})	2,500-4,500 mg/l
Kalsium (Ca^{+2})	2,500-4,500 mg/l
Magnesium (Mg^{+2})	1,000-1,500 mg/l
Mangan (Mn^{+2})	Diatas 1,5001 500 mg/l

Sumber : *Chengdu Research Institute, Chengdu, China, 1989*

Selain karena konsentrasi mineral-mineral melebihi ambang batas di atas, polutan-polutan yang juga menyebabkan produksi biogas menjadi terhambat atau berhenti sama sekali adalah ammonia, antibiotik, pestisida, detergen, and logamlogam berat seperti chromium, nickel, dan zinc.

2.4.3. Waktu yang dibutuhkan untuk Proses Pencernaan

Waktu yang dibutuhkan untuk Proses Pencernaan (*Hydraulic Retention Time-HRT*) adalah jumlah hari proses pencernaan/digesting pada tangki anaerob terhitung mulai pemasukan bahan organik sampai 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 (*feedstock substrate*) sebelum dilakukan proses pencernaan/digesting diproses. (*Craig, F., et al.2005*)

2.4.4. Derajat Keasaman (pH)

Mempunyai efek terhadap aktivasi mikroorganismenya. Konsentrasi derajat keasaman (pH) yang ideal antara 6,6 dan 7,6. 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. (Craig, F., et al.2005)

2.4.5. Kandungan Nitrogen dan Rasio Karbon Nitrogen

Karbon dan Nitrogen adalah sumber makanan utama bagi bakteri anaerob, sehingga pertumbuhan optimum bakteri sangat dipengaruhi unsur ini, dimana Karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi dan Nitrogen dibutuhkan untuk membentuk struktur sel bakteri. Nitrogen amonia pada konsentrasi yang tinggi dapat menghambat proses fermentasi anaerob. Konsentrasi yang baik berkisar 200 – 1500 mg/lt dan bila melebihi 3000 mg/lt akan bersifat toxic. Proses fermentasi anaerob akan berlangsung optimum bila rasio C:N bernilai 30:1, dimana jumlah karbon 30 kali dari jumlah nitrogen. (Craig, F., et al.2005)

Untuk menentukan bahan organik digester adalah dengan melihat rasio / perbandingan antara Karbon (C) dan Nitrogen (N). Beberapa percobaan menunjukkan bahwa metabolisme bakteri anaerobik akan baik pada rasio C/N antara 20-30. Jika rasio C/N tinggi, Nitrogen akan cepat dikonsumsi bakteri anaerobik guna memenuhi kebutuhan proteinnya, sehingga bakteri tidak akan bereaksi kembali saat kandungan Karbon tersisa. Jika rasio C/N rendah, Nitrogen akan terlepas dan berkumpul membentuk amoniak sehingga akan meningkatkan nilai PH bahan. Nilai PH yang lebih tinggi dari 8,5 akan dapat meracuni bakteri anaerobik. Untuk menjaga rasio C/N, bahan organik rasio tinggi dapat dicampur bahan organik rasio C/N rendah. Rasio C/N beberapa bahan organik dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 3. Rasio C/N beberapa bahan organik

Bahan Organik	Rasio C/N
Kotoran bebek	8
Kotoran manusia	8

Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran babi	18
Kotoran domba	19
Kotoran kerbau/sapi	24
Enceng Gondok (water hyacinth)	25
Kotoran gajah	43
Jerami (jagung)	60
Jerami (padi)	70
Jerami (gandum)	90
Sisa gergajian	diasa 200

Sumber : Karki and Dixit (1984)

Kotoran hewan terutama sapi, memiliki nilai C/N rata-rata berkisar 24. Material dari tumbuhan seperti serbuk gergaji dan jerami mengandung persentase C/N yang lebih tinggi, sedangkan kotoran manusia memiliki nilai rasio C/N 8. Limbah organik yang bernilai C/N tinggi dapat dicampur dengan yang lebih rendah sehingga diperoleh nilai rasio C/N yang ideal, seperti pencampuran limbah jerami (straw) kedalam limbah toilet (latrine waste) untuk mencapai kadar C/N yang ideal atau mencampurkan kotoran gajah dengan kotoran manusia sehingga mendapat jumlah rasio C/N yang seimbang dan produksi biogas dapat berjalan optimum.

2.4.6. *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 ini mengindikasikan laju penghancuran/pembusukan material padatan limbah organik. TS juga mengindikasikan banyaknya padatan dalam bahan organik dan nilai TS sangat mempengaruhi lamanya proses pencernaan/digester (HRT) bahan organik. (Craig, F., et al.2005)

2.4.7. 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. Dalam pengujian skala laboratorium, berat saat bagian padatan bahan organik yang hilang terbakar (menguap dan mengalami proses gasifikasi) dengan pembakaran pada suhu 538° C, disebut sebagai volatile solid. Atau Potensi produksi biogas atau disebut juga persentase volatile solid untuk beberapa bahan organik yang berbeda seperti diperlihatkan pada tabel di bawah ini. (*Craig, F., et al.2005*)

Tabel 2. 4. Kandungan Bahan Kering dan Potensi Biogas yang dihasilkan Setiap Jenis Kotoran

Jenis	Banyak Tinja (Kg/hari)	Kandungan Bahan kering- BK (%)	Biogas yang dihasilkan (m ³ /kg.BK)
Gajah	30	18	0,018-0,025
Sapi/Kerbau	25-30	20	0,023-0,040
Kambing/Domba	1,48	26	0,040-0,059
Ayam	0,18	28	0,065-0,116
Itik	0,34	38	0,065-0,116
Babi	7	9	0,040-0,059
Manusia	0,25-0,4	23	0,020-0,028

Sumber : Balai Besar pengembangan mekanisme pertanian, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian, 2008

2.4.8. Pengadukan Bahan Organik

Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam digester anaerob 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. (*Craig, F., et al.2005*)

2.4.9. Pengaturan Tekanan

Semakin tinggi tekanan di dalam digester, semakin rendah produksi biogas di dalam digester terutama pada proses hidrolisis dan acydifikasi. Selalu pertahankan tekanan diantara 1,15-1,2 bar di dalam digester. (Craig, F., et al.2005)

2.4.10. Penjernihan Biogas

Kandungan gas atau zat lain dalam biogas seperti air, karbon dioksida, asam sulfat H₂S, merupakan polutan yang mengurangi kadar panas pembakaran biogas bahkan dapat menyebabkan karat yang merusak mesin. Banyak cara pemurnian biogas diantaranya *Physical Absorption* (pemasangan water trap di pipa biogas), chemical absorption, pemisah membrane permiabel, hingga penyemprotan air atau oksigen untuk mengikat senyawa sulfur atau karbon dioksida. Bila biogas digunakan untuk bahan bakar kendaraan atau bahan bakar pembangkit listrik, gas H₂S yang berpotensi menyebabkan karat pada komponen mesin harus dibuang melalui peralatan penyaring/ filter sulfur. (Craig, F., et al.2005)

2.5. Persamaan – Persamaan Pembentukan Biogas

Berikut beberapa persamaan yang menentukan proses pembentukan biogas dari fermentasi limbah organik pada digester anaerob.

