

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

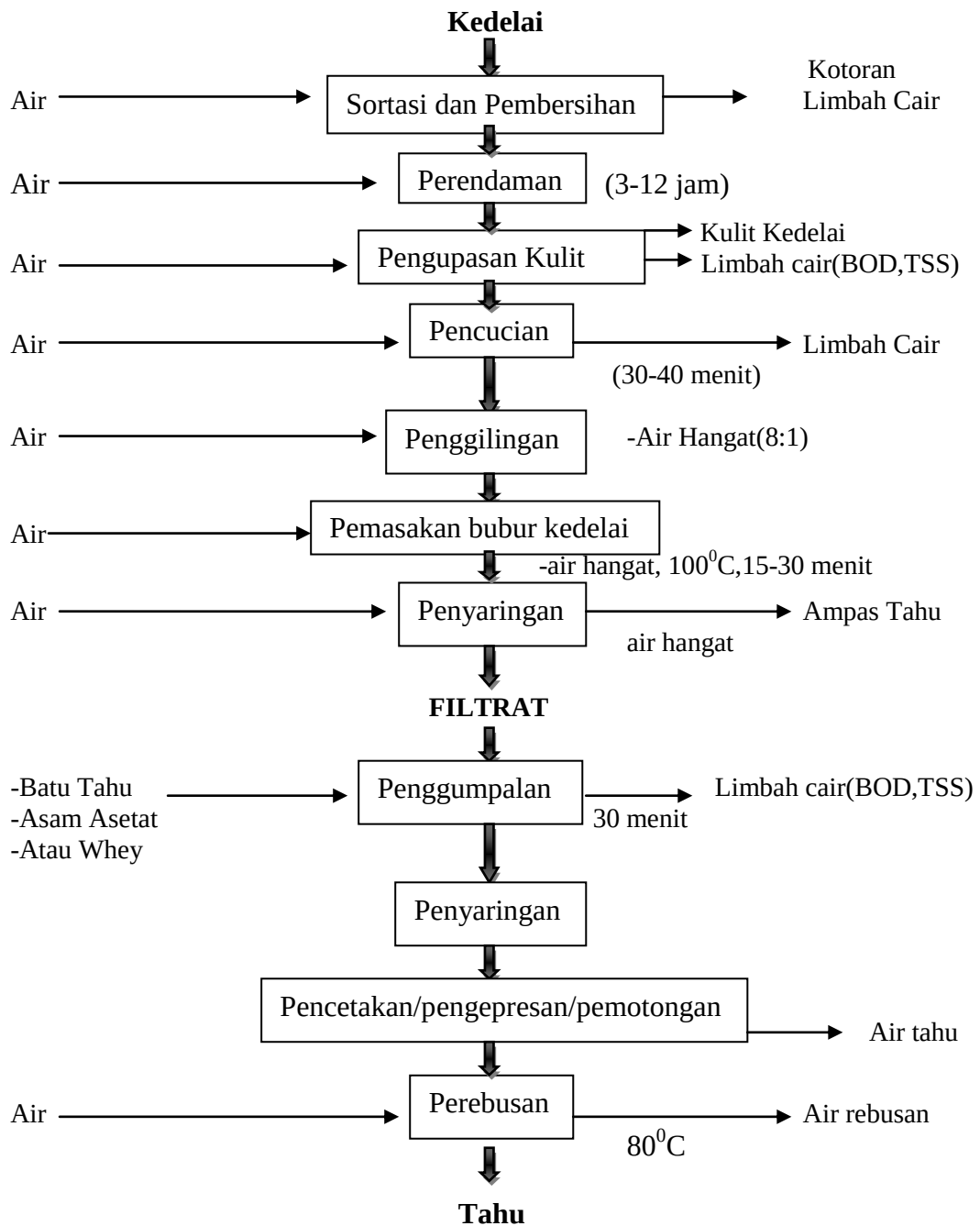
2.1 Proses Pembuatan Tahu

Tahu merupakan produk makanan yang tingkat produksinya relatif tinggi. Tahu mempunyai nilai gizi yang tinggi, dimana dalam 100 gram tahu mengandung kalori 68 kalori; protein 7,8 gram; lemak 4,6 gram; hidrat arang 1,6 gram; kalsium 124 mg; fosfor 63 mg; besi 0,8 mg; vitamin B 0,06 mg; air 84,8 gram (*Partoatmodjo, S., 1991*). Produksi tahu masih dilakukan dengan teknologi yang sederhana yang sebagian dibuat oleh para pengrajin sendiri dan dalam skala industri rumah tangga atau industri kecil, sehingga tingkat efisiensi penggunaan sumber daya yaitu air dan bahan kedelai dirasakan masih rendah dan tingkat produksi limbahnya sangat tinggi.

Kedelai dan produk makanan yang terbuat dari kedelai merupakan sumber bahan makanan yang dapat diperoleh dengan harga yang murah serta kandungan protein tinggi. Bagi penduduk dunia terutama orang Asia, tahu merupakan makanan yang umum. Di Indonesia, peningkatan kualitas kesehatan secara langsung merupakan bagian dari peningkatan produk makanan yang terbuat dari kedelai, seperti tahu, tempe, kecap dan produk lain yang berbasis kedelai. Industri tahu di Indonesia berkembang pesat sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk. Namun di sisi lain industri ini menghasilkan limbah cair yang berpotensi mencemari lingkungan. Industri tahu membutuhkan air untuk pemrosesannya, yaitu untuk proses sortasi, perendaman, pengupasan kulit, pencucian, penggilingan, perebusan, dan penyaringan. Secara umum, skema proses pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 1.

Air buangan dari proses pembuatan tahu ini menghasilkan limbah cair yang menjadi sumber pencemaran bagi manusia dan lingkungan. Limbah tersebut, bila dibuang ke perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat mengakibatkan kematian makhluk hidup dalam air termasuk mikroorganisme (jasad renik) yang berperan penting dalam mengatur keseimbangan biologis air. Oleh karena itu

penanganan limbah cair secara dini mutlak perlu dilakukan untuk mengurangi pencemaran.



