



**School of Mechanical Engineering
Engineering Campus
Universiti Sains Malaysia**

**MODIFIKASI PENCERNA ANAEROBIC
(SYSTEM PENCERNAAN ANAEROBIC)**

Syn Yang Leong

2000

ABTRACT

Research on renewable energy process is carried out nowadays. The renewable energies include solar energy, wind energy, biomass energy and nuclear energy. Biomass sources estimated about 1800 billion tonnes[Biomass Handbook, Osamu Kitani & Carl 1989] is an efficient alternative energy. It has been used by human for a long time ago. Biomass is an organic matter consists of domestic waste, industrial waste and etc. biomass can be converted into fuel for generating electricity, heat and etc.

Anaerobic digestion is a process to produce methane gas from biomass. Anaerobic digestion is process of bacteria digestion in the absence of oxygen. This method becomes popular in Malaysia since there are a lot of biomass sources like rubbish, kitchen waste, animals waste and etc. This method can produce high quality of biogas contain about 55-65% of methane and it can be widely used for cooking, operating engine and etc.

The main objective of this project is to modified the existing anaerobik digester to increase biogas production. The existing digester can produce up to 48.5% of methane. Modifications include biogas recirculation of biogas, heating the digester slurry and to make mixing process more efficient. Biogas storing tank has to be prepared for biogas storing.

Emission test has to be tested on LPG engine modified from petrol engine.

The teory of mathematical modeling is also included in this report. This modeling is to predict the properties of the anaerobic digester.

ABSTRAK

Kajian terhadap proses penghasilan tenaga yang boleh diperbaharui rancak dijalankan. Tenaga alternatif yang sering dikaji ialah tenaga solar, tenaga angin, tenaga biomas, tenaga nuklear dan sebagainya. Sumber biomass dianggarkan sebanyak 1800 billion tan [Biomass Handbook, Osamu Kitani & Carl 1989] di bumi ini dan merupakan tenaga altenatif yang cekap. Sejak awal lagi, manusia telah lama menggunakan tenaga ini dalam kehidupan mereka. Biomas merupakan bahan organik meliputi bahan buangan domestik, bahan buangan industri dan sebagainya. Biomass boleh digunakan untuk menghasilkan bahan api untuk menghasilkan tenaga elektrik, tenaga haba dan sebagainya.

Pencernaan anaerobik merupakan suatu proses penghasilan bahan api, gas metana, daripada bahan-bahan buangan(biomas). Pencernaan anaerobik merupakan proses penapaian bakteria dalam keadaan tanpa kehadiran oksigen. Dalam proses tersebut, gas metana akan terhasil dan boleh digunakan sebagai bahan api untuk penghasilan tenaga.

Kaedah penghasilan tenaga ini semakin diketengahkan di Malaysia memandangkan terdapatnya sumber yang banyak iaitu sampah sarap, buangan dapur, tahi binatang dan sebagainya. Selain itu, biogas yang dihasilkan adalah kualiti yang tinggi(55% - 65% gas metana) dan biogas tersebut boleh luas digunakan untuk memasak, menjalankan enjin dan sebagainya. Kaedah pengendaliannya juga mudah menyebabkan ramai mengaplikasikan kaedah pencernaan anaerobik.

Projek ini meliputi modifikasi pencerna anaerobik untuk menambahkan penghasilan biogas. Pencerna tersebut berjaya menghasilkan biogas dengan kandungan gas metana 48.5%. Modifikasi adalah dari segi kitar semula biogas, menyediakan keadaan dengan kawalan suhu bahan biomas dan meningkatkan proses percampuran bahan biomas. Tangki penyimpanan biogas disediakan untuk memudah penyimpanan dan penggunaan biogas.

Biogas yang terhasil perlu diuji dari segi kandungannya, terutamanya kandungan gas metana, dan diuji kebolehakarannya. Seterusnya biogas digunakan untuk menjalankan sebuah enjin petrol tertukar gas (EPTEG). Ujian perlu dijalankan dengan mengkaji emisi enjin dan dibandingkan dengan emisi dengan gas LPG.

Permodelan matematik juga dilakukan untuk meramalkan sifat-sifat pencerna anaerobik. Permodelan ini merupakan suatu kaedah ramalan dan akan dibincangkan dalam laporan ini.

PENGHARGAAN

Disini saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan yang tidak terhingga kepada Dr. Zainal Alimuddin Zainal Alauddin(Penyelia Projek) dan pemeriksa kedua En. Saiful Bari. Atas segala tunjuk ajar, nasihat, bimbingan, idea bernas, sokongan dan bantuan sehingga menjayakan peojek ini.

Seterusnya ucapan terima kasih yang tidak terhingga juga kepada semua staf Kejuruteraan Mekanik atas kerjasama yang diberikan tanpa mengira masa dan ketika. Bantuan dan idea-idea daripada rakan juga amat dihargai dan diucapkan setinggi-tinggi terima kasih.

Sekian Terima Kasih

Syn Yang Leong

KANDUNGAN

1.0	PENGENALAN	1
2.0	PENCERNAAN ANAEROBIK	3
2.1	Peringkat Proses Pencernaan Anaerobik	5
2.1.1	Penghidratan(hidration)	7
2.1.2	Perubahan Mofologi Substratum	7
2.1.3	Perubahan Keterlarutan Substratum Biomas	7
2.1.4	Proses Hidrolisis	8
2.1.4.1	Hidrolisis selulosa	9
2.1.4.2	Hidrolisis Hemiselulosa	9
2.1.4.3	Hidrolisis Lignin	9
2.1.4.4	Hidrolisis Pectin	9
2.1.5	Fermentasi Bahan Monometrik	10
2.1.6	Asidifikasi(acetogenesis)	10
2.1.7	Methanogenesis	11
2.2	Faktor-faktor mempengaruhi proses penghasilan biogas	12
2.2.1	Suhu	12
2.2.2	Bahan Substratum	13
2.2.2.1	Tahi Babi	15
2.2.2.2	Tahi lembu	16
2.2.2.3	Tahi ayam	16

2.2.2.4 Tahi ternakan lain	16
2.2.2.5 Sisa pertanian	16
2.2.2.6 Komposisi substratum	17
2.2.2.7 Komponen Asing	19
2.2.2.8 Bahan Beracun	19
2.2.3 Kadar Masukan	20
2.2.4 Tempoh Masa Pencernaan	20
2.2.5 pH	21
2.3 Teknologi pencerna anaerobik	22
2.3.1 Pencernaan Berkelompok	23
2.3.2 Pencernaan Berterusan	24
2.3.2.1 Pencernaan tanpa kitar semula	24
2.3.2.2 Pencernaan dengan kitar semula	25
2.3.3 Pencernaan Dua dan Pelbagai Peringkat	26
2.4 Parameter-parameter berkaitan dengan pencernaan anaerobik	27
2.4.1 Kadar spesifik input dan output	27
2.4.2 Parameter Alah(yield)	28
2.4.3 Kecekapan	28
2.5 Meningkatkan pengeluaran gas metana	29
2.5.1 Suhu	29
2.5.1.1 Pemanasan dengan kitaran air panas dalaman	30
2.5.1.2 Pemanasan dengan kitaran larutan	30