2.5.1. Persamaan lama waktu Penguraian

Produksi energi pada biogas sebanding dengan produksi gas metan. Biogas terdiri atas gas metana (CH₄) sekitar 55-80% yang diproduksi dari kotoran hewan yang mengandung energi 4800-6700 Kcal/m³, sedangkan gas metana murni mengandung energi 8900 Kcal/m³. Sistem produksi biogas mempunyai beberapa keuntungan

seperti mengurangi pengaruh gas rumah kaca, mengurangi polusi bau yang tidak sedap, sebagai pupuk dan produksi daya dan panas. (Wahyuni, 2009).

Secara teoritis merupakan waktu material organik berada di dalam tangki digester. Selama proses ini terjadi pertumbuhan bakteri anaerob pengurai, proses penguraian material organik, dan stabilisasi pembentukan biogas menuju kepada kondisi optimumnya. Secara keseluruhan, lama waktu penguraian (*Hydraulic Retention Time-HRT*) mencakup 70%-80% dari keseluruhan waktu proses pembentukan biogas bila siklus pembentukan biogas berjalan ideal yakni 1 kali proses pemasukan material organik langsung mendapatkan biogas sebagai proses akhirnya. HRT dapat dirumuskan menjadi persamaan berikut:

$$\text{HRT (days)} = \frac{\text{Volume Digester (m}^3\text{)}}{\text{Laju Penambahan Organik Harian (m}^3\text{/days)}} \quad \text{..... Rumus 2. 1.}$$

Jika material padatan kering (*Dry Matery-DM* atau disebut juga *Total Solid-TS*) berkisar 4-12 %, maka waktu penguraian optimum (*Optimum Retention Time*) berkisar 10-15 hari. Jika nilai DM lebih besar dari nilai persentasi material padatan kering di atas, berarti material organik memiliki konsentrasi lebih padat sehingga lama waktu penguraian menjadi spesifik, sehingga berlaku persamaan lama waktu penguraian spesifik (*specific retention time-SRT*) berikut :

$$\text{SRT} = \frac{\text{Masa Padatan Organik dalam Digester Anaerob (kg)}}{\text{Laju Pembuangan Padatan Sisa Digester (kg/days)}} \quad \text{..... Rumus 2. 2.}$$

Untuk bahan organik spesifik seperti di atas, laju penambahan limbah organik (*Specific Loading Rate-SLR*) dapat diketahui sebagai berikut:

$$\text{SLR} = \frac{\text{Bahan Organik yang di tambahkan (kg ODM/day)}}{\text{Volume Digester (m}^3\text{)}} \quad \text{..... Rumus 2. 3.}$$

Kedalaman tangki digester sangat mempengaruhi nilai SLR dan bila parameter lain dapat dijaga pada kondisi ideal, nilai optimum SLR didapat berkisar 3-6 kg ODM/m³-day. (Craig, F., et al.2005)

2.5.2. Persamaan produksi biogas spesifik

Produksi Biogas Spesifik (*Specific Biogas Production*- SBP) merupakan nilai indikator efisiensi digester. Kondisi minimal 1,5 dan target ideal bernilai 2,5.

$$\text{SBP (day-1)} = \frac{\text{Biogas Production (m}^3\text{/day)}}{\text{Digester Volume (m}^3\text{)}} \quad \text{..... Rumus 2. 4.}$$

2.5.3. Persamaan produksi gas metan spesifik

Produksi Metan Spesifik (*Specific Methane Production*-SMP), berhubungan dengan jumlah energi yang diproduksi terhadap potensi energi yang dimiliki limbah organik (feedstock). Untuk limbah organik dari tumbuhan/biji- bijian bernilai energi antara 0.3 – 0.4 (%) dan untuk beberapa jenis kotoran hewan dapat bernilai sampai 0.8%. (Craig, F., et al.2005)

$$\text{SMP (m}^3\text{ CH}_4\text{ /kg ODM)} = \frac{\text{Volume gas CH}_4\text{ (m}^3\text{/day)}}{\text{Laju penambahan bahan organik (kg ODM/day)}} \quad \text{..... Rumus 2. 5.}$$

2.6. Konversi Energi Biogas dan Pemanfaatannya

Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar dan sebagai sumber energi alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga listrik serta menghasilkan energi panas. Pembakaran 1 kaki kubik (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), 1,50 Kg kayu bakar, 0,79 L bioethanol. (Craig, F., et al.2005)

2.6.1. Konversi energi biogas untuk ketenagalistrikan

Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan *gas turbine*, *microturbines* dan *Otto Cycle Engine*. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban dan ketersediaan dana yang ada. (Craig, F., et al.2005)

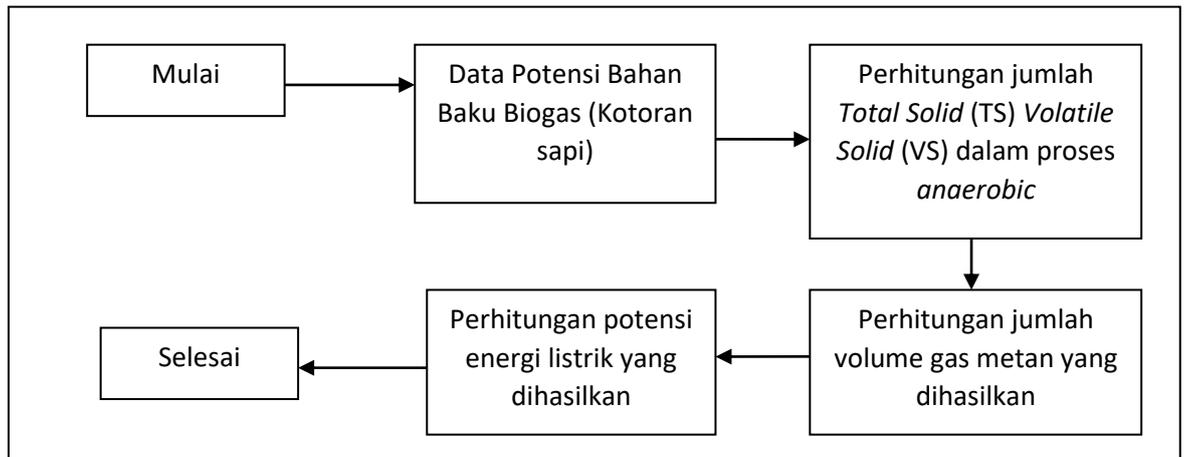
Dalam Buku *Renewable Energy Conversion, Transmsision and Storage* karya Bent Sorensen, bahwa 1 Kg gas methane setara dengan 6,13 x 10⁷ J, sedangkan 1 kWh setara dengan 3,6 x 10⁷ Joule. Untuk massa jenis gas metan 0,656 kg/m³ Sehingga 1 m³ gas metane menghasilkan energi listrik sebesar 11,17 kWh.