Gambar 1. Bagan Proses Pembuatan Tahu

Sumber :Santoso, 1993; Bapedal, 1994 dan BPPT, 1997a

2.2 Air Limbah Industri Tahu

Limbah industri tahu terdiri dari dua jenis, yaitu limbah cair dan padat. Dari kedua jenis limbah tersebut, limbah cair merupakan bagian terbesar dan berpotensi mencemari lingkungan. Sebagian besar air limbah yang dihasilkan bersumber dari cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu pada tahap proses penggumpalan dan penyaringan yang disebut air didih atau whey. Sumber limbah cair lainnya berasal dari proses sortasi dan pembersihan, pengupasan kulit, pencucian, penyaringan, pencucian peralatan proses dan lantai. Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu sebanding dengan penggunaan air untuk pemrosesannya. Menurut Nuraida (1985) jumlah kebutuhan air proses dan jumlah limbah cair yang dihasilkan dilaporkan berturut-turut sebesar 45 dan 43,5 liter untuk tiap kilogram bahan baku kacang kedelai. Pada beberapa industri tahu, sebagian kecil dari limbah cair tersebut (khususnya air dadih) dimanfaatkan kembali sebagai bahan penggumpal (Dhahiyat, 1990). Perincian penggunaan air dalam setiap tahapan proses dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perkiraan kebutuhan air pada pengolahan tahu dari 3 kg kedelai

Tahap Proses	Kebutuhan Air (Liter)
• Pencucian	10
• Perendaman	12
• Penggilingan	3
• Pemasakan	30
• Pencucian ampas	50
• Perebusan	20
Jumlah	135

Sumber : Nuraida (1985)

Limbah cair atau air buangan suatu industri merupakan air yang tidak dapat dimanfaatkan lagi serta dapat menimbulkan dampak yang buruk terhadap manusia dan lingkungan. Keberadaan limbah cair sangat tidak diharapkan di lingkungan karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Maka itu, pengolahan yang tepat bagi limbah cair sangat diutamakan agar tidak mencemari lingkungan.

Air limbah industri tahu mengandung bahan-bahan organik kompleks yang tinggi terutama protein dan asam-asam amino (EMDI-Bapedal, 1994) dan bentuk padatan tersuspensi maupun terlarut (BPPT, 1997a). Adanya senyawa-senyawa organik tersebut menyebabkan limbah cair industri tahu mengandung BOD, COD dan TSS yang tinggi (Tay, 1990; BPPT, 1997a; dan Husin, 2003) yang apabila dibuang ke perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran.

2.2.1 Karakteristik Air Limbah Industri Tahu

Secara umum karakteristik air buangan dapat digolongkan atas sifat fisika, kimia, dan biologi. Akan tetapi, air buangan industri biasanya hanya terdiri dari karakteristik kimia dan fisika. Menurut Eckenfelder (1989), parameter yang digunakan untuk menunjukan karakter air buangan industri adalah :

- a. *Parameter fisika*, seperti kekeruhan, suhu, zat padat, bau dan lain-lain
- b. *Parameter kimia*, dibedakan atas :
 - b.1 Kimia Organik : kandungan organik (BOD, COD, TOC), oksigen terlarut (DO), minyak/lemak, Nitrogen-Total (N-Total), dan lain-lain.
 - b.2 Kimia Anorganik : pH, Ca, Pb, Fe, Cu, Na, sulfur, H₂S, dan lain-lain.

Beberapa karakteristik limbah cair tahu yang penting antara lain :

1. *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS adalah jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada dalam limbah setelah mengalami pengeringan. Penentuan zat padat tersuspensi (TSS) berguna untuk mengetahui kekuatan pencemaran air limbah *domestic*, dan juga berguna untuk penentuan efisiensi unit pengolahan air (BAPPEDA, 2012).

2. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD merupakan parameter yang digunakan untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis di

dalam air limbah (MetCalf and Eddy. 2003). Air Limbah industri tahu mengandung bahan-bahan organik terlarut yang tinggi.

3. **Chemical Oxygen Demand (COD)**

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (MetCalf and Eddy. 2003). Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan-ikan dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan hidup.

4. **Nitrogen Total (N-Total)**

Yaitu fraksi bahan-bahan organik campuran senyawa kompleks antara lain asam-asam amino, gula amino, dan protein (polimer asam amino). Dalam analisis limbah cair N-Total terdiri dari campuran N-organik, N-amonia, nitrat dan nitrit (Sawyer dkk. ,1994). Nitrogen organik dan nitrogen amonia dapat ditentukan secara atlantik menggunakan metode Kjeldahl, sehingga lebih lanjut konsentrasi keduanya dapat dinyatakan sebagai Total Kjeldahl Nitrogen (TKN). Senyawa-senyawa N-Total adalah senyawa-senyawa yang mudah terkonversi menjadi amonium (NH_4^+) melalui aksi mikroorganisme dalam lingkungan air atau tanah (MetCalf dan Eddy, 2003). Menurut Kuswardani (1985) limbah cair industri tahu mengandung N-Total sebesar 434,78 mg/L.

5. **Power of Hydrogen (pH)**

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Ia didefinisikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. Air limbah industri tahu sifatnya cenderung asam (BPPT, 1997a), pada keadaan asam ini akan terlepas zat-zat yang mudah menguap. Hal ini mengakibatkan limbah cair industri tahu mengeluarkan bau busuk.

Berdasarkan hasil studi Balai Riset dan Standarisasi terhadap karakteristik air buangan industri tahu di Medan (Bappeda, Medan, 1993), diketahui bahwa limbah cair industri tahu rata-rata mengandung BOD (4583 mg/l); COD (7050 mg/l), TSS (4743 mg/l) dan minyak atau lemak 26 mg/l serta pH 6,1. Sementara menurut laporan EMDI-Bapedal (1994) limbah cair industri tersebut rata-rata mengandung BOD, COD dan TSS berturut-turut sebesar 3250, 6520, dan 1500 mg/l. Penggunaan bahan kimia seperti batu tahu (CaSO_4) atau asam asetat sebagai koagulan tahu juga menyebabkan limbah cair tahu mengandung ion-ion logam. Kuswardani (1985) melaporkan bahwa limbah cair industri tahu mengandung Pb (0,24 mg/l); Ca (34,03 mg/l); Fe (0,19 mg/l); Cu (0,12 mg/l) dan Na (0,59 mg/l).

2.2.2 Potensi Air Limbah Industri Tahu sebagai Biogas

Air limbah industri tahu merupakan limbah organik dan proses pengolahannya dapat dilakukan secara biologi. Proses pengolahan secara biologi merupakan suatu proses pengolahan limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme seperti bakteri untuk mendegradasi kandungan yang ada pada air limbah industri tahu. Sebagian besar air limbah yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut air dadih. Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai.

Industri tahu “Koh akyong” di daerah Padang Selasa Ilir Barat I Palembang menggunakan sedikitnya 15 kg kedelai dan menghasilkan air limbah sebesar 500-600 liter perhari. Air limbah ini berasal dari sisa air tahu yang menggumpal dan air yang terbuang selama proses pembuatan tahu seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Air limbah ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari sungai ataupun air sumur di sekitar lokasi industri tahu seperti pada Gambar 3. Untuk itu penanganan yang tepat bagi limbah harus segera dilakukan untuk meminimalisir pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh air limbah industri tahu ini.