2.5.1.3 Pemanasan dengan menggunakan biogas .	31
2.5.2 Kitaran Semula Gas	32
2.5.3 Menggalakkan Percampuran	34
2.6 Kegunaan biogas	36
2.7 Kos dan ekonomik pencerna anaerobik	37
3.0 PERMODELAN MATEMATIK PROSES PENCERNAAN ANAEROBIK	39
3.1 Permodelan Proses Pencernaan Anaerobik.	39
3.2 Permodelan Ciri-ciri Buangan haiwan.	42
3.3 Permodelan Kinetik Proses Pencernan Anaerobik	43
3.4 Model Pencernaan Anaerobik	45
3.4.1 Model Keadaan Mantap	45
3.4.1.1 Model Awal	45
3.4.1.2 Model Kinetik Monod Mudah	46
3.4.1.3 Model Chen dan Hashimoto	47
3.4.1.4 Model Hill	47
3.3.2 Model Dinamik	48
3.3.2.1 Model Hill	48
3.5 Kesimpulan Permodelan Matematik Pencerna Anaerobik	49
4.0 ENJIN PETROL TERTUKAR ENJIN GAS PETROLEUM CECAIR(LPG)	50

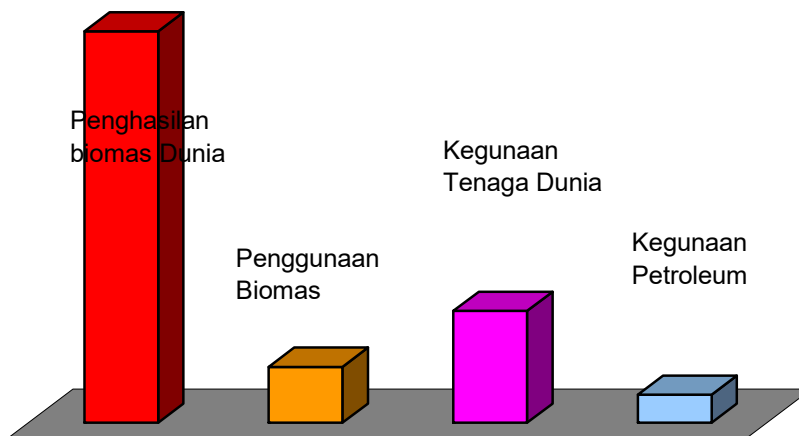
4.1 Enjin Gas Petroleum Cecair(LPG)	50
4.2 Emisi Enjin LPG/EPTEG	51
4.2.1 Karbon monoksida	51
4.2.2 Hidrokarbon	52
4.2.3 Nitrogen oksida	52
4.3 Kawalan Emisi Enjin EPTEG	53
4.3.1 Pengoksidaan Pemangkin(2 laluan)	54
4.3.2 Pemangkinan 3 laluan	55
4.4 Kitaran Semula Gas Emisi	56
4.5 Kebaikan Enjin LPG/EPTEG	57
4.6 Masalah Enjin EPTEG	58
5.0 PENCERNA USM	59
5.1.1 Komponen-komponen pencerna	59
5.2 Modifikasi pencerna anaerobik USM untuk meningkatkan kadar penghasilan biogas	61
5.2.1 Pengubahsuaian Pencerna Anaerobik USM	61
5.3 Pengujian pencerna USM	67
5.3.1 Metodologi	67
5.3.2 Prosedur	67
5.4 Tangki Penyimpanan Biogas	70
5.5 Keputusan dan perbincangan	71
5.5.1 Data Eksperimen	71

5.5.2 Pemerhatian Dan Perbincangan	71
5.6 Kesimpulan pengujian pencerna	74
6.0 ENJIN EPTEG USM	77
6.1 Pengujian emisi EPTEG USM	78
6.1.1 Prosedur	78
6.1.2 Pemerhatian dan Perbincangan	79
6.1.3 Masalah pengujian EPTEG	80
6.2 Kesimpulan pengujian EPTEG	80
7.0 KESIMPULAN	81
7.1 Cadangan masa depan	82
LAMPIRAN	

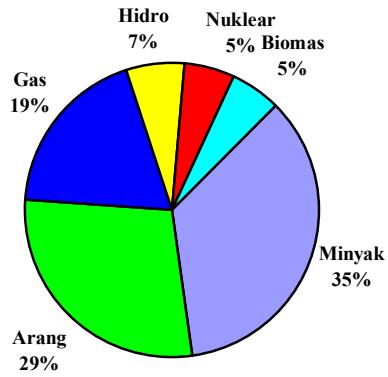
ProjekTahun Akhir 1999 /2000
Tenaga Biomass

1.0 PENGENALAN

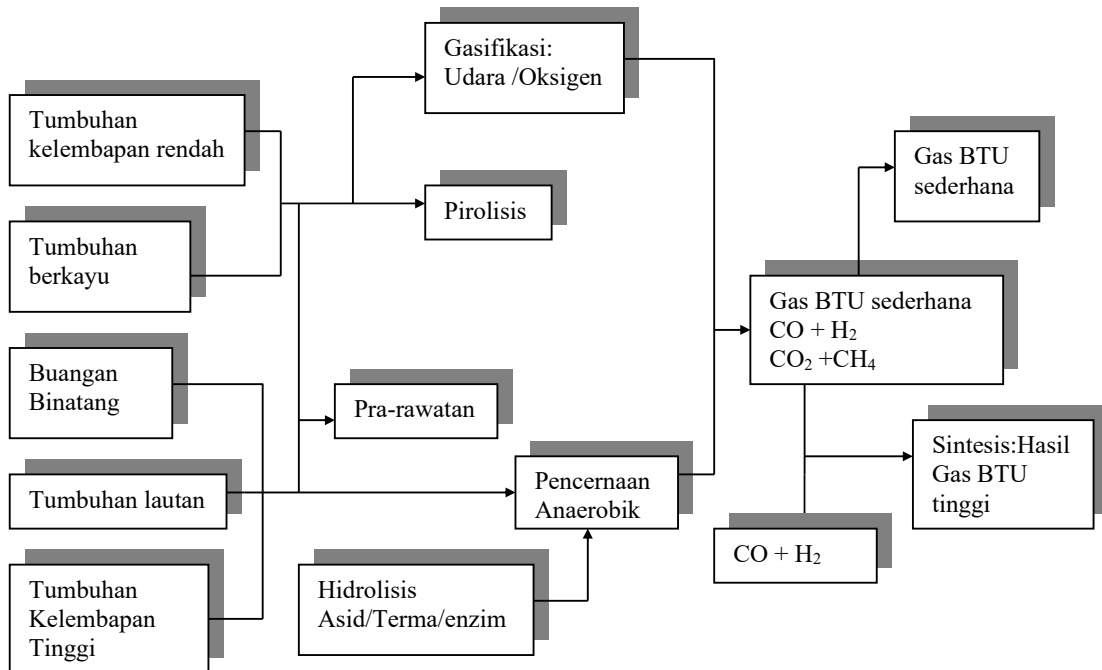
Keperluan tenaga semakin meningkat dan berseta dengan sumber bahan api semulajadi semakin berkurangan menyebabkan tenaga biomas semakin penting dan luas digunakan di seluruh dunia. Rajah 1.1 menunjukkan tenaga daripada biomas berbanding dengan penggunaan tenaga sedunia dan rajah 1.2 menunjukkan sumbangan tenaga sebagai sumber bahan api. Penghasilan biogas dengan pencernaan anaerobik merupakan salah satu kaedah untuk menghasilkan gas daripada biomass seperti ditunjukkan pada rajah 1.3. Kaedah ini menggunakan konsep bakteria boleh menguraikan bahan, misalnya bahan buangan, dan akan menghasilkan biogas sebagai hasil daripada proses penguraian.