Tabel 2. 5. Konversi energi gas metan menjadi energi listrik

Jenis Energi	Setara Energi	Referensi
1 kg gas metan	6,13 x 10 ⁷ J	<i>Renewable energy Conversion, Transmsision and Storage</i> , Bent Sorensen
1 kWh	3,6 x 10 ⁶ J	
1 m ³ gas metan massa jenis gas metan adalah 0,656 kg/m ³	4,0213 x 10 ⁷ J	
1 m ³ gas metan	11,17 kWh	

Sumber : *Renewable energy Conversion, Transmsision and Storage*, Bent Sorensen.

Diagram alur Penentuan Kapasitas Biogas (Produksi Gas Metan) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLT Biogas) dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5. Diagram alur penentuan kapasitas biogas dan PLT Biogas

Langkah-langkah Kapasitas Biogas dan PLT Biogas, yaitu:

1. Penentuan data potensi Bahan Baku Biogas (Kotoran sapi) (Ps), dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data pemanfaatan potensi Kotoran ternak sapi di KTBU (Ton/hari atau Kg/hari).
2. Perhitungan jumlah dari *total solid* (TS) *volatile solid* (VS) dalam proses *anaerobic digestion*.

$$TS = 3,095\% (4) \times Ps \text{ Kg} \dots \dots \dots \text{ Rumus 2. 6.}$$

$$VS = 85\% (4) \times TS \text{ Kg} \dots \dots \dots \text{ Rumus 2. 7.}$$

Ps = Data Potensi Bahan baku biogas (Kg/hari) TS = total solid (Kg/hari)

VS = volatile solid (Kg/hari).

3. Perhitungan jumlah volume gas metan

$$Vgm = 0,417 \times VS \text{ m}^3 \dots \dots \dots \text{ Rumus 2. 8.}$$

Vgm = Jumlah volume gas metan (m³)

Vs = Volatile Solid (kg/day)

4. Perhitungan Potensi Energi Listrik

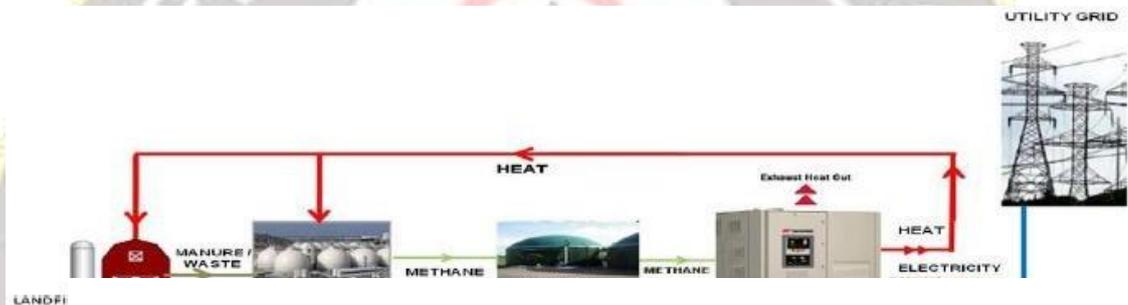
$$E = Vgm \times FK \text{ kWh} \dots \dots \dots \text{ Rumus 2. 9.}$$

E = Produksi Energi Listrik (kWh)

$V_{gm} = \text{Jumlah volume gas Metan (m}^3\text{)}$ $FK = \text{Faktor Konversi (kWh/ m}^3\text{)}$

2.6.2. Komponen Utama PLT Biogas

Sistem PLT Biogas secara lengkap terdiri dari digester *anaerob*, *feedstock*, *biogas conditioning* (untuk memurnikan kandungan metan dalam biogas), *Engine- Generator (microturbines)*, *Heat Recovery Use, Exhaust Heat Recovery* dan *Engine Heat Recovery*. Berikut ini gambar sistem penyaluran energi listrik dan panas PLT Biogas. (Craig, F., et al.2005)



Gambar 2. 6. Sistem Penyaluran Tenaga Listrik dari PLT Biogas (Craig, F.,2005)

a. *Feedstock*, b. *Digester*, c. *Biogas Tank*,
d. *Engine-Generator (Microturbines)*

❖ Sumber Pasokan Limbah Organik (*Feedstock*)

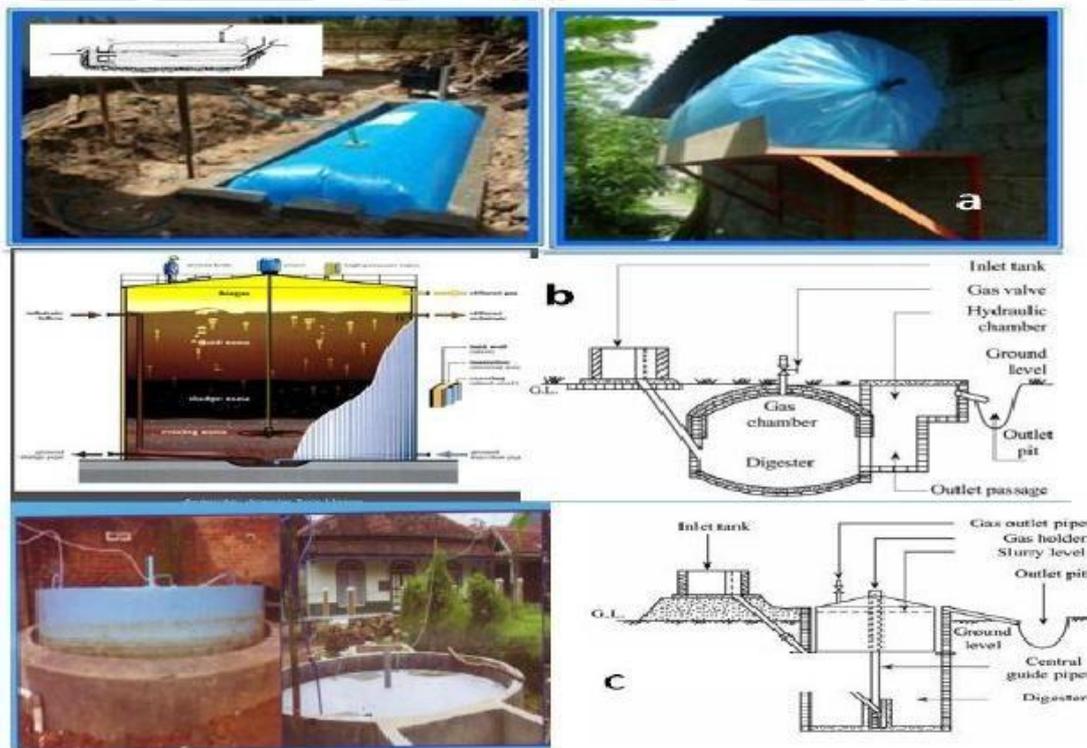
Sumber pasokan limbah organik adalah tempat asal bahan organik seperti peternakan, tempat sampah atau tempat proses akhir dari proses pengolahan bahan hasil pertanian. Didalam feedstock terdapat juga tangki pemasukan bahan organik (*inlet feed substrate/feedstock*) merupakan wadah penampungan yang terhubung ke digester melalui saluran dengan kemiringan tertentu. (Craig, F., et al.2005)