Gambar 2. Air buangan proses produksi Tahu ‘Koh Akyong’

Air limbah yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi maupun terlarut, dimana akan mengalami perubahan fisika, kimia, dan hayati yang akan menghasilkan zat beracun atau menciptakan media untuk tumbuhnya kuman dimana kuman ini dapat berupa kuman penyakit atau kuman lainnya yang merugikan baik pada tahu sendiri ataupun tubuh manusia.



Gambar 3. Air buangan Industri tahu Koh Akyong dialirkan langsung ke badan air

Air limbah akan mengalami perubahan seiring berjalannya waktu, dari warna putih keruh menjadi coklat kehitaman dan beraroma tak sedap. Aroma tak sedap ini tentu akan sangat mengganggu. Apabila air limbah ini masuk ke dasar tanah yang dekat dengan sumur maka air sumur itu tidak dapat dimanfaatkan lagi. Apabila limbah ini dialirkan ke sungai maka akan mencemari sungai dan bila masih digunakan maka akan menimbulkan penyakit gatal, diare, dan penyakit lainnya.



Gambar 4. Air limbah industri tahu berwarna coklat dan berbau busuk

Menurut hasil penelitian Basuki (2008), air limbah tahu mempunyai kandungan protein, lemak, dan karbohidrat atau senyawa-senyawa organik yang masih cukup tinggi seperti pada Tabel 2. Jika senyawa-senyawa organik itu diuraikan baik secara aerob maupun anaerob akan menghasilkan gas metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), gas-gas lain, dan air.

Biogas adalah gas pembusukan bahan organik oleh bakteri pada kondisi anaerob. Gas ini tidak berbau, tidak berwarna, dan sangat mudah terbakar. Biogas sebanyak 1000 ft³ (28,32 m³) mempunyai nilai pembakaran yang sama dengan gallon (1 US gallon = 3,785 liter) butana atau 5,2 gallon gasolin (bensin) atau 4,6 gallon minyak diesel.

Menurut Dewanto (2008) air limbah industri tahu mempunyai kandungan metana lebih dari 50%, sehingga sangat memungkinkan sebagai bahan baku sumber energi biogas.

Tabel 2. Komposisi Limbah Cair Industri Tahu

Kandungan	Jumlah (%)
Protein	7,68
Lemak	4,8
Karbonhidrat	1,6
Kalsium	0,12
Air	85,8

Sumber: EMDI dan BAPEDAL, 1994

2.2.3 Potensi Kotoran Sapi sebagai Sumber Mikroba Aktif Pembuatan Biogas

Proses produksi peternakan menghasilkan kotoran ternak (*manure*) dalam jumlah banyak. Di dalam kotoran ternak tersebut terdapat kandungan bahan organik dalam konsentrasi yang tinggi. Gas metan dapat diperoleh dari kotoran ternak tersebut setelah melalui serangkaian proses biokimia yang kompleks. Kotoran ternak terlebih dahulu harus mengalami dekomposisi yang berjalan tanpa kehadiran udara (anaerob). Tingkat keberhasilan pembuatan biogas sangat tergantung pada proses yang terjadi dalam dekomposisi tersebut.

Salah satu kunci dalam proses dekomposisi secara anaerob pada pembuatan biogas adalah kehadiran mikroorganisme. Biogas dapat diperoleh dari bahan organik melalui proses "kerja sama" dari tiga kelompok mikroorganisme anaerob. Pertama, kelompok mikroorganisme yang dapat menghidrolisis polimer-polimer organik dan sejumlah lipid menjadi monosakarida, asam-asam lemak, asam-asam amino, dan senyawa kimia sejenisnya. Kedua, kelompok mikroorganisme yang mampu memfermentasi produk yang dihasilkan kelompok mikroorganisme pertama menjadi asam-asam organik sederhana seperti asam asetat. Oleh karena itu, mikroorganisme ini dikenal pula sebagai mikroorganisme penghasil asam (*acidogen*). Ketiga, kelompok mikroorganisme yang mengubah

hidrogen dan asam asetat hasil pembentukan *acidogen* menjadi gas metan dan karbondioksida.

Mikroorganisme penghasil gas metan ini hanya bekerja dalam kondisi anaerob dan dikenal dengan nama metanogen. Salah satu mikroorganisme penting dalam kelompok metanogen ini adalah mikroorganisme yang mampu memanfaatkan (*utilized*) hidrogen dan asam asetat. Berikut berbagai macam bakteri penghasil gas metan dan substratnya.

Tabel 3. Berbagai Macam Bakteri Penghasil Metan dan Substratnya

Bakteri	Substrat	Produk
<i>Methanobacterium formicum</i>	$H_2 + CO_2$ formate	CH_4
<i>Methanobacterium mobilis</i>	$H_2 + CO_2$ formate	CH_4
<i>Methanobacterium propionicum</i>	Propionate	$CO_2 + \text{asetat}$
<i>Methanobacterium ruminatium</i>	Formate $H_2 + CO_2$	CH_4
<i>Methanobacterium songhenii</i>	Acetat butyrate	$CH_4 + CO_2$
<i>Methanobacterium suboxydans</i>	Caproate dan butyrate	Propionat dan acetat
<i>Methanobacterium mazei</i>	Acetat dan butyrate	$CH_4 + CO_2$
<i>Methanobacterium vanniellii</i>	$H_2 + CO_2$ formate	CH_4
<i>Methanobacterium barkeri</i>	$H_2 + CO_2$ methanol acetat	$CH_4 + CO_2$
<i>Methanobacterium methanica</i>	Acetat dan butyrate	$CH_4 + CO_2$

Sumber: Khandelwa, 1978

Metanogen terdapat dalam kotoran sapi yang akan digunakan sebagai bahan pembuatan biogas. Lambung (rumen) sapi merupakan tempat yang cocok bagi perkembangan metanogen. Gas metan dalam konsentrasi tertentu dapat dihasilkan di dalam lambung sapi tersebut. Proses pembuatan biogas tidak jauh berbeda dengan proses pembentukan gas metan dalam lambung sapi. Pada prinsipnya, pembuatan biogas adalah menciptakan gas metan melalui manipulasi lingkungan yang mendukung bagi proses perkembangan metanogen seperti yang terjadi dalam lambung sapi.

