II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biogas

Biogas merupakan gas campuran metana (CH_4) karbondioksida (CO_2) dan gas lainnya yang didapat dari hasil penguraian bahan organik (seperti kotoran hewan, kotoran manusia, dan tumbuhan) oleh bakteri *metanogen*. Untuk menghasilkan biogas, bahan organik yang dibutuhkan, ditampung dalam *biodigester*. Proses penguraian bahan organik terjadi secara *anaerob* (tanpa oksigen). Biogas terbentuk pada hari ke-4~5 sesudah *biodigester* terisi penuh dan mencapai puncak pada hari ke-20~25. Biogas yang dihasilkan sebagian besar terdiri dari 50-70% metana (CH_4), 30-40% karbondioksida (CO_2) dan gas lainnya dalam jumlah kecil (Fitria B, 2009 dalam Harsono, 2013).

Biogas dihasilkan apabila bahan-bahan organik terurai menjadi senyawa-senyawa pembentuknya dalam keadaan tanpa oksigen (*anaerob*). Fermentasi *anaerob* ini biasa terjadi secara alami di tanah yang basah, seperti dasar danau dan di dalam tanah pada kedalaman tertentu. Proses fermentasi adalah penguraian bahan-bahan organik dengan bantuan mikroorganisme. Fermentasi *anaerob* dapat menghasilkan gas yang mengandung sedikitnya 50% metana. Gas inilah yang biasa disebut dengan biogas. Biogas dapat dihasilkan dari fermentasi sampah

organik seperti sampah pasar, daun daunan, dan kotoran hewan yang berasal dari sapi, babi, kambing, kuda, atau yang lainnya, bahkan kotoran manusia sekalipun. Gas yang dihasilkan memiliki komposisi yang berbeda tergantung dari jenis hewan yang menghasilkannya (Firdaus, U.I, 2009 dalam Harsono, 2013).

Biogas dapat dijadikan sebagai bahan bakar karena mengandung gas metana (CH_4) dengan persentase yang cukup tinggi dan titik nyala sebesar 645˚C-750˚C. Komponen biogas selengkapnya adalah sebagai berikut:

Tabel 1**.** Komponen Penyusun Biogas

Jenis Gas	**Jumlah (%)**
Metana (CH_4)	54-70
Karbon dioksida (CO_2)	27-45
Air (H_2O)	0,3
Hidrogen sulfide (H_2S)	0-3
Nitrogen (N_2)	0,5-3
Hidrogen	5-10

Sumber: pusat informasi dokumentasi PTP- ITB.F, dalam Harsono, 2013.

2.2. Pembentukan biogas

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. Gas metan adalah gas yang mengandung satu atom C dan 4 atom H yang memiliki sifat mudah terbakar (Nandiyanto, 2007 dalam Harsono, 2013). Menurut (Haryati, 2006 dalam

Harsono, 2013), 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, feses manusia, dan sampah organik rumah tangga. 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. Teknologi biogas pada dasarnya memanfaatkan proses pencernaan yang dilakukan oleh bakteri *methanogen* yang produknya berupa gas methan (CH_4). Gas metan hasil pencernaan bakteri tersebut dapat mencapai 60% dari keseluruhan gas hasil reaktor biogas sedangkan sisanya didominasi karbondioksida (CO_2).

Dalam Lazuardy (2008) Secara umum menurut (Sweeten, 1979 dalam Harsono, 2013) yang disitasi oleh (Fentenot, 1983 dalam Harsono, 2013), menerangkan bahwa proses fermentasi limbah ternak di dalam tangki pencerna dapat berlangsung selama 60-90 hari, tetapi menurut (Sahidu, 1983 dalam Harsono, 2013), hanya berlangsung 60 hari saja dengan terbentuknya gas bio pada hari ke-5 dengan suhu pencerna 28˚C, sedangkan menurut (Hadi, 1981 dalam Harsono, 2013) gas bio sekitar 10-24 hari. Produksi biogas sudah terbentuk sekitar 10 hari. Setelah 10 hari fermentasi sudah terbentuk lebih kurang 0,1-0,2 m^3/kg dari berat bahan kering. Peningkatan penambahan waktu fermentasi dari 10 hingga 30 hari

