

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Pengertian Biogas

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri Anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan Biogas, namun demikian hanya bahan organik (padat, cair) homogen seperti kotoran dan *urine* (air kencing) hewan ternak yang cocok untuk sistem Biogas sederhana.

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik. Pada umumnya biogas terdiri atas gas metana (CH_4) 50 - 70%, gas karbon dioksida (CO_2) 30-40%, hidrogen (H_2) 5-10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit.

Biogas kira-kira memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan udara. Biogas memiliki suhu pembakaran antara $650-750^{\circ}\text{C}$. Biogas tidak berbau dan berwarna. Apabila dibakar, akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Nilai kalor gas metana adalah 20 MJ/m^3 dengan efisiensi pembakaran 60% pada konvensional kompor biogas. Gas metana (CH_4) termasuk gas yang menimbulkan efek

global. Hal ini karena gas metana memiliki dampak 21 kali lebih tinggi dibandingkan gas karbondioksida (CO₂). Pengurangan gas metana secara lokal dapat berperan positif dalam upaya mengatasi masalah global, terutama efek rumah kaca yang berakibat pada perubahan iklim global. (sri wahyuni, mp. 2010)

Tabel 2.1 Komposisi Jenis Gas dan Jumlahnya Pada Satu Unit Biogas

JENIS GAS	KANDUNGAN (%)
Metana	60 – 70
Karbon dioksida	30 – 40
Nitrogen	3
Hidrogen	30 – 40
Oksigen	3
Hidrogen Sulfida	5

(Meynell, 1976)

Seperti terlihat pada Tabel 2.1 komposisi biogas berkisar antara 60 – 70% metana dan 30 – 40% karbon dioksida. Biogas mengandung gas lain seperti karbon monoksida, hidrogen, nitrogen, oksigen hidrogen sulfida, kandungan gas tergantung dari bahan yang masuk ke dalam biodigester. Nitrogen dan oksigen bukan merupakan hasil dari digester, ini mengindikasikan adanya kelemahan dari sistem sehingga udara dapat masuk ke dalam digester. Hidrogen merupakan hasil dari tahap pembentukan asam, pembentukan hidrogen sulfida oleh bakteri sulfat disebabkan oleh konsentrasi ikatan sulfur. Walaupun hanya

Tabel 2.2 Biogas Dibandingkan Dengan Bahan Bakar Lain

KETERANGAN	BAHAN BAKAR LAIN
1 M ³ Biogas	Elpiji 0,46 kg
	Minyak tanah 0,62 liter
	Minyak solar 0,52 liter
	Bensin 0,80 liter
	Gas kota 1.5 m ³
	Kayu bakar 3,50 kg

(sri wahyuni, mp. 2010)

2.1.2 Proses Pembentukan Biogas

Secara garis besar proses pembentukan Biogas (Gas Bio) dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan dibagi dalam tiga tahap yaitu : Hidrolisis, Asidifikasi (Pengasaman) dan pembentukan gas metana (metagenesis).

A. Tahap Hidrolisis

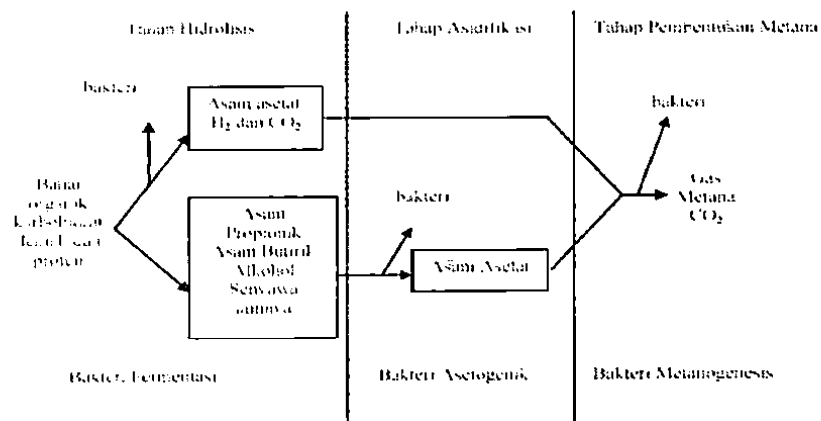
Pada tahap hidrolisis, bahan organik *dienzimatik* secara eksternal oleh enzim ekstraselular (*selulose, amilase, protease dan lipase*) mikroorganisme. Bakteri memutuskan rantai panjang karbohidrat kompleks, protein dan lipida menjadi senyawa rantai pendek. Sebagai contoh polisakarida diubah menjadi monosakarida sedangkan protein diubah menjadi peptida dan asam amino.