Produksi gas metan sangat tergantung oleh rasio C/N dari substrat. Menurut Hartono (2009) rentang rasio C/N antara 25-30 merupakan rentang optimum untuk proses penguraian anaerob. Jika rasio C/N terlalu tinggi, maka nitrogen akan terkonsumsi sangat cepat oleh bakteri-bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan lagi bereaksi dengan sisa karbonnya. Sebagai hasilnya produksi gas akan rendah. Di lain pihak, jika rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan dibebaskan dan terkumpul dalam bentuk NH_4OH . Berikut kandungan kotoran sapi:

Tabel 4. Komposisi Kotoran Sapi

Komponen	%
<i>hemisellulosa</i>	18,6
<i>sellulosa</i>	25,2
<i>lignin</i>	20,2
nitrogen	1,67
fosfat	1,11
kalium	0,56
rasio C/N	16,6-25

Sumber: Sihotang dan Siallagan, 2010

Feses sapi mengandung hemisellulosa sebesar 18,6%, sellulosa 25,2%, lignin 20,2%, nitrogen 1,67%, fosfat 1,11% dan kalium sebesar 0,56% (Sihotang, 2010). Feses sapi mempunyai C/N ratio sebesar 16,6-25% (Siallagan, 2010). Produksi gas metan sangat tergantung oleh rasio C/N dari substrat. Menurut Hartono (2009) rentang rasio C/N antara 25-30 merupakan rentang optimum untuk proses penguraian anaerob. Jika rasio C/N terlalu tinggi, maka nitrogen akan terkonsumsi sangat cepat oleh bakteri-bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan lagi bereaksi dengan sisa karbonnya. Sebagai hasilnya produksi gas akan rendah. Di lain pihak, jika rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan dibebaskan dan terkumpul dalam bentuk NH_4OH .

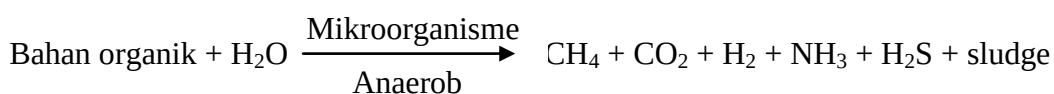
2.3 Definisi Biogas

Biogas merupakan gas campuran terutama terdiri dari metana dan karbondioksida. Biogas diproduksi secara anaerob melalui tiga tahap yakni hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis (Veziroglu, 1991). Dalam produksi biogas, semua jenis limbah organik dapat digunakan sebagai substrat seperti limbah dapur, kebun, kotoran sapi dan buangan domestik. Sumber biomassa atau limbah yang berbeda akan menghasilkan perbedaan kuantitas biogas (Werner dkk., 1989). Biogas dapat terbakar apabila terdapat kadar metana minimal 57% (Hammad, 1996). Sedangkan menurut Hessami dkk., (1996) biogas dapat terbakar jika kandungan metana minimal 60%. Biogas dengan kandungan metana 65-70% memiliki nilai kalor sama dengan 5200-5900 Kkal/m³ energi panas setara 1,25 KWJ listrik (Veziroglu, 1991). Sedangkan untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 Kkal/m³ (Nurtjahya, 2003).

Penggunaan biogas sebagai energi alternatif relatif lebih sedikit menghasilkan polusi, disamping berguna menyehatkan lingkungan karena mencegah penumpukan limbah sebagai sumber penyakit, bakteri, dan polusi udara. Keunggulan biogas adalah dapat menghasilkan lumpur kompos maupun pupuk cair (Abdullah, 1991). Sistem produksi biogas juga mempunyai beberapa keuntungan seperti (a) mengurangi pengaruh gas rumah kaca, (b) mengurangi polusi bau yang tidak sedap, (c) sebagai pupuk, dan (d) produksi daya serta panas (Koopmans, 1998).

2.4 Proses Produksi Biogas

Menurut Fauziah (1998) proses pembentukan biogas dilakukan secara anaerob. Bakteri merombak bahan organik menjadi biogas dan pupuk organik. Proses pelapukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob (Polpresert, 1980). Reaksi pembentukan biogas (Polpresert, 1980) adalah sebagai berikut.



Prinsip pembuatan biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa metana (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbondioksida. Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama *Arkhaea Metan*. Suhu yang baik untuk proses fermentasi adalah 30-55 °C. Pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik (Ginting, 2007).

Proses produksi biogas, terjadi dua tahap yaitu penyiapan bahan baku dan proses penguraian anaerobik oleh mikroorganisme untuk menghasilkan gas metana (Judoamidjojo dkk., 1992). Proses perombakan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi, yaitu *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Escherichia*, dan *Aerobacter* (Sanusi dan Santoso, 1980). Proses kerja daripada bakteri-bakteri ini dapat dibagi dalam tiga tahapan yaitu tahap pemecahan polimer, tahap pembentukan asam organik dan tahap produksi metana. Berikut tahapan-tahapannya:

1. Hidrolisis (pemecahan polimer)

Tahap ini merupakan proses perombakan bahan organik yang kompleks (polimer) menjadi unit yang lebih kecil (*mono-* dan *oligomer*). Dimana perombakan ini diperankan oleh mikrobia fermentasi yang terdiri dari mikrobia *selulolitik*, *hemiselulolitik*, *amilolitik*, *lipolitik* dan *proteolitik* yang mampu merombak karbohidrat kompleks termasuk selulosa dan hemiselulosa, protein, serta lemak. Bakteri-bakteri *selulolitik* memegang peranan penting dalam tahap ini, yaitu untuk sekresi *selulase* dengan temperatur kerja optimum 50 – 60 °C (bakteri *thermophilik*) dan temperatur 30 – 40 °C (bakteri *mesophilik*) serta bekerja pada kisaran pH 6-7 (Hungate, 1966).

Selama proses hidrolisis, polimer seperti karbohidrat, *lipid*, asam nukleat, dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, *purin*, dan *piridine*. Mikroorganisme hidrolitik mengekskresi enzim hidrolitik, mengkonversi biopolimer menjadi senyawa sederhana dan mudah larut seperti berikut:

Lipid lipase $\longrightarrow$ asam lemak, gliserol

Polisakarida selulase, selubinase, xylanase → monosakarida

Protein protease → asam amino

Senyawa tidak larut, seperti selulosa, protein, dan lemak dipecah menjadi senyawa monomer (partikel yang larut dalam air) oleh *exo-enzyme* (enzim ekstraseluler) secara fakultatif oleh bakteri anaerob. *Lipid* diurai oleh enzim *lipase* membentuk asam lemak dan giserol, sedangkan polisakarida diurai menjadi monosakarida, Serta protein diurai oleh *protease* menjadi asam amino (Seadi dkk., 2008).

Tabel 5. Klasifikasi Bakteri Hidrolisis Berdasarkan Substrat Yang Diolah

Bakteri	Substrat yang dihidrolisis
<i>Acetivibrio</i>	Karbohidrat/polisakarida
<i>Peptostreptococcus</i> , dan <i>Bifidbacterium</i>	Protein
<i>Clostridium</i>	Lemak

Sumber : Seadi dkk. , 2008

Produk yang dihasilkan oleh hidrolisis, diuraikan lagi oleh mikroorganisme yang ada dan digunakan untuk proses metabolisme mereka sendiri (Seadi dkk., 2008). Hidrolisis karbonhidrat dapat terjadi dalam beberapa jam, sedangkan hidrolisis protein dan lipid dapat terjadi dalam beberapa hari. Sedangkan lignoselulosa dan lignin terdegradasi secara perlahan-lahan dan tidak sempurna. Mikroorganisme anaerob fakultatif mengambil oksigen terlarut yang terdapat di dalam air sehingga untuk mikroorganisme anaerobik diperlukan potensial *redoks* yang rendah (Deublein dan Steinhauster, 2008).