Di dalam feedstock juga bisa terdapat proses pengecilan dimensi limbah organik dengan peralatan crusher (pencacah), proses pencampuran

(*mixing*) dan pengenceran untuk mempermudah penyaluran ke tangki digester. (Craig, F., et al.2005)

❖ Tangki Pencernaan (*Digester*)

Digester merupakan tempat reaksi fermentasi anaerob limbah organic menjadi biogas terjadi. Berdasarkan bentuk tangki digesternya, secara umum dikenal 3 (tiga) tipe utama reaktor biogas yakni tipe balon (*balloon type*), tipe kubah tetap (*fixed - dome type*) dan tipe kubah penutup mengambang (*floatingdrum type*), seperti gambar di bawah ini:



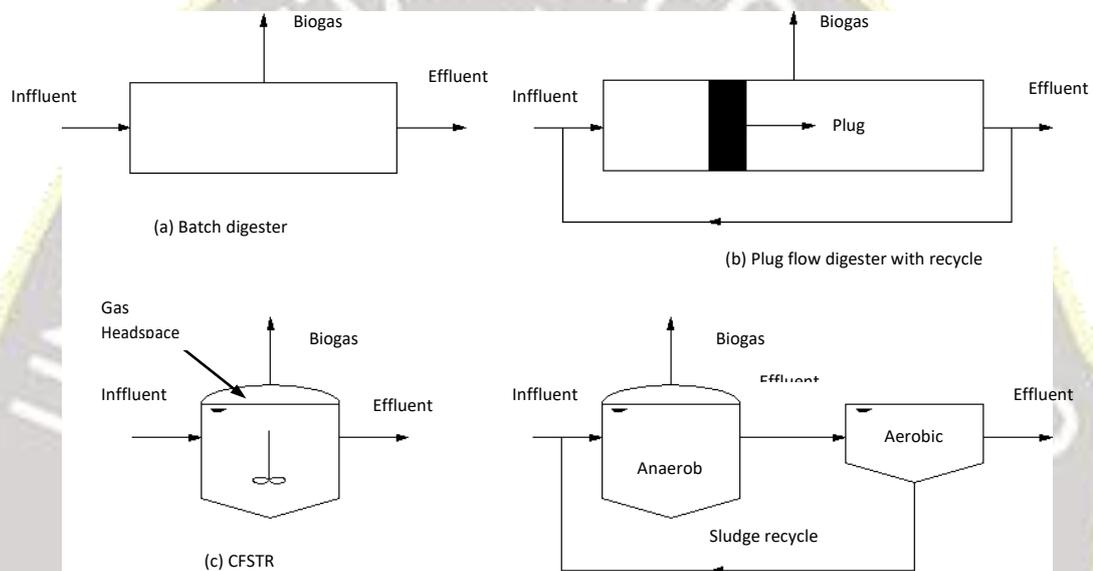
Gambar 2. 7. Reaktor Biogas Berdasarkan Bentuk Tangki Digester (Craig, F.,2005)

(a) *balloon plant*, (b) *fixed-dome plant*, (c) *floating-drum plant*.

Berdasarkan proses pengolahan limbah organik dikenal beberapa tipe digester seperti *Batch Digester*, *Plug Flow Digester* dengan proses daur

ulang, Digester pengadukan penuh (CFSTR), dan digester Anaerob dengan pengadukan berkala (CSTR), seperti ditunjukkan gambar 2.8.

Proses pengolahan limbah organik dengan digester tipe batch dilakukan sekali proses yakni pemasukan limbah organik, digestion dan penghasilan biogas dan *slurry* (lumpur) kompos yang kaya nutrisi bagi tanah. Digester tipe *plug flow* dapat melakukan proses digestion (pencernaan limbah organik) beberapa kali.



Gambar 2. 8. Reaktor Biogas Berdasarkan Proses Pengolahan

(a) *Batch Digester*, (b) *Plug Flow Digester*, (c) *Digester CFSTR*, (d) *Digester CSTR*. (Craig, F.,2005)

Sementara digester tipe CFSTR dan CSTR menggunakan pengadukan untuk mempercepat waktu cerna (HRT) dalam tangki digester anaerob. (Craig, F., et al.2005)

Dalam beberapa kondisi, pada digester anaerob dilengkapi dengan mesin pengaduk lumpur (*Slurry Mixture Machine*) sehingga konsentrasi material merata disetiap bagian digester. Dengan pengadukan potensi material mengendap di dasar digester semakin kecil, konsentrasi merata dan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob secara merata. (Craig, F., et al.2005)

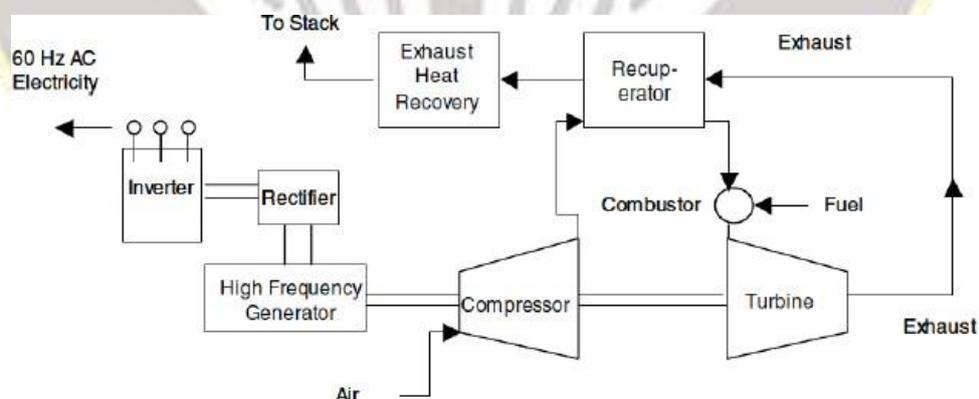
❖ Katub Penampung Gas (*Biogas Tank*)