B. Tahap Asidifikasi (Pengasaman)

Pada tahap ini bakteri menghasilkan asam, mengubah senyawa rantai pendek hasil proses pada tahap hidrolisis menjadi asam

... .. polisakarida. Bakteri tersebut

merupakan bakteri anaerobik yang dapat tumbuh dan berkembang pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan. Pembentukan asam pada kondisi anaerobik tersebut penting untuk pembentuk gas metana oleh mikroorganisme pada proses selanjutnya. Selain itu bakteri tersebut juga mengubah senyawa yang bermolekul rendah menjadi alkohol, asam organik, asam amino, karbondioksida, H_2S , dan sedikit gas metana.



Gambar 2.1. Proses pembentukan biogas (Suyitno, dkk. 2010).

C. Metagenesis (Tahap Pembentukan Gas Metana)

Pada tahap ini bakteri metanogenik mendekomposisikan senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan hidrogen, CO_2 dan asam asetat untuk membentuk metana dan CO_2 . Bakteri penghasil asam dan gas metana

... .. Bakteri penghasil asam

membentuk keadaan atmosfer yang ideal untuk bakteri penghasil metana. Sedangkan bakteri pembentuk gas metana menggunakan asam yang dihasilkan bakteri penghasil asam. Tanpa adanya proses simbiotik tersebut, akan menciptakan kondisi *toksik* bagi mikroorganisme penghasil asam.

2.1.3 Bahan Penghasil Biogas

Semua bahan organik yang terdapat dalam tanaman, karbohidrat dan selulosa adalah salah satu bahan yang disukai sebagai bahan untuk dicerna. Selulosa secara normal mudah dicerna oleh bakteri, tetapi selulosa dari beberapa tanaman sedikit sulit didegradasikan bila dikombinasikan dengan *lignin*. Lignin adalah molekul kompleks yang memiliki bentuk *rigid* dan struktur berkayu dari tanaman, dan bakteri hampir tidak dapat mencernanya. Jerami mengandung lignin dan dapat menjadi masalah karena akan mengapung dan membentuk lapisan keras (Suyitno, dkk. 2010).

Sebagian besar sampah organik alami dapat diproses menjadi biogas kecuali lignin. Digester anaerobik dapat menggunakan bahan organik dalam jumlah yang besar sebagai bahan masukan, seperti kotoran manusia, sisa-sisa tanaman, sisa proses makanan dan sampah lainnya atau dapat mencampurkan dari satu atau lebih sampah tersebut (Suyitno, dkk. 2010).

Kotoran hewan lebih sering dipilih sebagai bahan pembuat

Bahan ini memiliki keseimbangan nutrisi, mudah diencerkan dan relatif dapat diproses secara biologi. Kisaran pemrosesan secara biologi antara 28 – 70% dari bahan organik tergantung dari pakannya. Sebagai contoh persentase *silase* dari tanaman jagung yang ditingkatkan sebagai pakan, mengurangi kemampuan biodegradasi, karena *silase* mengandung persentase *lignoselulosa* yang tinggi. Selain itu kotoran segar lebih mudah diproses dibandingkan dengan kotoran yang lama dan atau telah dikeringkan, disebabkan karena hilangnya *substrat volatil solid* selama waktu pengeringan.