Jenis-jenis mikrobia fakultatif anaerob (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Escherichia*, dan *Aerobacter*) melakukan hidrolisis enzimatis bahan organik yang polimerik untuk dirombak menjadi monomer yang larut (Apani, 1979). Hasil hidrolisis enzimatis tersebut antara lain asam lemak, gas hidrogen, dan CO₂. Pada tahap ini mikrobia fermentatif bekerja sangat lambat (Wibowo dkk., 1980).

2. Asetogenesis (pembentukan asam organik)

Tahap pembentukan asam (*asetogenesis*) yaitu hasil dari tahap hidrolisis dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana, yaitu berupa asetat, hidrogen, dan karbondioksida yang dilakukan oleh mikrobia asetogenik. Pembentukan asam asetat kadang-kadang disertai dengan pembentukan karbondioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya (Wibowo dkk., 1980).

Asam amino terdegradasi melalui reaksi *Stickland* oleh *Clostridium Botulinum* yaitu reaksi reduksi oksidasi yang melibatkan dua asam amino pada waktu yang sama, satu sebagai pendonor hidrogen, dan yang lainnya sebagai akseptor (Deublein dan Steinhauster, 2008). Berikut tabel degradasi senyawa pada tahap asetogenesis.

Tabel 6. Degradasi Asetogenesis

Substrat	Reaksi
Asam propionat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$
Asam butirrat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Asam kapronik	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 5\text{H}_2$
Karbon dioksida/hidrogen	$2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
Gliserin	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Asam laktat	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Etanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2$

Sumber: Deublein dan Steinhauster, 2008

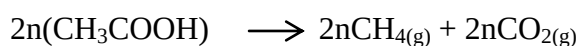
Produk akhir dari aktivitas metabolisme bakteri ini tergantung dari substrat awalnya dan pada kondisi lingkungannya. Bakteri yang terlibat dalam asidifikasi ini merupakan bakteri yang bersifat anaerobik dan merupakan penghasil asam yang dapat tumbuh pada kondisi asam. Bakteri penghasil asam menciptakan suatu kondisi anaerobik yang penting bagi mikroorganisme penghasil metan (Dublein dan Steinhauster, 2008).

3. Metanogenesis (produksi metan)

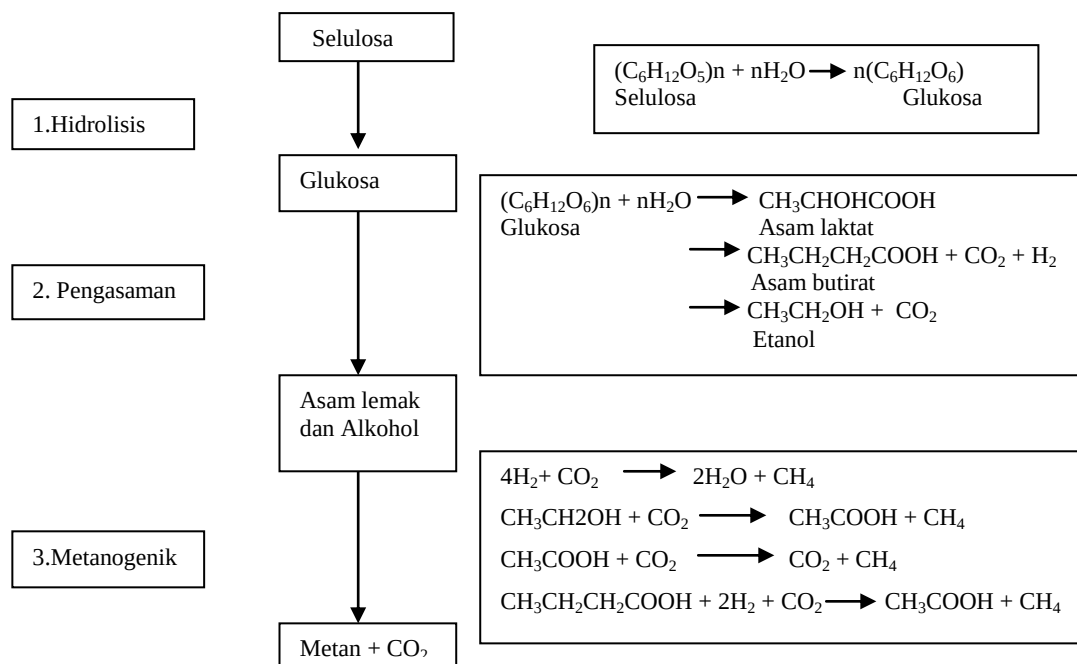
Tahap produksi metan biasa disebut dengan tahap metanogenesis. Pada tahap ini terbentuk metana dan karbondioksida oleh adanya aktivitas metanogenik. Metana dihasilkan dari asetat atau dari reduksi karbondioksida oleh mikrobiasetogenik dengan menggunakan hidrogen. Pada digester, beberapa jenis mikroorganisme metanogenik dapat melakukan sintesis gas hidrogen dan CO₂ menjadi gas metana. Mikrobiasetana yang bersifat anaerob tersebut akan membentuk CH₄ dan CO₂ melalui fermentasi asam asetat atau mereduksi gas CO₂ dengan cara menggunakan hidrogen yang merupakan produk mikrobiasetana lain (Wibowo dkk., 1980).

Bakteri metanogenesis sangat peka terhadap lingkungan, dikarenakan bakteri ini harus dalam keadaan anaerob, sehingga sejumlah kecil oksigen dapat menghalangi pertumbuhannya. Tidak hanya itu, bakteri ini juga kebal terhadap senyawa yang memiliki tingkat oksidasi tinggi seperti nitrit dan nitrat. Bakteri ini juga peka terhadap perubahan pH, kisaran pH optimal untuk memproduksi metana adalah 7,0-7,2, namun gas masih terproduksi dalam kisaran 6,6-7,6. Jika pH dibawah 6,6 akan menjadi faktor pembatas bagi bakteri dan pH dibawah 6,2 akan menghilangkan kemampuan bakteri metanogenik. Namun, dalam keadaan demikian bakteri metanogenik tetap aktif hingga pH 4,5-5,0, sehingga diperlukan *buffer* untuk menetralkan pH.