Rajah 1.1: Kepentingan Biomass (*Biomass Handbook, Osamu Kitani & Carl 1989*)



Rajah 1.2: Sumbangan Biomass sebagai bahan api

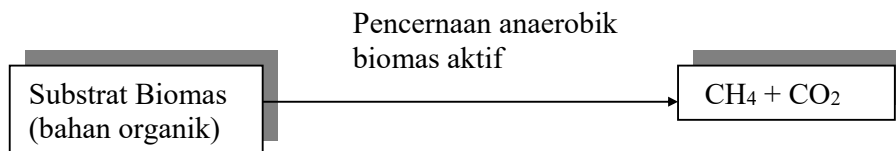


Rajah 1.3: Kaedah Penghasilan Biogas(Biomass Handbook, Osamu Kitani & Carl 1989)

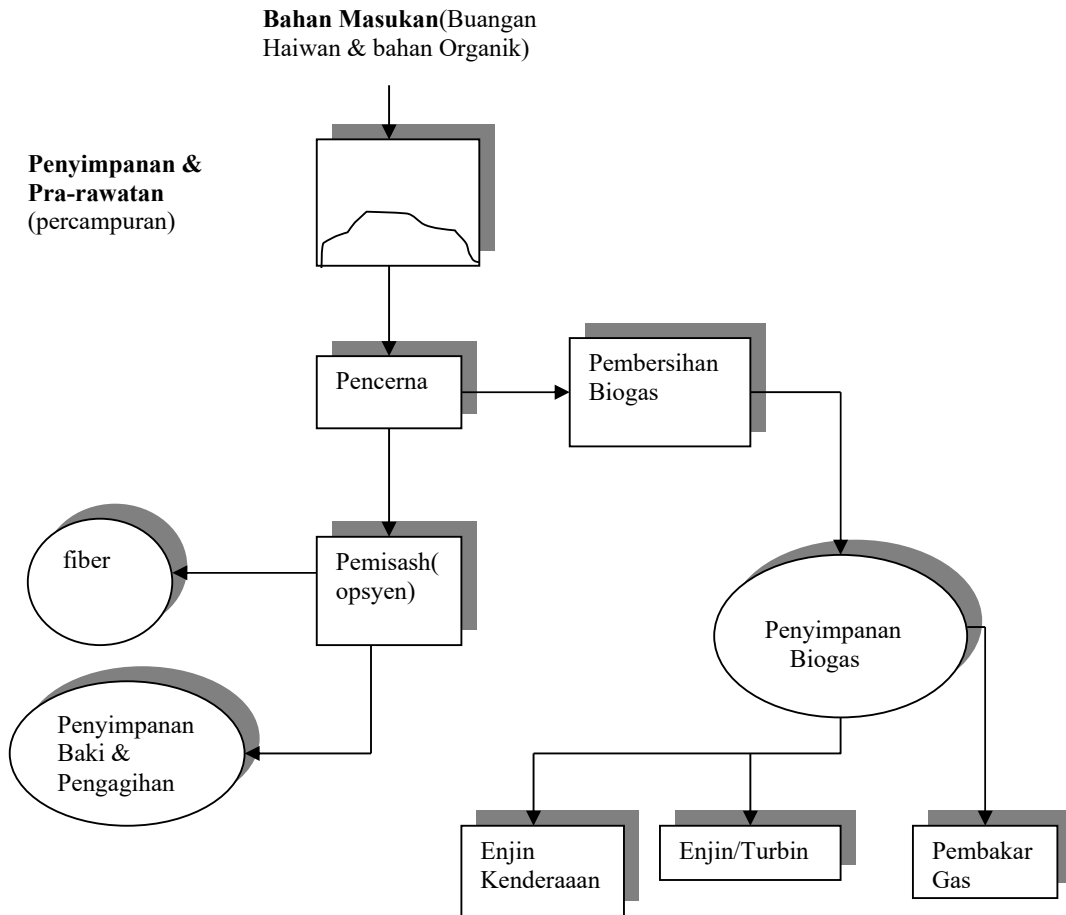
2.0 PENCERNAAN ANAEROBIK

Biogas akan terhasil daripada proses anaerobik yang merupakan proses peleraian bahan organik oleh bakteria tanpa kehadiran oksigen. Peleraian ini boleh berlaku dengan semulajadi dengan pertumbuhan bakteria untuk membantu proses tersebut. Dalam proses pencernaan anaerobik(proses anaerobik ini ditunjukkan pada rajah 2.1), biogas mempunyai kandungan 55% - 65% CH₄, 35% - 40% gas karbon dioksida dan 0% - 3% nitrogen dan air[E.-J Nyns, 1989]. Biogas tersebut boleh digunakan terus sebagai bahan api atau diproses dahulu untuk mendapatkan kualiti biogas yang lebih baik. Kadar dan jumlah penghasilan biogas bergantung kepada banyak faktor misalnya substrat biomas, suhu dan sebagainya. Faktor-faktor ini saling bergantung untuk mendapatkan jumlah biogas yang banyak dan berkualiti.

Biogas yang dihasilkan luas penggunaan seperti sebagai bahan api untuk memasak, mengoperasi enjin, turbin dan sebagainya. Opsyen dan penggunaan pencernaan anaerobik ditunjukkan pada rajah 2.2.