Kotoran sapi merupakan substrat yang dianggap paling cocok sebagai sumber pembuat biogas, karena substrat tersebut telah mengandung bakteri penghasil gas metan yang terdapat dalam perut hewan ruminansia (Meynell, 1976). Keberadaan bakteri di dalam usus besar ruminansia tersebut membantu proses fermentasi, sehingga proses pembentukan biogas pada tanki pencernaan dapat dilakukan lebih cepat. Walaupun demikian, bila kotoran tersebut akan langsung diproses di dalam tangki pencernaan, perlu dilakukan pembersihan terlebih dahulu. Kotoran tersebut harus bersih dari jerami dan bahan asing lainnya untuk mencegah terbentuknya buih.

Kotoran manusia walaupun memiliki nitrogen yang tinggi (C/N= 6) dapat dicerna dengan mudah, tetapi sampah karbohidrat harus ditambahkan untuk menaikkan nilai C/N ratio dan untuk

gandum dan jerami padi dapat digunakan walaupun memiliki C/N ratio yang tinggi, dengan cara dicampur dengan kotoran hewan dan manusia. Bahan ini biasanya dengan mudah diproses dan dapat lebih cepat diproses apabila ukurannya diperkecil secara fisik, dengan cara pemotongan dan dengan pengomposan terlebih dahulu. Walaupun demikian, masalah dapat muncul akibat dari bahan mengapung di dalam digester dan membentuk lapisan keras di permukaan, sehingga mengganggu produksi gas.

Bahan yang dimasukkan ke dalam digester sebaiknya berbentuk cream. Pada kondisi tersebut padatan anorganik seperti pasir akan terpisah karena gravitasi, ini memungkinkan bahan tersebut dipisahkan sebelum dimasukkan ke dalam digester.

Tabel 2.3 Produksi Beberapa Jenis Limbah Kotoran

Jenis Ternak	Bobot ternak/ekor	Produktifitas kotoran (kg/hari)	% bahan kering
Sapi potong	520	29	12
Sapi perah	640	50	14
Ayam petelur	2	0.1	26
Ayam pedaging	1	0.06	25
Babi dewasa	90	7	9
Domba	40	2	29

(Sri Wahyuni, MP. 2009)

Pada Tabel 2.3 dapat dilihat produksi kotoran dari beberapa jenis hewan ternak. Walaupun tidak sepenuhnya tepat, dengan tabel ini dan perbandingan pengenceran dengan air (1 : 1) maka kita dapat

Tabel 2.4 Batasan konsentrasi beberapa zat yang diijinkan terdapat dalam biodigester

Zat	Konsentrasi (mg/l)
Tembaga	10 – 250
Kalsium	8000
Sodium	8000
Magnesium	3000
Nikel	100 – 1000
Seng	350 – 1000
Chromium	200 – 2000
Sulfur	200
Cyanide	2

(Suyitno, Dkk, 2010)

C. Lama Proses

Lama proses dalam digester adalah rata-rata periode waktu saat input masih berada dalam digester dan proses fermentasi oleh bakteri metanogen. Dalam jaringan dari digester dengan kotoran sapi, waktu tinggal dihitung dengan pembagian volume total dari digester oleh volume input yang ditambah setiap hari. Waktu tinggal juga tergantung pada suhu. Di atas suhu 35⁰ C atau suhu lebih tinggi, lama proses semakin singkat.

D. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8 - 7,8. Pada tahap awal fermentasi bahan organik akan terbentuk asam (asam organik) yang akan menurunkan pH. Mencegah terjadinya penurunan pH dapat

E. Imbangan C/N

Imbangan karbon (C) dan nitrogen (N) yang terkandung dalam bahan organik sangat menentukan kehidupan dan aktivitas mikroorganisme. Imbangan C/N yang optimum bagi mikroorganisme perombak adalah 25-30. Kotoran (feses dan urine) sapi perah mempunyai kandungan C/N sebesar 18. Karena itu, perlu ditambahkan dengan limbah pertanian lain yang mempunyai imbangan C/N yang tinggi (lebih dari 30).