Beberapa senyawa racun bagi bakteri metanogenik, seperti ammonia (lebih dari 1500-3000 mg/l) dari total ammonia nitrogen pada pH diatas 7,4, ion ammonium (lebih dari 3000 mg/l dari total ammonia nitrogen pada sembarang pH), sulfida terlarut (lebih dari 5-100 mg/l), serta larutan garam dari beberapa logam seperti tembaga, seng, dan nikel. Pada tahap ini, gas metana yang dihasilkan kisaran 70% CH₄, 30% CO₂, sedikit H₂ dan H₂S (Price dan Cheremisinoff, 1981). Berikut reaksi pembentukan gas metan:



Asam asetat gas metan gas karbondioksida



Gambar 5. Tahapan Reaksi dalam proses pembuatan biogas

(Sumber: FAO, 1978)

2.5 Digester Pembuatan Biogas

Digester merupakan wadah atau tempat berlangsungnya proses fermentasi limbah organik dengan bantuan mikroorganisme hingga menghasilkan biogas. Digester merupakan sebuah reaktor yang dirancang sedemikian rupa sehingga kondisi didalamnya menjadi anaerobik, sehingga bisa memungkinkan proses dekomposisi anaerobik bisa terjadi. Limbah harus ditampung dalam digester selama proses dekomposisi berlangsung atau dengan kata lain sampai limbah tersebut menghasilkan biogas. Sistem fermentasi pada digester dapat dibagi menjadi 3 yaitu *batch*, kontinyu, dan semi-*batch*. Pada penelitian sistem fermentasi yang digunakan adalah sistem *batch*. Menurut Iman (2008) *Batch Process* merupakan fermentasi dengan cara memasukkan media dan inokulum secara bersamaan ke dalam bioreactor dan pengambilan produk dilakukan pada akhir fermentasi. Pada sistem fermentasi *Batch*, pada prinsipnya merupakan sistem tertutup, tidak ada penambahan media baru, tidak ada penambahan oksigen dan aerasi, *antifoam* dan asam atau basa dengan cara kontrol pH (Iman, 2008).

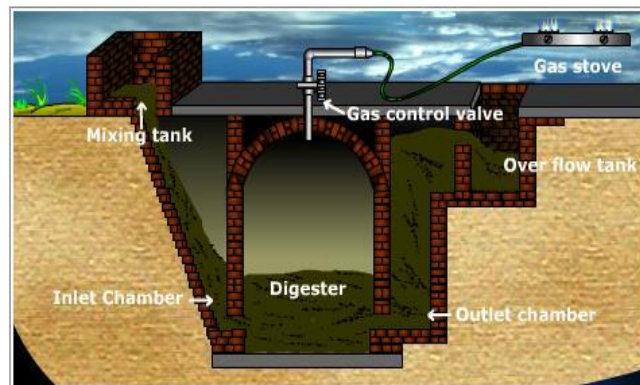
Batch fermentation banyak diterapkan dalam dunia industri, karena kemudahan dalam proses sterilisasi dan pengontrolan alat (Minier and Goma, 1982) dalam Setiyo Gunawan (2010). Selain itu juga pada cara *batch* menurut penelitian yang dilakukan Hana Silviana (2010), mengatakan bahwa cara *batch* banyak diaplikasikan di Industri etanol karena dapat menghasilkan kadar etanol yang tinggi. Namun kendala menggunakan cara *batch* adalah pada proses *batch* hanya terjadi satu siklus dimana pertumbuhan bakteri dan produksi gas metan semakin lama semakin menurun karena tidak ada substrat baru yang ditambahkan dalam reactor (Aprilianto, 2010).

Menurut Rommy (2010), Bioreaktor tipe Batch memiliki keuntungan yaitu dapat digunakan ketika bahan tersedia pada waktu-waktu tertentu dan bila memiliki kandungan padatan tinggi (25%). Bila bahan berserat/sulit untuk diproses, tipe *batch* akan lebih cocok dibanding tipe aliran kontinyu (*continous flow*), karena lama proses dapat ditingkatkan dengan mudah. Bila proses terjadi kesalahan, misalnya karena bahan beracun, proses dapat dihentikan dan dimulai dengan yang baru.

Ada beberapa tipe digester, yaitu:

1. Tipe *fixed dome*

Reaktor ini terdiri dari digester yang memiliki penampung gas dibagian atas digester. Ketika gas mulai timbul, gas tersebut menekan lumpur sisa fermentasi (*slurry*) ke bak *slurry*. Jika pasokan *feed* terus menerus, gas yang timbul akan terus menekan *slurry* hingga meluap keluar dari bak *slurry*. Gas yang timbul digunakan/dikeluarkan lewat pipa gas yang diberi katup/kran. Keunggulan dari digester tipe ini adalah awet (berumur panjang), dibuat di dalam tanah sehingga terlindung dari berbagai cuaca atau gangguan lain dan tidak membutuhkan ruangan (di atas tanah). Kelemahannya ialah rawan terjadi kertakan di bagian penampung gas, tekanan gas tidak stabil karena tidak ada katup gas (Darminto, 1984).



Gambar 6. Fixed Dome Reactor

Sumber : Andrew, 2008

Digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti pada Tabel 7. sebagai berikut :

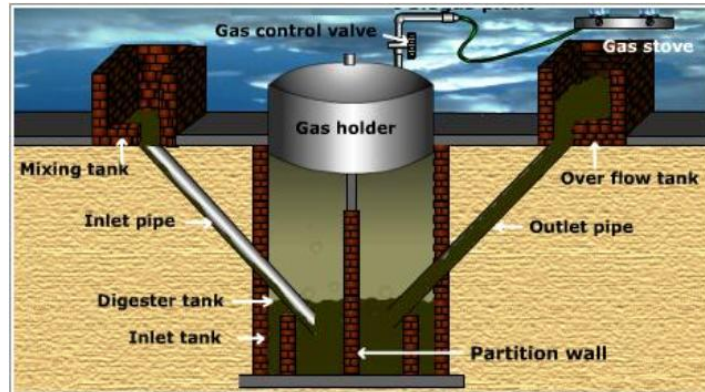
Tabel 7. Kelebihan dan Kekurangan Digester Jenis Kubah Tetap

Kelebihan	Kekurangan
1. Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah	1. Bagian dalam digester tidak terlihat sehingga kebocoran sulit diketahui
2. Biaya konstruksi rendah	2. Tekanan gas sangat tinggi
3. Tidak ada bagian yang bergerak	3. Temperature digester rendah
4. Dapat dipilih dari material tahan karat	
5. Umurnya panjang	
6. Dapat dibuat dalam tanah sehingga menghemat tempat	

2. Tipe *floating dome*

Reaktor ini terdiri dari satu digester dan penampung gas yang bisa bergerak. Penampung gas ini akan bergerak ke atas ketika gas bertambah dan turun lagi ketika gas berkurang, seiring dengan penggunaan dan produksi gasnya. Kelebihan dari digester ini ialah konstruksi alat sederhana dan mudah dioperasikan. Tekanan gas konstan karena penampung gas yang bergerak mengikuti jumlah gas. Jumlah gas bisa dengan mudah diketahui dengan melihat

naik turunnya drum. Tetapi kelemahannya ialah digester rawan korosi sehingga waktu pakai menjadi pendek (Darminto, 1984).