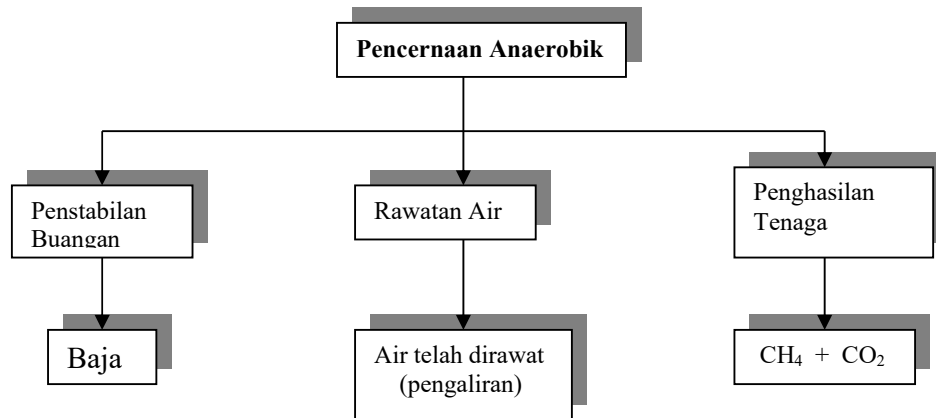


Rajah 2.1: *Pencernaan Anaerobik*



Rajah 2.2: Opsyen bagi Pencerna Anaerobik (Economics of anaerobics digestion of agricultural waste, Ian hingham, AEA Technology Waste, 1988)

Pencernaan anaerobik bukan sahaja digunakan sebagai proses penghasilan biogas untuk menghasilkan bahan api tetapi juga sebagai proses rawatan air dan penstabilan bahan buangan. Bahan-bahan buangan boleh dirawat dengan kaedah ini untuk menguraikan biomas kepada yang lebih ringkas dan menstabilkannya. Rajah 2.3 menunjukkan fungsi pencernaan anaerobik sebagai kaedah penghasilan tenaga dan kawalan persekitaran.



Rajah 2.3: Fungsi Pencerna Anaerobik(*Biomass Handbook, Osamu Kitani & Carl 1989*)

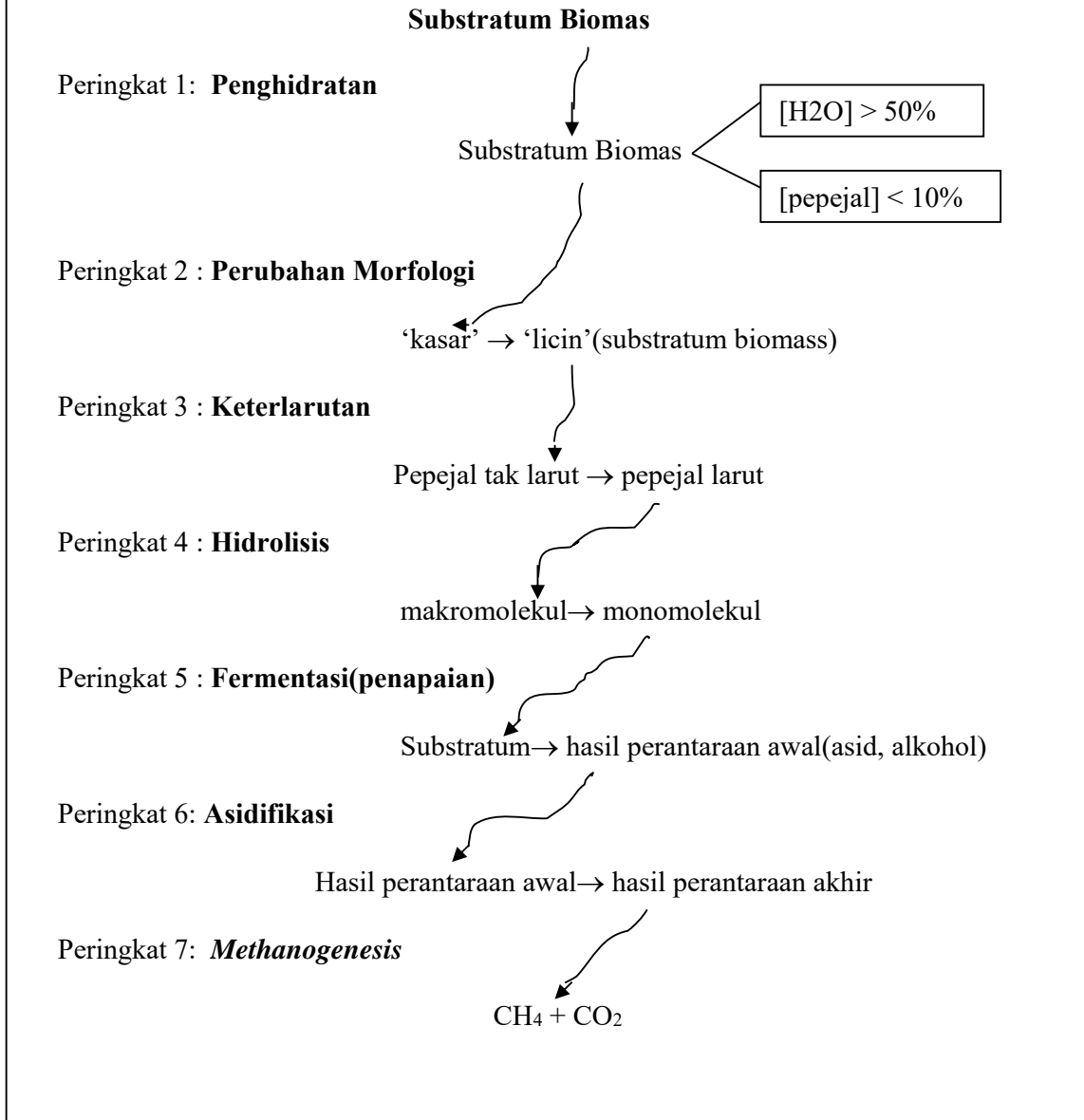
2.1 Peringkat Proses Pencernaan Anaerobik

Proses pencernaan anaerobik melibatkan proses-proses perubahan fizikal, biologi dan kimia. Peringkat proses-proses pencernaan anaerobik perlu diketahui untuk mengoptimumkan keadaan bagi pencernaan anaerobik. Peringkat pencernaan anaerobik ini ditunjukkan dalam rajah 2.4.

Pencernaan anaerobik melibatkan 7 peringkat iaitu

1. penghidratan
2. perubahan morfologi
3. perubahan keterlarutan substratum
4. hidrolisis
5. fermentasi
6. asidifikasi
7. *methanogenesis*

Rajah 2.4: Peringkat proses pencernaan anaerobik(Biomass Handbook, Osamu Kitani & Carl 1989)



2.1.1 Penghidratan(hidration)

Proses biologi penghasilan metana tidak akan bermula sekiranya kandungan air bagi substratum kurang daripada 50% air. Kepekatan yang pekat bagi substratum akan menyebabkan proses peleraian menjadi lembap. Kebiasaannya, substratum mempunyai kandungan pepejal sehingga 50%[Osamu Kitani, 1989]. Proses hidratan akan berlaku pada substratum untuk membentuk larutan yang mempunyai komposisi lebih daripada 50% air. Ini adalah penting kerana bakteria amat sensitif kepada kepada kepekatan substratum yang terlalu tinggi.