Tabel 2.5 C/N Rasio Beberapa Material

Bahan	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
Air <i>hyacinth</i>	25
Kotoran gajah	43
Jerami (jagung)	60
Jerami (padi)	70
Jerami (gandum)	90
Tahi gergajian	di atas 200
Alpukat	30
Anggur	17
Mangga	44
Apel	55
Jeruk	21
Nanas	50

(Sumber : karki and dixit, 1984)

F. Kandungan Padatan dan Pencampuran Substrat

Walaupun tidak ada informasi yang pasti, mobilitas

dihalangi oleh peningkatan kandungan padatan yang berakibat terhambatnya pembentukan biogas. Selain itu yang terpenting untuk proses fermentasi yang baik diperlukan pencampuran bahan yang baik akan menjamin proses fermentasi yang stabil di dalam pencerna.

Hal yang paling penting dalam pencampuran bahan adalah:

1. Menghilangkan unsur-unsur hasil metabolisme berupa gas (*metabolites*) yang dihasilkan oleh bakteri metanogen.
2. Mencampurkan bahan segar dengan populasi bakteri agar proses fermentasi merata.
3. Menyeragamkan temperatur di seluruh bagian pencerna.
4. Menyeragamkan kerapatan sebaran populasi bakteri.
5. Mencegah ruang kosong pada campuran bahan.

G. Faktor-Faktor Penghambat

Tabel 2.6 Batas yang diijinkan dari ion anorganik pada tangki pencerna

Ion Anorganik mg/L	Konsentrasi Optimum	Batas penghambat (sedang)	Batas Penghambat (kuat)
Sodium	100-200	3500-5500	8000
Potassium	200-400	2500 - 4500	1200
Kalsium	100-200	2500 - 4500	8000
Magnesium	75-150	1000 -15000	3000
Amonia	50 - 1000	15000	80000
Sulfida	0,-10	100	200
Khromium	Tak diketahui	2	3
Kobalt	20	Tak diketahui	Tak diketahui

Bakteri merupakan mikroorganisme yang penting pada pembentukan gas bio pada suatu sumber bahan. Oleh sebab itu jumlah dan perkembangan bakteri pada bahan merupakan syarat yang harus diperhatikan dalam pembuatan gas bio. Akan tetapi pada bahan sering dijumpai keberadaan suatu unsur yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Diantaranya adalah logam berat, antibiotic (*bacitracin, flavomycin, lasalocid, monesin, spiramicyn*) dan deterjen. Pada Tabel 2.4 disajikan daftar batas konsentrasi yang diijinkan untuk berbagai *inhibitor*. Amonia merupakan sumber makanan bagi bakteri, tetapi juga dapat menjadi penghambat apabila memiliki konsentrasi yang melebihi batas yang diijinkan. Untuk menanggulangi ini, bahan dapat diencerkan dengan air.

2.2 Pembuatan Biogas

Apapun tipe biodigester yang dipilih, pemberian bahan untuk pertama kali perlu dilakukan dengan hati-hati. Menurut *Meynell (1976)* untuk memulai pembuatan biodigester terdapat dua metoda berbeda yang biasa dilaksanakan, metode tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pengisian Dengan Air

Metode ini dilakukan dengan memasukkan air sebanyak 80% dari total volume digester, kemudian memasukkan bahan yang akan diproses seperti biasa (bila perlu dapat dimasukkan bibit starter) pada

... ..

tercampur dengan air dan oksigen terlarut yang terkandung dengan segera digunakan dan pengenceran bahan mencukupi untuk mempertahankan keasaman bahan. Metode ini memiliki kelebihan menggantikan oksigen didalam digester dengan air sehingga resiko akan campuran yang mudah meledak dari metana dan udara yang terbentuk kecil sekali.