Tangki penyimpanan biogas adalah tangki yang digunakan untuk menyimpan dan menyalurkan, seluruh biogas hasil produksi dari biogas digester. Tangki ini bisa terbuat dari plastik, sement atau baja stainless steel tahan karat yang dilapisi *epoxy* dan dilengkapi regulator pengukur tekanan gas. Untuk reaktor biogas skala kecil, penampung biogas (*Gas Holder*) berada di bagian atas digester biogas dan pada digester model *floating drum plant*, volume biogas yang dihasilkan mendorong tutup gas atas digester dan menjadi indikator tahap metanogenesis sudah terjadi. (Craig, F., et al.2005)

❖ Generator Pembangkit Tenaga Listrik (*Microturbines Generator*)

Microturbines adalah generator listrik kecil yang membakar gas atau bahan bakar cair untuk menciptakan rotasi kecepatan tinggi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Perkembangan teknologi microturbine dewasa ini adalah hasil dari pengembangan pembangkit stasioner skala kecil dan turbin gas otomotif peralatan utama pembangkit listrik dan *turbochargers*, yang sebagian besar dikembangkan pada sektor industri otomotif dan pembangkit tenaga listrik. (Craig, F., et al.2005)

Pemilihan teknologi pembangkit mikroturbin karena pembangkit ini sesuai dengan potensi sumber energi kecil yakni untuk daya keluaran berkisar 25 kW sampai dengan 400 kW.



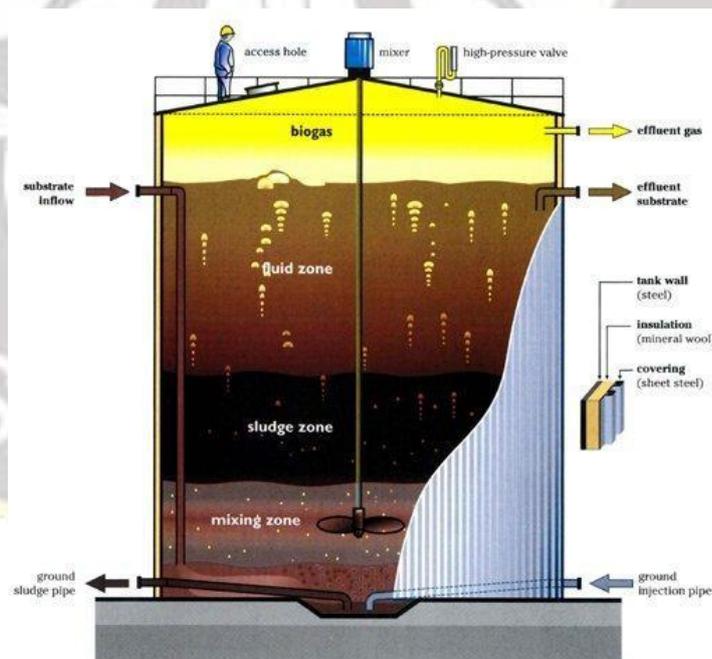
Gambar 2. 9. Microturbine dengan siklus Combain Heat Power- CHP

(Craig, F.,2005)

Siklus kombinasi daya dan panas merupakan proses pemanfaatan energy yang dihasilkan dari pembakaran biogas. Dalam siklus sebagaimana gambar di atas terlihat bahwa panas yang dihasilkan dari membakar biogas digunakan untuk memutar turbin dan turbin dikopel dengan generator untuk menghasilkan energy listrik yang dialirkan ke beban. Panas sisa yang dihasilkan setelah dimanfaatkan turbin digunakan kembali oleh *recuperator* dan *exhaust heat recovery* sebagai pemanas air.

2.7. 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 20-35 hari. (Wenner, K., 1999)



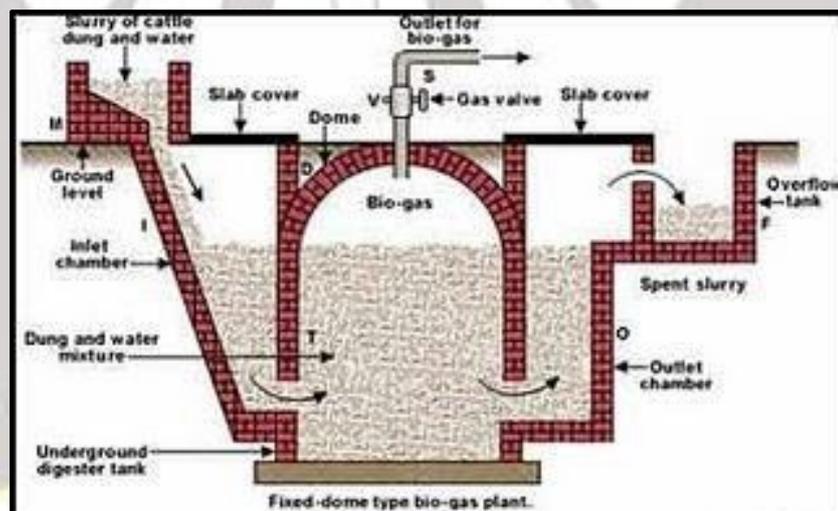
Gambar 2. 10. Digester Biogas (Wenner, K., 1999)

2.7.1. Jenis-jenis Digester Biogas

Terdapat beberapa jenis digester yang dapat dilihat berdasarkan konstruksi, jenis aliran, dan posisinya terhadap permukaan tana. 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 :

a. *Fixed Dome* (kubah tetap)

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 2.11.