2.1.2 Perubahan Mofologi Substratum

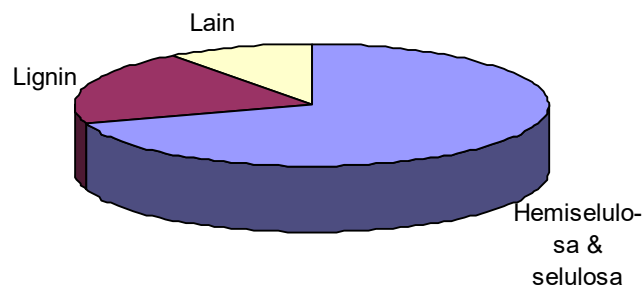
Apabila proses pencernaan anaerobik bermula, substratum akan berubah daripada ‘kasar’ kepada yang lebih ‘licin’. Perubahan ini berlaku disebabkan bermulanya peleraian substratum oleh bakteria yang telah tumbuh dengan sendirinya pada substratum.

2.1.3 Perubahan Keterlarutan Substratum Biomas

Proses yang berlaku seterusnya ialah penukaran keterlarutan molekul makrol substratum pepejal daripada tidak larut kepada larut. Proses ini merupakan proses pra-hidrolisis yang akan memudahkan proses hidrolisis seterusnya. Kadar keterlarutan substratum ini amat bergantung kepada jenis mikroorganisma pencernaan[E.-J Nyns, 1989].

2.1.4 Proses Hidrolisis

Bahan polimetrik, sama ada dalam bentuk pepejal atau larut akan dihidrolisiskan kepada bahan larut monometrik. Semua bahan polimetrik secara semulajadi boleh dihidrolisiskan dan akan aktif ditindaki oleh mikroorganisma pada keadaan anaerobik. Sekumpulan mikrob dikenali sebagai ‘pembentuk asid’ akan menghasilkan enzim yang bertindak memecahkan molekul polimetrik kepada molekul-molekul monometrik yang mudah dicernakan kepada asid lemak seperti asid propaniok, asid asetik dan asid butanik. Bahan-bahan yang biasa dihidrolis ialah selulosa, hemiselulosa, lignin dan *pectin*. Rajah 2.5 menunjukkan kandungan biomas.



Rajah 2.5: Kandungan Biomas(Sewage Sludge Stabilisation & Disinfection, Alan Bruce 1984)

2.1.4.1 Hidrolisis selulosa

Bahan buangan biasanya terdiri daripada 50% berat adalah bahan selulosa yang merupakan polimerik. Hidrolisis selulosa ini dilakukan oleh beberapa jenis bakteria anaerobik seperti *Bacteriodes Succinogenes*, *Clostridium*, *Ruminococcus* dan *Butyrivibro*[Sewage Sludge Stabilisation & Disinfection, Alan Bruce 1984].

2.1.4.2 Hidrolisis Hemiselulosa

Hemiselulosa seperti *xylan*, *D-xylose* dan sebagainya boleh ditindaki mikrob untuk menghasilkan terus gas metana. Namum demikian, hemiselulosa akan dihidrolisiskan oleh mikrob seperti *Bacteroides Ruminicola*, *R. Flavofaciens* dan *R. Albus* untuk memudahkan tindakan mikrob lain dalam penghasilan gas metana[G.T Tsao Purdue University, 1988].

2.1.4.3 Hidrolisis Lignin

Lignin merupakan komponen yang ketiga terbanyak pada biomas. Bukan semula lignin dapat dihidrolisiskan. Namum demikian, dalam keadaan pencernaan anaerobik, kebanyakan lignin dapat dihidrolisiskan[G.T Tsao Purdue University]

2.1.4.4 Hidrolisis Pectin

Pectin merupakan komponen polisakarida. Ia dihidrolisiskan oleh mikrob *B. Ruminicola*, *B. Fibrisolven* dan sebagainya. Hidrolisis pectin ini akan menghasilkan asid pol-D-galacturonik dan matanol[G.T Tsao Purdue University].

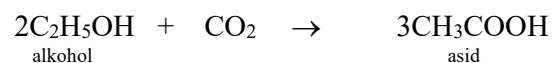
2.1.5 Fermentasi Bahan Monometrik

Mikrob akan menghidrolisiskan substratum polimetrik dan memulakan proses fermentasi. Proses fermentasi merupakan proses penukaran bahan substratum oleh mikrob untuk menghasilkan bahan alkohol. Dalam proses ini secara puratanya, 1-1.5gram mikrob akan bertindak pada setiap 10gram substratum[E.-J Nyns,1989]. Setiap mikrob hanya melakukan fermentasi bahan-bahan tertentu. Hasil daripada hidrolisis lipid dan giserol mudah difermentasikan manakalan asid lemak sukar difermentasikan. Proses fermentasi ini akan menghasilkan gas hidrogen(H₂) dan gas karbon dioksida(CO₂) sebagai bahan buangan. Proses ini ditunjukkan di bawah:



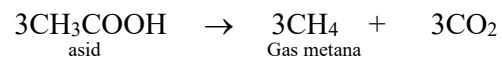
2.1.6 Asidifikasi(acetogenesis)

Proses Asidifikasi juga merupakan proses penghasilan asid sebagai bahan perantaraan akhir. Bakteria acetogenik akan bertindak terhadap asid lemah dan alkohol untuk membentuk asid laktik, asitik dan sebagainya. Dalam proses ini juga gas hidrogen dan karbon dioksida juga akan terbentuk[Garcelon & Clark 1997]. Proses kimia proses asidifikasi ditunjukkan di bawah.



2.1.7 Methanogenesis

Dalam proses ini, mikrob *methanogenic* akan menggunakan asid yang dihasilkan pada peringkat sebelumnya untuk menghasilkan gas metana. Metana merupakan bahan yang ringkas dan tidak boleh diuraikan lagi maka ia dikatakan sebagai hasil akhir pencernaan anaerobik. Bakteria ini aktif pada pH 7-8 dan pada suhu 25-35⁰C atau 45-55⁰C. Selain itu, terdapat juga bakteria lain yang akan menghasilkan gas hidrogen dan karbon dioksida. Proses penghasilan gas metana ini ditunjukkan di bawah.



2.2 FAKTOR-FAKTOR MEMPENGARUHI PROSES PENGHASILAN BIOGAS

Proses pencernaan anaerobik bergantung kepada beberapa faktor. Faktor-faktor ini amat penting untuk memastikan penghasilan biogas adalah pada kadar yang optimum.