2. Pembibitan

Metode ini secara luas lebih disukai, biasanya digunakan untuk digester tipe batch dan untuk bahan yang tidak mengandung bakteri metana. Pembibitan dilakukan dengan cara mencampur kotoran dengan sludge/lumpur yang telah diproses secara anaerobic dengan perbandingan tertentu. Semakin banyak perbandingan lumpur yang mengandung bakteri anaerobik semakin cepat gas diproduksi. Prosedur yang digunakan untuk pembibitan adalah dengan menambahkan starter 50% dan bahan yang akan diproses 50%. Selanjutnya penambahan bahan tidak boleh lebih dari 50% dari total padatan di dalam digester. Hal ini untuk menghindari bakteri methana kelebihan beban sebelum mereka dapat tumbuh.

Ketika mengaktifkan digester untuk pertama kali, sumber bibit yang baik adalah dari sludge yang telah diproses. Digester yang telah berfungsi dengan baik tidak membutuhkan penambahan bibit, kecuali bila gagal perlu diulangi. Apabila bahan perlu diencerkan, bibit yang terbaik

1.1.1. Dengan menambahkan supernatant (larutan yang terkumpul di

bagian atas sludge) setelah padatan mengendap. Supernatan ini mengandung bakteri anaerobik yang cukup untuk berperan sebagai bibit.

Ketika memulai suatu digester, bagian pertama gas yang diproduksi harus selalu dibuang. Karena gas pertama itu mengandung udara yang berasal dari tangki, pipa dan tempat penyimpanan gas. Ketika gas dikeluarkan, akan mendorong udara keluar dan dapat menimbulkan ledakan. Bila tempat penyimpanan gas telah penuh dan telah beberapa kali dikosongkan, dapat dipastikan bahwa tidak ada udara lagi dan gas dapat dimanfaatkan.

2.3 Pemanfaatan Biogas

Biogas atau metana dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti halnya gas alam. Tujuan utama pembuatan gas bio adalah untuk mengisi kekurangan atau mensubstitusi sumber energi di daerah pedesaan sebagai bahan bakar keperluan rumah tangga, terutama untuk memasak dan lampu penerangan. Selain itu dapat digunakan untuk menjalankan generator untuk menghasilkan listrik dan menggerakkan motor bakar.

Biogas mengandung berbagai macam zat, baik yang terbakar maupun yang dapat dibakar. Zat yang tidak dapat dibakar merupakan kendala yang dapat mengurangi mutu pembakaran gas tersebut.

Seperti terlihat pada Tabel 2.5 walaupun kandungan kalornya relatif rendah dibanding dengan gas alam, butana dan propana, tetapi masih

sumber bahannya memiliki rantai karbon yang lebih pendek bila dibandingkan dengan minyak tanah, sehingga gas CO yang dihasilkan relatif lebih sedikit.

Tabel 2.5 Perbandingan nilai kalor biogas

Jenis gas	Nilai kalor (joule/cm ³)
Gas batubara	16.7-18.5
Gas bio	20-26
Gas metana	33.2-39.6
Gas alam	38.9-81.4
Gas propane	81.4-96.2
Gas butane	107.3-125.8

(Meynell, 1976)

Nilai kalori biogas tergantung pada komposisi metana dan karbondioksida, dan kandungan air di dalam gas. Gas mengandung banyak kandungan air akibat dari temperatur pada saat proses, kandungan air pada bahan dapat menguap dan bercampur dengan metana. Pada biogas dengan kisaran normal yaitu 60-70% metana dan 30-40% karbondioksida, nilai kalori antara 20 – 26 J/cm³.