Gambar 2. 11. Tipe Digester Fixed Dome (Sulistyo, A.,2010)

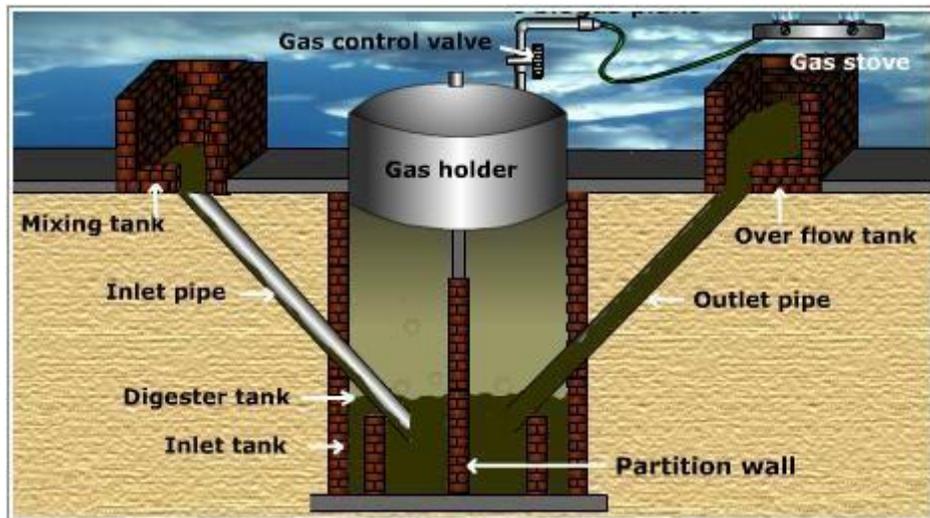
Digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti pada Tabel 2.6 sebagai berikut :

Kelebihan	Kekurangan
<ol style="list-style-type: none"> 1. Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah. 2. Biaya konstruksi rendah. 3. Tidak terdapat bagian yang bergerak. 4. Dapat dipilih dari material yang tahan karat. 5. Umurnya panjang. 6. Dapat dibuat didalam tanah sehingga menghemat tempat 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagian dalam digester tidak terlihat (khususnya yang dibuat di dalam tanah) sehingga kebocoran tidak terdeteksi. 2. Tekanan gas berfluktuasi dan bahkan fluktuasinya sangat tinggi. 3. Temperatur digester rendah.

Tabel 2. 6. Kelebihan dan Kekurangan Digester Tipe Fixed Dome (kubah tetap)

b. *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. Dengan model ini, kelemahan tekanan gas yang berfluktuasi pada reaktor biodigester jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan gas menjadi konstan. Kelemahannya adalah membutuhkan teknik khusus untuk membuat tampungan gas bergerak seiring naik atau turunnya produksi biogas. Kelemahan lainnya adalah material dari tampungan gas yang dapat bergerak harus dipilih yang mempunyai sifat tahan korosi, hal tersebut menyebabkan harganya relatif lebih mahal.



Gambar 2. 12. Digester Tipe Floating Dome (Wenner, K., 1999)

Berdasarkan aliran bahan baku untuk reaktor biogas, digester dibedakan menjadi:

a. Bak (*Batch*)

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

b. Mengalir (*continuous*).

Untuk digester jenis mengalir, aliran bahan baku dimasukkan dan residu dikeluarkan pada selang waktu tertentu. Lamanya bahan baku berada dalam reaktor digester disebut waktu retensi (*retention time/RT*).

Berdasarkan segi tata letak penempatan, digester dibedakan menjadi:

a. Seluruh digester diatas 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. Untuk

skala yang besar, digester jenis ini juga memerlukan luas lahan yang besar juga.

- b. Sebagian tangki biogas diletakkan dibawah 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.

- c. Seluruh tangki digester diletakkan dibawah permukaan tanah.

Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi digester dibuat di dalam tanah dengan konstruksi permanen. Selain dapat menghemat tempat lahan, pembuatan digester di dalam tanah juga berguna mempertahankan suhu digester stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri *methanogen*. Kekurangannya jika terjadi kebocoran gas dapat menyulitkan untuk memperbaikinya.

2.7.2. Komponen utama digester

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 *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 mengallirkan bahan baku dan menghindari endapan pada saluran masuk.

2. Ruang *digestion* (ruang fermentasi)

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

3. Saluran keluar residu (*sludge*)

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

4. Tangki penyimpanan biogas

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

2.7.3. Komponen Pendukung Digester

Selain empat komponen utama tersebut diatas, pada sebuah digester perlu ditambahkan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas dalam jumlah banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung adalah:

1. Katup pengaman tekanan (*control valve*)

Fungsi dari katup pengaman adalah sebagai pengaman digester dari lonjakan tekanan biogas yang berlebihan. Bila tekanan dalam tabung penampung biogas lebih tinggi dari tekanan yang diijinkan, maka biogas akan dibuang keluar. Selanjutnya tekanan dalam digester akan turun kembali. Katup pengaman tekanan cukup penting dalam reaktor biogas yang besar dan sistem kontinu, karena umumnya digester

dibuat dari material yang tidak tahan tekanan yang tinggi supaya biaya konstruksi digester tidak mahal. Semakin tinggi tekanan di dalam digester, semakin rendah produksi biogas di dalam digester terutama pada proses *hidrolisis* dan *acydifikasi*. Selalu pertahankan tekanan diantara 1,15-1,2 bar di dalam digester.

2. Sistem pengaduk

Pada digester yang besar sistem pengaduk menjadi sangat penting. Tujuan dari pengadukan adalah untuk menjaga material padat tidak mengendap pada dasar digester. Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam digester 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 :

- a. Pengadukan mekanis, yaitu dengan menggunakan poros yang dibawahnya terdapat semacam baling-baling dan digerakkan dengan motor listrik secara berkala.
- b. 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.

3. Saluran biogas

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

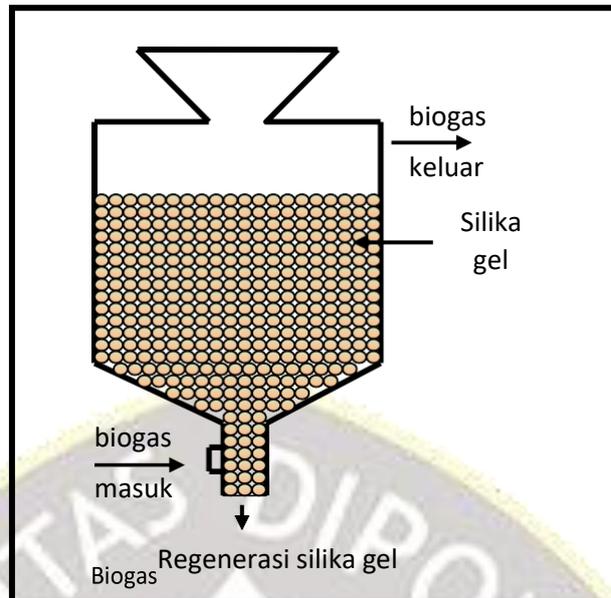
2.7.4. Teknik pencucian biogas

Biogas mengandung unsur-unsur yang tidak bermanfaat untuk pembakaran khususnya H_2O dan H_2S . Pada saat biogas dimanfaatkan untuk bahan bakar kompor gas rumah tangga, maka kedua unsur tersebut secara praktis tidak perlu dibersihkan. Hal ini disebabkan karena kompor hanya kontak dengan biogas pada saat dipakai saja. Alasan lain adalah proses pencucian merupakan kegiatan yang membutuhkan biaya.