Gambar 7. Floating Dome Reactor

Sumber: Andrew 2008

3. Tipe *baloon plant*

Konstruksi dari digester ini sederhana, terbuat dari plastik yang pada ujung-ujungnya dipasang pipa masuk untuk kotoran ternak dan pipa keluar peluapan *slurry*. Sedangkan pada bagian atas dipasang pipa keluar gas. Kelebihan dari digester ini ialah biaya pembuatan murah, mudah dibersihkan, mudah dipindahkan. Tetapi kelemahannya ialah waktu pakai relatif singkat dan mudah mengalami kerusakan. Jadi jika akan memilih tipe digester yang digunakan, hal pertama yang harus diperhatikan dalam membangun digester adalah jumlah bahan yang tersedia dan waktu proses untuk mencerna bahan (Darminto, 1984).

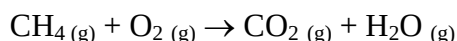


Gambar 8. Baloon Plant

Sumber: shodikin, 2011

2.6 Gas Metana (Biometan)

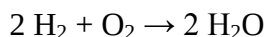
Metana merupakan gas yang terbentuk oleh adanya ikatan kovalen antara empat atom H dengan satu atom C. Metana merupakan suatu alkana. Alkana secara umum mempunyai sifat sukar bereaksi (memiliki afinitas kecil) sehingga biasa disebut sebagai parafin. Sifat lain dari alkana adalah mudah mengalami reaksi pembakaran sempurna dengan oksigen menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) dengan reaksi:



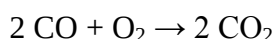
Pada reaksi pembakaran metana, ada beberapa tahap yang dilewati. Hasil awal yang didapat adalah formaldehida (HCHO atau H_2CO). Oksidasi formaldehid akan menghasilkan radikal formil (HCO), yang nantinya akan menghasilkan karbon monoksida (CO):



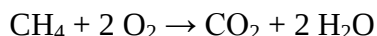
H_2 akan teroksidasi menjadi H_2O dan melepaskan panas. Reaksi ini berlangsung sangat cepat, biasanya bahkan kurang dari satumilisekon.



Akhirnya, CO akan teroksidasi dan membentuk CO_2 sambil melepaskan panas. Reaksi ini berlangsung lebih lambat daripada tahapan yang lainnya, biasanya membutuhkan waktu beberapa milisekon.



Hasil reaksi akhir dari persamaan diatas adalah:



($\Delta H = -891 \text{ kJ/mol}$ (dalam kondisi temperatur dan tekanan standar))

Gas Metana tidak berwarna, sehingga tidak bisa dilihat dengan mata telanjang. Tetapi metana dapat diidentifikasi melalui indra penciuman karena baunya yang khas. Sebenarnya gas metana berada di sekitar kita. Beberapa di antaranya :

1. Metana dapat ditemukan pada kotoran hewan seperti sapi, kambing, domba, babi, unggas

2. Selain pada kotoran, hewan memamah biak juga menyuplai gas metana melalui proses sendawa
3. Metana juga ditemukan pada kotoran manusia
4. Gas elpiji yang kita gunakan juga mengandung gas metana
5. Metana terdapat pada sampah-sampah organik setelah dilakukan perombakan oleh bakteri (beberapa industry memanfaatkan sampah organik untuk mengisolasi gas metana ini sebagai alternatif pengganti energy berbahan dasar fosil, termasuk isolasi gas metana dari kotoran hewan ternak)
6. Metana dapat terbentuk melalui proses pembakaran biomassa atau rawa-rawa (proses alam seperti biogenik, termogenik, dan abiogenik)
7. Lahan gambut juga bisa menghasilkan gas metana

Selain di atas, di daerah-daerah tertentu juga diketahui mengandung metana dalam jumlah yang sangat besar (3000 kali jika dibandingkan dengan yang ada di atmosfer sekarang), tetapi dalam bentuk hidrat, seperti:

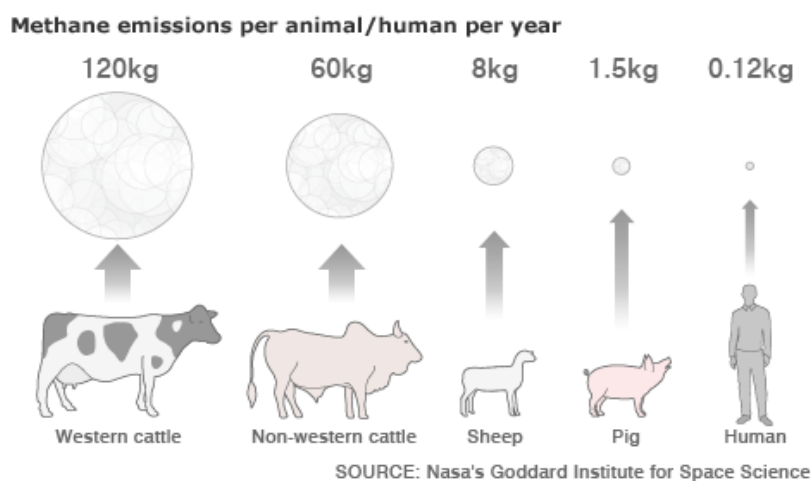
1. Bagian barat Siberia (Danau Baikal) memiliki daerah kolam berlumpur seluas Prancis dan Jerman yang beku oleh es abadi. Di daerah ini mengandung tidak kurang dari 70 miliar ton metan hidrat
2. Daerah antartika menyimpan kurang lebih 400 miliar ton metana dalam bentuk hidratnya

Gas metana juga ditemukan terperangkap pada lantai samudra di kedalaman 1000 kaki dengan jumlah yang sangat banyak, biasa disebut sebagai *metan clathrat*. Metana merupakan gas dengan emisi rumah kaca 23 kali lebih ganas dibandingkan dengan karbon dioksida

Metana adalah salah satu bahan bakar yang penting dalam pembangkitan listrik, dengan cara membakarnya dalam gas turbin atau pemanas uap. Jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya, pembakaran metana menghasilkan gas karbon dioksida yang lebih sedikit untuk setiap satuan panas yang dihasilkan. Panas pembakaran yang dihasilkan metana adalah 891 kJ/mol. Jumlah panas ini lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar hidrokarbon lainnya, tapi jika dilihat rasio antara panas yang dihasilkan dengan massa molekul metana (16

g/mol), maka metana akan menghasilkan panas per satuan massa (55,7 kJ/mol) yang lebih besar daripada hidrokarbon lainnya. Di banyak kota, metana dialirkan melalui pipa ke rumah-rumah dan digunakan untuk pemanas rumah dan kebutuhan memasak. Metana yang dialirkan di rumah ini biasanya dikenal dengngas alam. Gas alam mempunyai kandungan energi 39 megajoule per meter kubik, atau 1.000 BTU per kaki kubik standar.