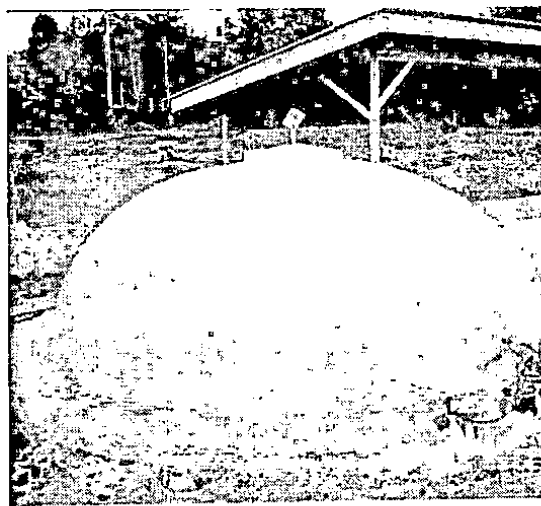
2.4 Tipe Digester Biogas

Digester biogas diindonesia sudah dikembangkan di berbagai daerah. Secara garis besar, digester yang dikembangkan ada 4 tipe yaitu sebagai berikut:

1. Tipe kubah (fixed dome) terbuat dari pasangan batu kali atau batu bata/ beton.
2. Tipe silinder (floating drum) terbuat dari tong/drum/plastik.
3. Tipe plastik terbuat dari plastik.

2.4.1 Reaktor Kubah Tetap (Fixed Dome)

Reaktor ini disebut juga reaktor cina. Dinamakan demikian karena reaktor ini dibuat pertama kali di Cina sekitar tahun 1930-an. Kemudian sejak saat itu reaktor ini berkembang dengan berbagai model. Pada reaktor ini memiliki dua bagian yaitu digester sebagai tempat pencerna material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana. Bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu menggunakan batu, batubata, atau beton. Strukturnya harus kuat karena menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian yang kedua adalah kubah tetap (fixed-dome). Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (fixed).



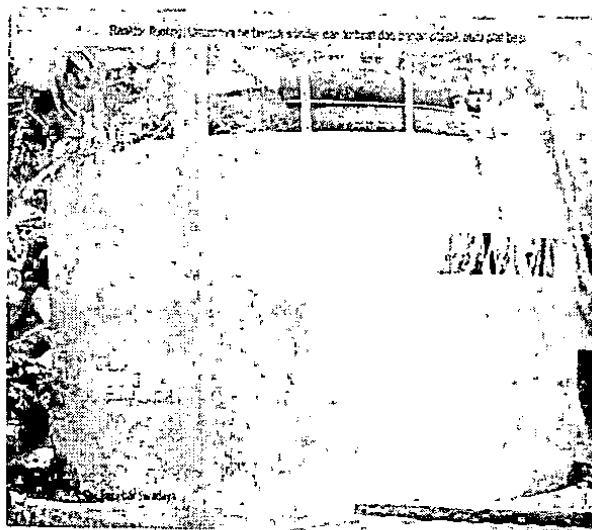
Gambar 2.2 Reaktor Kubah Tetap (*Sri Wahyuni, MP. 2010*)

Gas yang dihasilkan dari material organik pada digester akan mengalir dan disimpan di bagian kubah. Keuntungan dari reaktor ini

terapung, karena tidak memiliki bagian yang bergerak menggunakan besi yang tentunya harganya relatif lebih mahal dan perawatannya lebih mudah. Sedangkan kerugian dari reaktor ini adalah apabila terjadi gempa bumi mudah retak dan jika bocor sulit untuk diperbaiki. Reaktor ini juga mempunyai pori-pori agak besar sehingga gas mudah bocor.