Tetapi jika biogas digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik, maka proses pencucian menjadi sangat penting. Pencucian terhadap H_2O dan H_2S dapat memperpanjang umur dari komponen mesin pembangkit. Metode pencucian biogas terhadap H_2O dan H_2S adalah sebagai berikut:

1. Pencucian biogas dari unsur H_2O

Tujuan dari pencucian H_2O adalah karena kondensat yang terbentuk dapat terakumulasi dalam saluran gas dan dapat juga membentuk larutan asam yang korosif ketika H_2S larut dalam air (*Wellinger, 2001*). Pengurangan kadar H_2O yang sederhana dilakukan dengan cara melewatkan biogas pada suatu kolom yang terdiri dari silika gel atau karbon aktif. H_2O selanjutnya dapat diserap oleh silika gel atau karbon aktif.

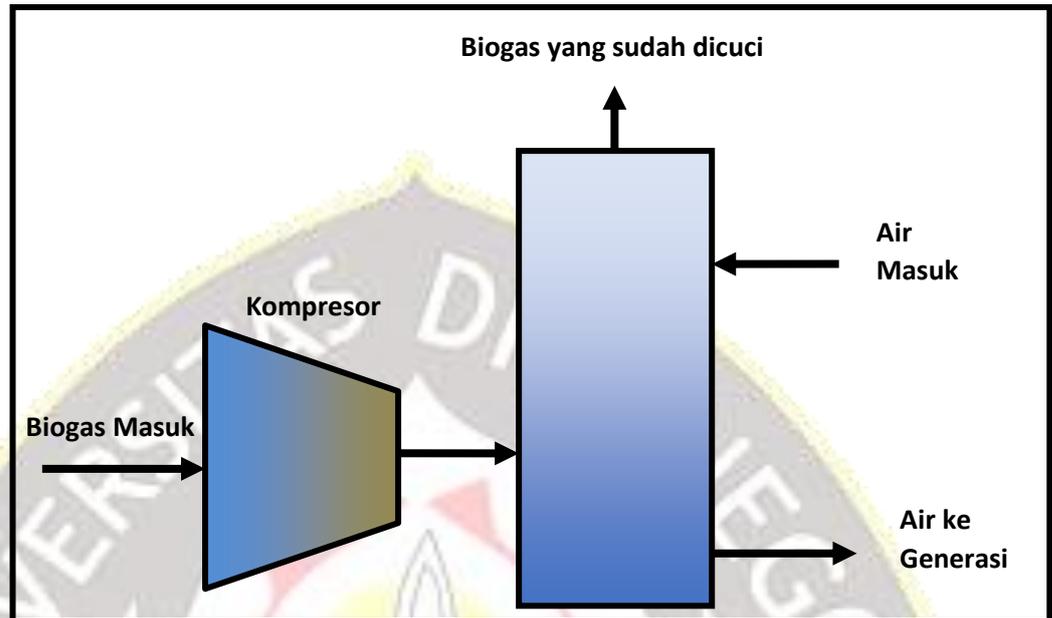


Gambar 2. 13. Teknik Pencucian Biogas dari H₂O dengan Silika Gel
(D., Waskito, 2011)

2. Pencucian biogas dari unsur H₂S

Secara umum, pencucian (pengurangan) H₂S dari biogas dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologi (Zicari, 2003). Pemurnian secara fisika misalnya penyerapan dengan air, pemisahan dengan menggunakan membran atau absorpsi dengan absorben misalnya dengan menggunakan karbon aktif. Metode fisika ini relatif mahal karena absorben sulit diregenarasi dan efektifitas pengurangan H₂S yang rendah. H₂S yang dipisahkan larutan. Tujuan dari pencucian biogas terhadap H₂S pada dasarnya adalah (Wellinger, 2001):

- a. Mencegah korosi
- b. Menghindari keracunan H₂S (maksimum yang diperbolehkan ditempat kerja adalah 5 ppm).
- c. Mencegah kandungan sulfur dalam biogas, yang jika terbakar menjadi SO₂ atau SO₃ yang lebih beracun dari H₂S.
- d. Mengurangi SO₂ yang terbawa oleh gas buang biogas menyebabkan turunnya titik embun gas dalam cerobong.
- e. Meminimalisasi terbentuknya H₂SO₃ yang bersifat sangat korosif.



Gambar 2. 14. Teknik Pencucian Biogas dari H₂S dengan Scrubber Air (Zicari, 2003)

Pemurnian H₂S dengan scrubber air dapat juga digunakan untuk mengurangi konsentrasi CO₂ dalam biogas (Gambar 2.14.). Metode pemurnian H₂S dengan Scrubber air dapat terjadi karena H₂S mempunyai kelarutan yang tinggi dalam air dibandingkan kelarutan CO₂. Air yang mengandung H₂S dan CO₂ kemudian dapat diregenerasi dan dialirkan kembali ke dalam kolom Scrubber. Regenerasi dapat dilakukan dengan de-pressurizing atau dengan melepaskan udara dalam kolom yang sama. Namun demikian, pelepasan udara tidak direkomendasikan ketika kandungan H₂S cukup tinggi karena air akan dengan cepat terkontaminasi H₂S (Wellinger, 2001). Pelepasan udara yang berlebihan juga berbahaya. Biogas yang bercampur dengan udara dapat meledak jika konsentrasinya mencapai 6- 12% (tergantung dari kandungan CH₄ dalam biogas).

Pemurnian dengan cara biologi yaitu dengan menggunakan bakteri yang mampu menguraikan H₂S menjadi sulfat. Kebanyakan mikroorganisme yang digunakan untuk menguraikan H₂S adalah dari keluarga thiobacillus. Metode biologi ini efektif untuk mengurangi kandungan H₂S dalam biogas, tetapi metode ini selain sulit dalam

pengoperasian juga sangat mahal. Metode ini juga dapat menambah jumlah oksigen dalam biogas.