Antara faktor-faktor yang mempengaruhi penghasilan biogas ialah

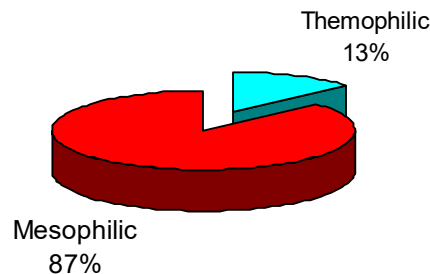
1. suhu
2. bahan substratum(kandungan dan kualiti)
3. pH
4. tempoh masa pencernaan

2.2.1 Suhu

Suhu pencernaan amat mempengaruhi kadar dan kuantiti penghasilan biogas. Suhu pencernaan juga bergantung kepada jenis pencernaan yang diperlukan. Suhu-suhu yang sesuai diperlukan untuk menyediakan keadaan yang sesuai bagi tindakan bakteria. Biasanya terdapat dua jenis mikrob yang bertindak pada suhu-suhu yang berlainan iaitu bakteria *Mesophilic* dan bakteria *Thermophilic*. Pencernaan *Mesophilic* merupakan proses yang berlaku aktif pada suhu 25-35⁰C. pencernaan *Thermophilic* pula aktif pada suhu antara 45-55⁰C. Pencernaan *Thermophilic* akan berlaku dengan kadar dan penghasilan biogas yang lebih tinggi berbanding dengan pencernaan *Mesophilic*. Namun demikian, terdapat juga keburukkan iaitu mengurangkan

kestabilan proses disebabkan suhu yang tinggi, memerlukan haba dan menyebabkan bau yang busuk.[Sewage Sludge Stabilisation & Disinfection, Alan Bruce 1984].

Pencernaan anaerobik juga berlaku pada suhu bilik iaitu pencernaan Mesophilic tetapi pada kadar dan penghasilan biogas yang rendah berbanding dengan proses pada suhu yang tinggi. Oleh itu boleh disimpulkan bahawa proses pencernaan anaerobik akan berlaku pada kadar yang rendah pada suhu yang rendah. Ini bermakna bahawa suhu yang lebih tinggi diperlukan untuk meningkatkan kadar dan penghasilan biogas tetapi suhu tidaklah terlalu tinggi kerana akan menyebabkan bakteria tidak aktif dan mati.

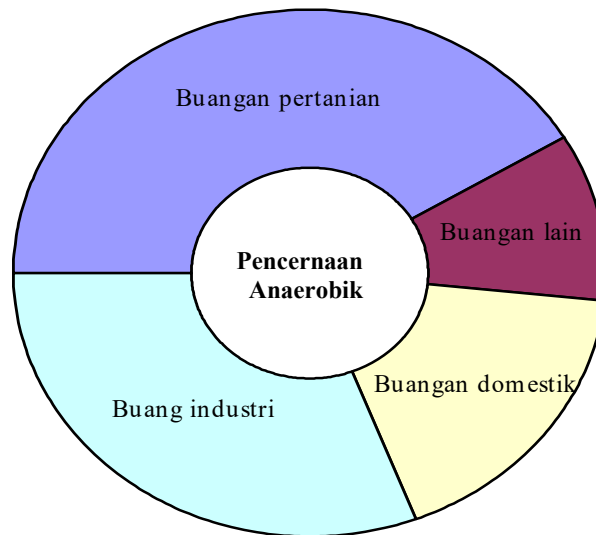


Rajah 2.6: Peratusan aplikasi mengikut jenis pencernaan(Ake Norberg, Swedish Institution of Agriculture Engineering,1998)

2.2.2 Bahan Substratum

Pencernaan anaerobik juga bergantung kepada kepada haban substratum. Bahan substratum merupakan sebagai bahan yang boleh menghasilkan gas metana dengan tindakan bakteria anaerobik. Rajah 2.7 menunjukkan sumber dan klasifikasi yang

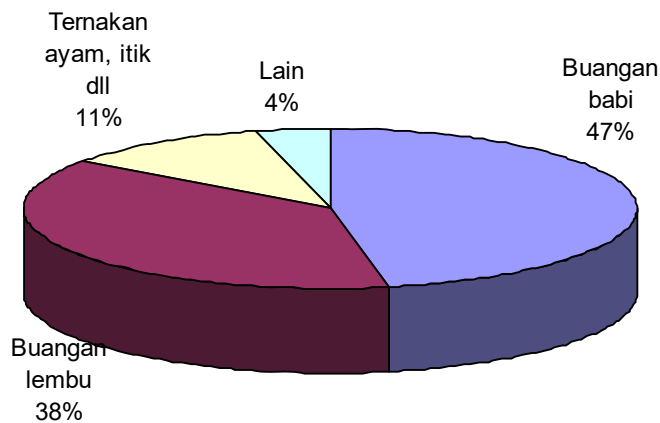
boleh dijadikan substratum pencernaan anaerobik. Bahan buangan pertanian dan penternakan merupakan substratum yang biasa dan lazim digunakan dalam proses pencernaan anaerobik.



Rajah 2.7: Klasifikasi sumber pencerna anaerobik(Feedstock for Anaerobic Digestion, Steffen, R.: Szolar, O and Braun R,1998.)



Bahan buangan yang biasa digunakan sebagai bahan masukan pencerna anaerobik ialah tahi buang babi, tahi lembu, tahi ayam, ternakan lain dan sisa pertanian. Rajah 2.9 menunjukkan bahan masukan yang biasa mengikut peratusan.



Rajah 2.9: Jenis masukan mengikut peratusan(Feedstock for Anaerobic Digestion, Steffen, R.: Szolar, O and Braun R.,1998)

2.2.2.1 Tahi Babi

Tahi babi boleh terdiri daripada 6 jenis berdasarkan variasi jumlah pepejal(TS) yang biasanya pada 2-10% dan bahan organik kering. Biasanya tahi ini adalah cair dan tidak sesuai digunakan sebagai bahan masukan pencerna kerana kadar penghasilan

biogas yang rendah. Namum demikian ia digunakan kerana kandungannya dapat menghasilkan biogas yang tinggi walaupun pada kadar yang rendah.

2.2.2.2 Tahi lembu

Lazimnya, tahi lembu adalah kurang cair daripada tahi babi. Ini menyebabkan kuantiti yang kurang diperlukan bagi tahi lembu berbanding dengan buang babi untuk menghasilkan kesan yang sama. Tahi lembu juga boleh dibahagikan kepada kumpulan tertentu berdasarkan kepada permakanan, cara kendalian kandang dan sebagainya.

2.2.2.3 Tahi ayam

Tahi ternakan ini mempunyai kandungan kering yang tinggi iaitu 20% dan kandungan $\text{NH}_4\text{-N}$ (~ 88 g x l⁻¹) [Feedstock for Anaerobic Digestion, Steffen, R.: Szolar, O and Braun R.,1998] juga tinggi. Kandungan ini akan memberi kesan kepada pencernaan anaerobik yang akan dibincangkan kemudian.

2.2.2.4 Tahi ternakan lain

Buanga ternakan lain seperti kambing, itik dan sebagainya mempunyai kandungan kering yang tinggi iaitu antara 10-30% daripada bahan pejal. Oleh itu penggunaan bahan ini memerlukan masa pencernaan yang panjang dan memerlukan proses prarawatan yang sesuai. Di samping itu, pembentukan skum semasa proses pencernaan akan menyebabkan biogas sukar dilepaskan daripada larutan.

2.2.2.5 Sisa pertanian

Sisa pertanian boleh juga digunakan sebagai bahan masukan pencerna anarobik.

Biasanaya, tahi ini ditambahkan tahi haiwan untuk menambahkan penghasilan biogas.