2.4.2 Reaktor Floating

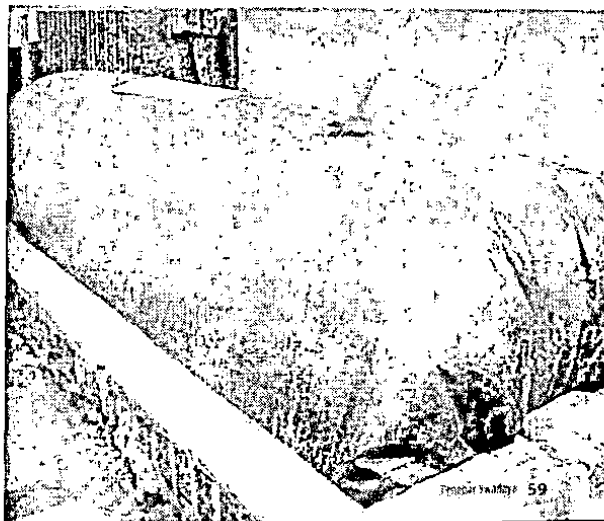
Reaktor jenis terapung pertama kali dikembangkan di India tahun 1937 sehingga dinamakan dengan reaktor India. Memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak dari drum. Drum ini dapat bergerak naik-turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam digester. Pergerakan drum mengapung pada cairan dan tergantung jumlah gas yang dihasilkan. Keuntungan dari reaktor ini adalah dapat dilihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Karena tempat penyimpanan yang terapung sehingga tekanan gas konstan. Sedangkan kerugiannya adalah biaya material konstruksi dari drum lebih mahal. Faktor korosi pada drum juga menjadi masalah sehingga bagian pengumpul gas pada reaktor ini memiliki umur yang lebih pendek



Gambar 2.3 Reaktor Floating (*Sri Wahyuni, MP. 2010*)

2.4.3 Reaktor Balon

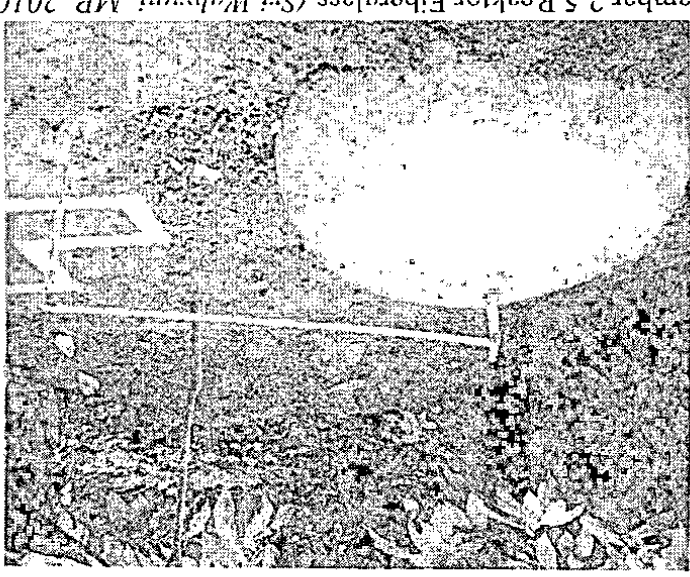
Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga. Reaktor ini menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor ini terdiri dari satu bagian yang berfungsi sebagai digester sekaligus penyimpan gas yang masing-masing bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat. Material organik terletak di bagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas. Kelemahan reaktor ini adalah mudah



Gambar 2.4 Reaktor balon (*Sri Wahyuni, MP. 2010*)

2.4.4 Reaktor Fiberglass

Reaktor bahan fiberglass merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga dan skala industri. Reaktor ini menggunakan bahan fiberglass sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor ini terdiri dari satu bagian yang berfungsi sebagai digester sekaligus penyimpanan gas yang masing-masing bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat. Reaktor dari bahan fiberglass ini sangat efisien karena kedap, ringan dan kuat. Jika terjadi kebocoran, mudah diperbaiki atau dibentuk, kembali seperti semula dan lebih efisien. Reaktor dapat dipindahkan sewaktu-waktu jika peternak sudah tidak menggunakannya lagi.



Gambar 3.5. Bekas Lubang (Sri Wahyuni, MP 2010)