Metana dalam bentuk gas alam terkompresi digunakan sebagai bahan bakar kendaraan dan telah terbukti juga sebagai bahan bakar yang lebih ramah lingkungan daripada bahan bakar fosil lain macam bensin dan diesel.



Gambar 9. Kalkulasi emisi gas metana yang dihasilkan oleh hewan dan manusia per tahun

Sumber : jejaring kimia, 2010

Dampak gas metana dapat kita lihat dari segi ekonomis dan segi lingkungannya, dan keduanya mempunyai konsekuensi masing-masing jika memang ingin diterapkan.

Dari segi ekonomi dapat mengurangi ketegantungan kita terhadap bahan bakar fosil yang semakin hari semakin sedikit jumlahnya. Sehingga eksploitasi dan isolasi gas metana dapat digunakan sebagai bahan pengganti bahan bakar fosil. Mengingat jumlahnya yang sangat besar, baik dalam bentuk metan hidrat yang

ada di kutub utara dan selatan, danau Baikal serta di dasar laut. Belum lagi ditambah gas metana hasil kotoran hewan ternak yang jumlahnya melebihi penduduk bumi. Tentunya ini bisa jadi bahan pertimbangan jika suatu hari nanti bahan bakar fosil habis. Tapi, namanya juga eksploitasi, selalu ada dampak negative yang ditimbulkan. Jadi harus dipertimbangkan benar-benar dampak negatifnya jika ingin mengambil langkah ini.

Dari segi lingkungan tidak salah lagi, gas metana menjadi penyebab utama pemanasan bumi sehingga berdampak pada perubahan iklim yang tentunya sangat membahayakan bagi tatanan kehidupan yang ada di bumi kita. Mengapa demikian?

Metana adalah gas dengan emisi rumah kaca 72 kali lebih ganas dari karbondioksida (CO_2), yang berarti gas ini kontributor yang sangat buruk bagi pemanasan global yang sedang berlangsung. Pemanasan global membuat suhu es di kutub utara dan kutub selatan menjadi semakin panas, sehingga metana beku yang tersimpan dalam lapisan es di kedua kutub tersebut juga ikut terlepas ke atmosfer. Para ilmuwan memperkirakan bahwa Antartika menyimpan kurang lebih 400 miliar ton metana beku, dan gas ini dilepaskan sedikit demi sedikit ke atmosfer seiring dengan semakin banyaknya bagian-bagian es di antartika yang runtuh. Bila Antartika kehilangan seluruh lapisan esnya, maka 400 miliar ton metana tersebut akan terlepas ke atmosfer. Ini belum termasuk metana beku yang tersimpan di dasar laut yang juga terancam mencair karena makin panasnya suhu lautan akibat pemanasan global.

Sekali terpicu, siklus ini akan menghasilkan pemanasan global yang sangat parah sehingga mungkin dapat mematikan sebagian besar makhluk hidup yang ada di darat maupun laut.

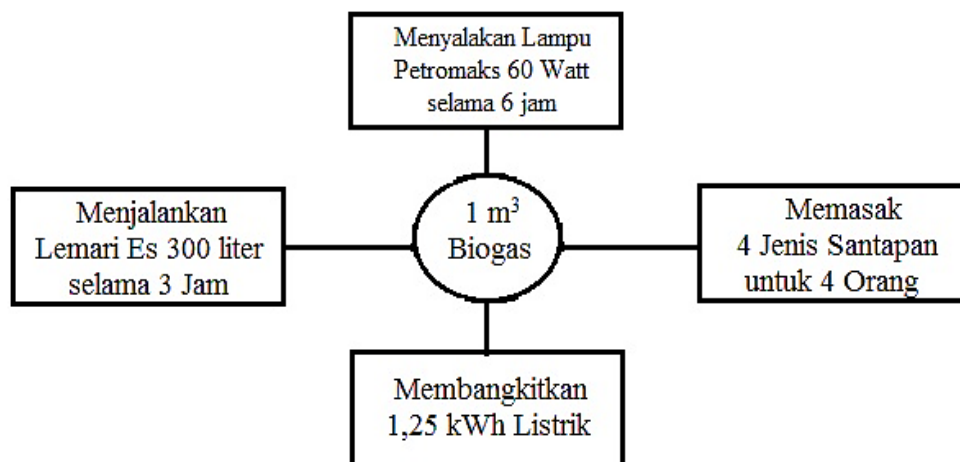
2.7 Pemanfaatan Biogas

Biogas atau metana dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti halnya gas alam. Tujuan utama pembuatan biogas adalah untuk mengisi kekurangan atau mensubstitusi sumber energi pada pengusaha tahu sebagai bahan bakar pengganti kayu bakar. Biogas mengandung berbagai macam zat, baik yang

terbakar maupun zat yang tidak dapat dibakar. Zat yang tidak dapat dibakar merupakan kendala yang dapat mengurangi mutu pembakaran gas tersebut. Seperti pada tabel 8. walaupun kandungan kalornya relatif rendah dibandingkan dengan gas alam, butana dan propana, tetapi masih lebih tinggi dari gas batu bara. Selain itu biogas ramah lingkungan, karena sumber bahannya memiliki rantai karbon yang lebih pendek bila dibandingkan dengan minyak tanah, sehingga gas CO yang dihasilkan relatif kecil.

Sumber energi biogas yang utama yaitu dapat diperoleh dari air buangan rumah tangga, sampah organik dari pasar, serta terdapat pada kotoran ternak sapi, kerbau, kuda dan lainnya. Biogas dapat dijadikan sebagai bahan bakar karena mengandung gas metana (CH_4) dalam persentase yang cukup tinggi. Gas metana dalam biogas bila terbakar relatif akan lebih bersih dari pada batubara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbondioksida yang lebih sedikit.

Menurut Siallagan (2010), manfaat penggunaan biogas untuk berbagai aplikasi dalam kehidupan sehari-hari untuk setiap 1 m^3 biogas yang dihasilkan, dapat dianalogikan kedalam Gambar 10.



Gambar 10. Penggunaan Biogas untuk Berbagai Aplikasi

Sumber: Siallagan, 2010