Jadual 2.1: kandungan pepejal bagi tahi haiwan(Feedstock for Anaerobic Digestion, Steffen, R.: Szolar, O and Braun R, 1998)

Haiwan	Jumlah Pepejal(TS)/ %
Lembu susu	11-12
Lembu mengandung	11-12
Lembu sedang membesar	8-12
Babi membesar	5-9
Ayam telur	10-30
Ayam membesar	10-30

Ciri-ciri bahan Substratum yang memberi impak kepada pencernaan anaerobik.

2.2.2.6 Komposisi substratum

Bahan masukan bagi pencernaan anaerobik berbeza dari segi komposisi, kesamaan(homogeneity), dinamik larutan dan biodegrasi. Buangan biasanya terdapat dalam bentuk larutan misalnya tahi babi, tahi babi dan sebagainya. Tahi lembu mempunyai kandungan bahan kering 3-12%. Manakala tahi babi mempunyai kandungan pepejal 10-30%[Braun 1982]. Bahan yang sesuai sebagai bahan masukan pencerna anaerobik mengandungi kurang daripada 60% daripada pepejal meruap. Jadual 2.2 menunjukkan ciri dan parameter substratum.

Proses pencernaan juga bergantung kepada kebolehan biodegrasi bahan substratum. Bahan terbiodegrasi biasanya mempunyai kandungan bahan organik antara 70-80% [Braun 1982]. Bahan terbiodegrasi akan memudahkan pencernaan anaerobik. Jadual 2.3 menunjukkan sumber, komposisi dan biodegrasi bahan masukan pencernaan anaerobik.

Jadual 2.2: Ciri dan parameter bahan substratum

Bahan Tahi	Jumlah pepejal (TS) [%]	Pepejal meruap (VS)[% daripada TS]	Nisbah C:N	Biogas [m3.kg VS]	Masa pencernaan [hari]	Kandungan CH ₄ [%]
Babi	3-8	70-80	3-10	0.25-0.50	20-40	70-80
Lembu	5-12	75-85	6-20	0.20-0.30	20-30	55-75
Ayam	10-30	70-80	3-10	0.35-0.60	>30	60-80
Daun	80	90	30-80	0.10-0.30	8-20	n.a
Kayu	80	90	5:1	n.a	n.a	n.a
Kebun	60-70	90	100-150	0.20-0.50	8-30	n.a
Rumput	20-25	90	12-25	0.55	10	n.a
Buahan	15-20	75	35	0.25-0.50	8-20	n.a

Jadual 2.3: komposisi kimia(dalam % jumlah pepejal) bahan buangan.(Wellinger,1984: Robbin et al,1989)

Bahan	Lemak	Protein	Karbohidrat	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	Bahan organik
Tahi lembu	3.5-7.5	13-15.6	59-62.1	14.5-25	2.0-19.3	6.8-9.0	16.0-29
Tahi Babi	7-12.3	16-28.9	53.8	10.3-22.9	17.1-20.8	3.7-10	10.3-27

Bagi komposisi nutrien yang sama, penghasilan spesifik biogas adalah antara 0.15-0.9 m³ x kg⁻¹ bahan masukan. Kadar biodegrasi bahan oleh bakteria anaerobik bergantung kepada komposisi bahan sama ada protein, karbohidrat, kandungan lemak dan sebagainya. Lemak akan dapat menghasilkan biogas yang tinggi tetapi disebabkan keupayaan biologi, ia memerlukan masa pencernaan yang lama.

Rajah 2.4: Terbiodegrasi substratum

Komponen	Terbiodegrasi anaerobik
Karbohidrat	
Gula	Amat mudah
Selulosa	Mudah
Protein	Amat mudah
Lemak	Amat mudah
Asid lemak	Amat mudah
Bahan tak organik	Tidak
Bahan organik surihan	Sukar

2.2.2.7 *Komponen Asing*

Dinamik larutan, biodegrasi dan kadar dan jumlah gas dipengaruhi oleh komponen asing seperti kayu dan bahan tak organik seperti pasir, kaca, logam, plastik dan sebagainya. Bahan asing ini akan menyebabkan kesukaran proses pencernaan, bahan terapung akan menyebabkan kesukaran gas melepasi daripada larutan dan sebagainya. Komponen asing ini akan menyebabkan proses pencernaan tidak stabil dan sukar dikawal.

2.2.2.8 *Bahan Beracun*

Bahan seperti antibiotik, ubat serangga dan ubat-ubatan akan mempengaruhi biodegrasi bakteria anaerobik dan kadar penghasilan gas. Bahan-bahan beracun seperti antibiotik yang terdapat pada haiwan akan menyebabkan kematian dan ketidakaktifan bakteria anaerobik. Toksik logam berat juga terdapat pada bahan substratum tetapi jarang berlaku. Bahan ini akan memberi kesan yang sedikit disebabkan bahan toksik ini dicairkan dalam larutan bahan masukan.

2.2.3 Kadar Masukan

Kadar masukan bermaksud jumlah bahan yang hendak dimasukkan ke dalam pencerna per meter padu isipadu pencerna. Sebarang perubahan ke dalam pencerna akan mempengaruhi keseimbangan yang terhasil di dalam pencerna. Kadar masukan yang tinggi akan memendekkan tempoh masa pencernaan.

2.2.4 Tempoh Masa Pencernaan

Tempoh masa pencernaan bermaksud tempoh bahan yang dimasukkan berada dalam pencerna semasa proses penapaian berlangsung. Biasanya penghasilan biogas pada tahap yang maksimum pada 4 minggu pertama dan penghasilan gas yang seterusnya adalah sedikit. Tempoh masa pencernaan juga bergantung kepada jenis bahan masukan dan kadar bahan masukan.

Tempoh masa pencernaan adalah lebih singkat jika jumlah bahan masukan ditambahkan. Ini adalah kerana lebih banyak bahan boleh ditindakki oleh bakteria.

Sekiranya jumlah bahan masukan digandakan, tempoh masa pencernaan bagi mendapatkan kuantiti gas yang sama berkurang setengah daripada asal. Jadual 2.5 menunjukkan peratusan penghasilan biogas mingguan[Veziroglu, 1983]. Jadual 2.6 pula menunjukkan kandungan biogas bagi larutan tahi lembu 3% kandungan kering.

Jadual 2.5: Peratusan biogas proses pencernaan anaerobik mengikut mingguan

Minggu	Peratusan Biogas, %
Pertama	37
Ke-2	26.5
Ke-3	17.5
Ke-4	10
Ke-5	5.75
Ke-6	3.25

Jadual 2.6: Peratusan hasilan pencernaan anaerobik mengikut hari[Sewage Sludge Stabilisation & Disinfection, Alan Bruce 1984].