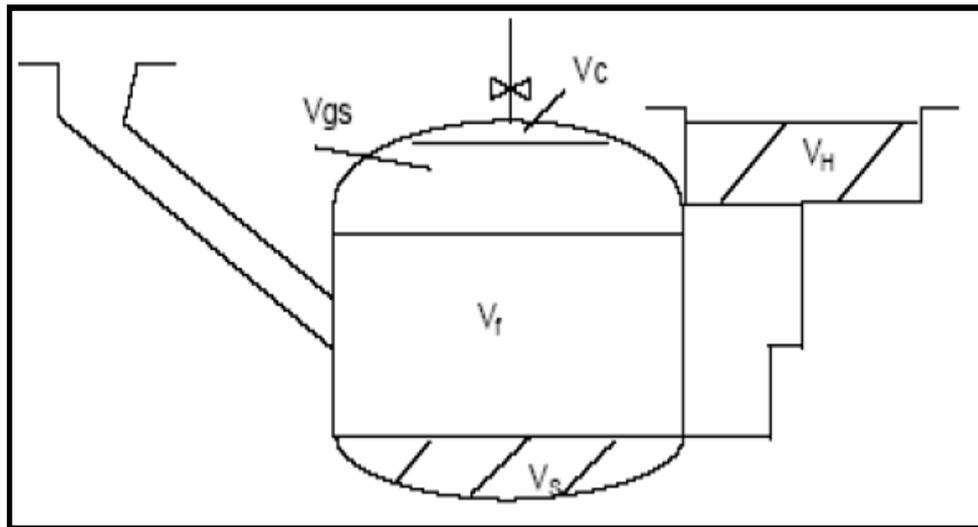
Pemurnian biogas dari kandungan H₂S yang sering dilakukan adalah diserap secara kimiawi. Pada metode ini H₂S bereaksi dengan larutan *absorben*. Selanjutnya absorben yang kaya H₂S diregenerasi untuk kembali melepas H₂S-nya dalam bentuk gas atau sulfur padat (Kohl, 1985). *Absorben* yang digunakan pada umumnya adalah larutan nitrit, larutan garam alkali, slurry besi oksida atau seng oksida dan *iron chelated solution* (Zicari, 2003; Wellinger, 2001).

2.7.5. Perancangan Ukuran Digester

Ukuran tangki digester biogas tergantung dari jumlah, kualitas dan jenis limbah organik yang tersedia dan temperatur saat proses fermentasi anaerobik. Jumlah bahan baku biogas yang dimasukkan dalam digester terdiri dari kotoran sapi dan air, sehingga pemasukan bahan baku sangat tergantung dengan seberapa banyak air yang dimasukkan kedalam digester. Pencampuran bahan organik untuk kotoran hewan dengan air dibuat perbandingan antara 1:3 dan 2:1. Sebelum dimasukkan kedalam digester, kotoran kambing/domba dalam keadaan segar, dicampur dengan air dengan perbandingan 1:1 berdasarkan unit volume (air dan kotoran sapi dalam volume yang sama). Namun, jika kotoran sapi dalam bentuk kering, jumlah air harus ditambah sampai kekentalan yang diinginkan (bervariasi antara 1:1,25 sampai 1:2). (Widodo and Hendriadi, 2005).

Jumlah bahan baku Q = jumlah kotoran sapi + air.....Rumus 2. 10.

Di bawah ini gambar bentuk penampang silender digester anaerob (*Cylindrical Shaped Bio-Gas Digester Body*) dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 2. 15. Penampang Digester Silinder (Klaus V.M., 1998)

Keterangan:

V_c – Volume Ruangan penampungan gas (*gas collecting chamber*)

V_{gs} – Volume Ruangan Penyimpanan Gas (*gas storage chamber*)

V_f – Volume Ruangan Fermentasi (*fermentation chamber*)

V_H – Volume Ruangan Hidrolik (*hydraulic chamber*)

V_s – Volume lapisan penampungan lumpur (*sludge layer*)

Total volume digester $V = V_c + V_{gs} + V_f + V_s$ Rumus 2. 11.

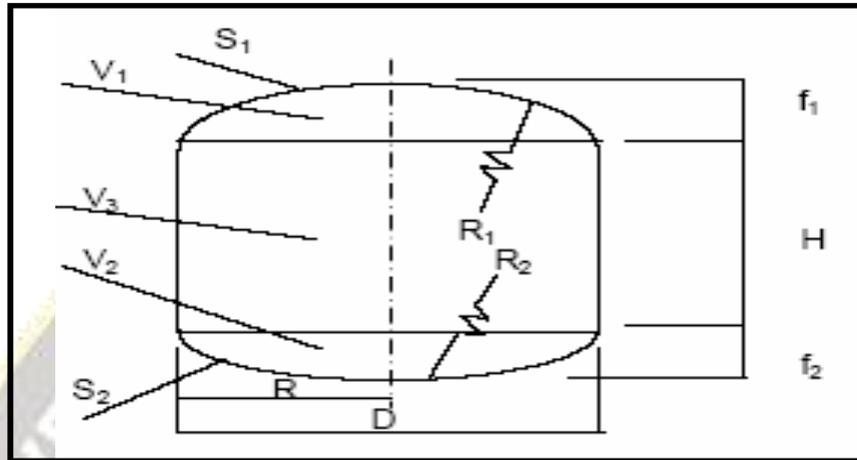
Berdasarkan jumlah volume bahan baku (Q), maka dapat ditentukan volume kerja digester (*working volume digester*) yang merupakan penjumlahan volume ruangan penyimpanan (V_{gs}) dan volume ruangan fermentasi (V_s).

Volume kerja digester = $V_{gs} + V_f$

dimana:

$V_{gs} + V_f = Q \times HRT$ (*waktu digestifikasi*)..... Rumus 2. 12.

Untuk mendisain tangki digester biogas, dapat dilihat pada gambar dimensi geometrikan tangki digester di bawah ini:



Gambar 2. 16. Dimensi Geometrikan Tanki Digester (Klaus V.M., 1998)

Berdasarkan gambar dimensi geometrikan tangki digester diatas berlaku ketentuan bentuk geometrikan ruangan-ruangan digester sebagai berikut :

Tabel 2. 7. Dimensi Geometrikan Ukuran Tangki Digester Silinder (Klaus V.M., 1998)

ISI	DIMENSI GEOMATRIKAL
$V_c \leq 5\%V$ $V_s \leq 15\%V$ $V_{gs} + V_f = 80\% V$ $V_{gs} = 0.5 (V_{gs} + V_f + V_s) K$	$D = 1,3078 X V^{1/3}$ $V_1 = 0,0827 D^3$ $V_2 = 0,05011 D^3$ $V_3 = 0,3142$ $D^3 R_1 = 0,725 D$ $R_2 = 1,0625 D$
Dimana K = laju produksi gas tiap m^3 per hari	$f_1 = D/5$ $f_2 = D/8$ $S_1 = 0,911 D^2$ $S_2 = 0,8345 D^2$