3% Kandungan Kering tahi lembu		
Hari	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
11	65.7	34.3
13	66.0	34
16	69	31
20	69.8	30.2

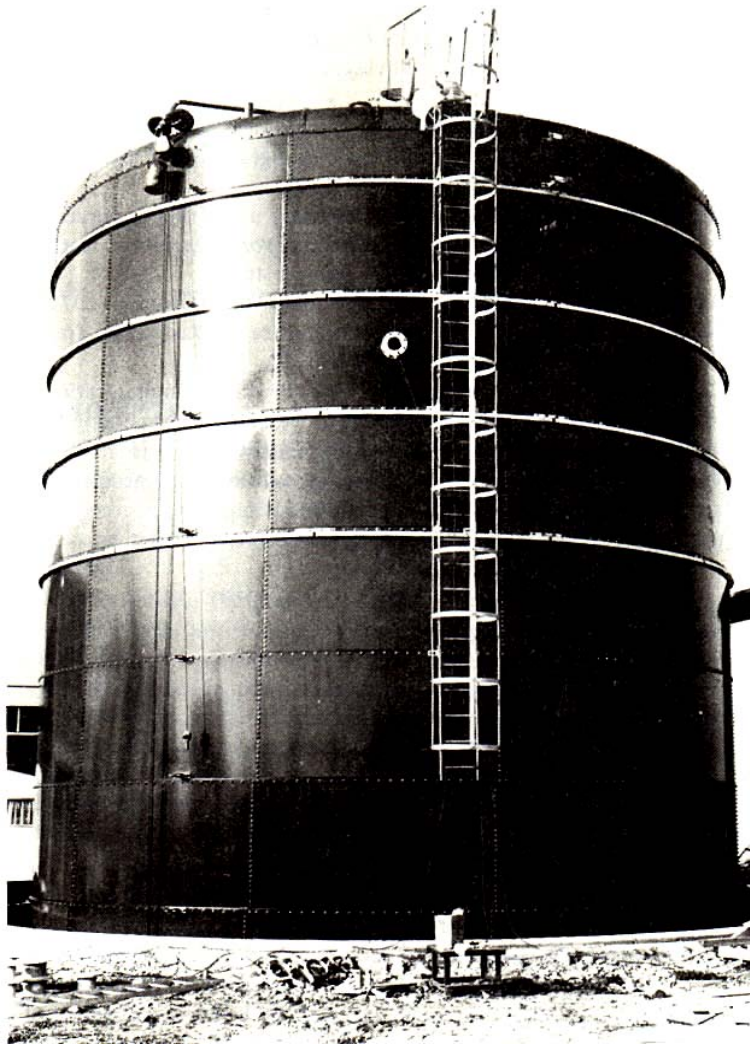
2.2.5 pH

pH adalah ukuran keasidan dan kealkalian substratum. Kadar dan jumlah penghasilan biogas amat bergantung kepada pH. Kadar penghasilan biogas adalah optimum pada pH antara 7-8[Veziroglu, 1983]. pH yang terlalu alkali terlalu berasid akan menyebabkan bakteria mati dan proses penapaian akan terhenti.

pH substratum juga dipengaruhi oleh kuantiti bahan masukan. Bakteria pembentuk asid akan tumbuh dengan cepat daripada bakteria pembentuk gas metana. Ini akan menyebabkan larutan menjadi berasid.

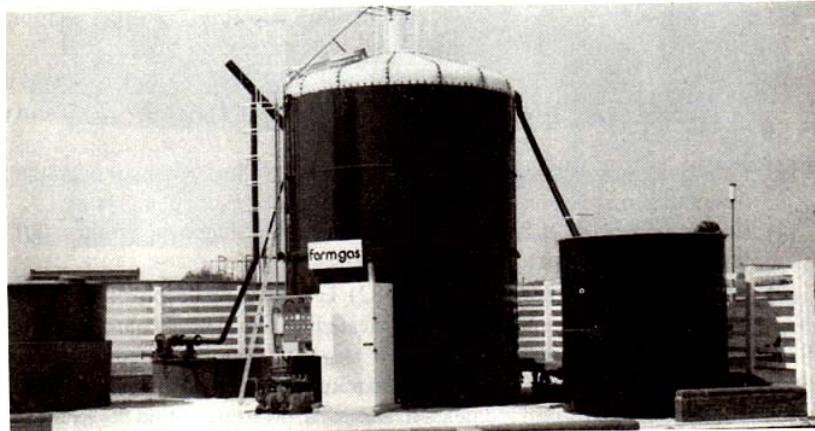
2.3 TEKNOLOGI PENCERNA ANAEROBIK

Teknologi pencerna anaerobik telah dibangunkan dengan pesat dengan penghasilan biogas yang optimum. Pencernaan anaerobik boleh dilakukan dengan kaedah iaitu



secara berkelompok dan secara berterusan. Bagi pencerna berkelompok, bahan masukan dimasukkan sekali sahaja dan dibiarkan proses penapaian berlaku. Bagi pencernaan secara berterusan, bahan masukan boleh dimasukkan dan dikeluarkan (untuk mengekalkan isipadu pencerna) dan secara berterusan.

Rajah 2.10: Pencerna Gainborough



Rajah 2.11: Pencerna di Pitts Mill

2.3.1 Pencernaan Berkelompok

Pencerna jenis berkelompok telah lama digunakan untuk sisa pertanian dan perternakan misalnya, buangan babi, tahi lembu dan sebagainya. Penghasila biogas cara ini adalah mudah dan murah.

Kadar penghasilan biogas jenis ini adalah rendah pada mulanya kerana memerlukan masa untuk pertumbuhan bakteria. Namun demikian, kadar proses pencernaan berkelompok boleh ditingkatkan dengan mencampurkan sedikit larutan daripada proses terdahulu dengan bahan yang baru. Tempoh masa pencernaan purata yang diperlukan untuk pencernaan ini ialah antara 30-180 hari [Kristoferson &

Bokalders 1991]. Tempoh masa ini dianggap lama. Dalam proses ini, pencernaan akan terhenti disebabkan bahan kehilangan keupayaan(kekurangan zat) menghasilkan biogas.

2.3.2 Pencernaan Berterusan

Pencernaan jenis ini luas digunakan. Prinsip operasi ialah bahan buangan dimasukkan dan dikeluarkan secara berterusan. Tempoh masa pencernaan adalah lebih singkat. Ini disebabkan bahan masukan yang baru mempunyai keupayaan yang tinggi untuk menghasilkan lebih banyak biogas. Pencernaan jenis ini boleh dibahagikan kepada dua jenis iaitu:

- tiada bahagian larutan yang dikitar semula. Sistem yang biasa ialah sistem CSTR(*continous stirred tank reactor*).
- larutan pencerna dikitar semula dan bercampur dengan substratum biomas.

2.3.2.1 Pencernaan tanpa kitar semula

Pencernaan anaerobik bagi tahi haiwan biasanya menggunakan sistem ini. Pencerna klasikal dapat memuatkan 50-500m³ dengan 1-4kg biomas kering per isipadu pencerna per hari. Tempoh masa pencernaan adalah antara 10-30 hari dengan penghasilan biogas yang tinggi(0.1-0.2 daripada isipadu bahan masukan)[E.-J Nyns,1989]. Rajah 2.12 menunjukkan jenis pencernaan tanpa kitar semula