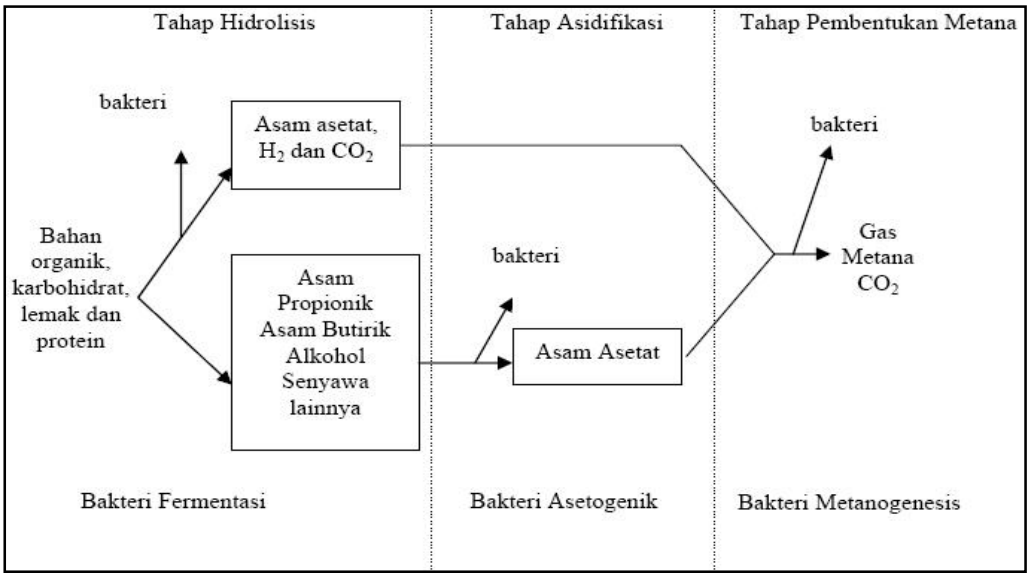
meningkatkan produksi biogas sebesar 50%. Biogas yang dihasilkan oleh biodigester sebagian besar terdiri dari 50-70% metana (CH_4), 30-40% karbondioksida (CO_2), dan gas lainnya dalam jumlah kecil (Hadi, 1981 dalam Harsono, 2013).

Produksi biogas sudah terbentuk sekitar 10 hari. Setelah 10 hari fermentasi sudah terbentuk lebih kurang 0,1-0,2 m^3/kg dari berat bahan kering. Peningkatan penambahan waktu fermentasi dari 10 hingga 30 hari meningkatkan produksi biogas sebesar 50%. Biogas yang dihasilkan oleh biodigester sebagian besar terdiri dari 50-70% metana (CH_4), 30-40% karbondioksida (CO_2), dan gas lainnya dalam jumlah kecil (Hadi, 1981 dalam Harsono, 2013). Ada tiga kelompok bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas, yaitu:

1. Kelompok bakteri *fermentative*: *Steptococci*, *Bacteriodes*, dan beberapa jenis *Enterobactericeae*
2. Kelompok bakteri *asetogenik*: *Desulfovibrio*
3. Kelompok bakteri metana: *Mathanobacterium*, *Mathanobacillus*, *Methanosacaria*, dan *Methanococcus*

Bakteri *methanogen* secara alami dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti air bersih, endapan air laut, sapi, kambing, lumpur (*sludge*) kotoran *anaerob* ataupun TPA (Tempat Pembuangan Akhir) (Kamase Care, 2009, Harsono, 2013).

Secara garis besar proses pembentukan biogas dapat dilihat pada Gambar 1 dan dibagi dalam tiga tahap yaitu: *hidrolisis*, *asidifikasi* (pengasaman) dan pembentukan gas metana.



Gambar 1. Proses Pembentukan Biogas.

2.2.1. Tahap *Hidrolisis*

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

2.2.2. Tahap *Asidifikasi* (Pengasaman)

Pada tahap ini bakteri menghasilkan asam, mengubah senyawa rantai pendek hasil proses pada tahap *hidrolisis* menjadi asam asetat, hidrogen (H_2) dan karbondioksida. 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.

2.2.3. 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 bekerjasama secara simbiosis. Bakteri penghasil asam membentuk keadaan atmosfir 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 (Kharistya Amaru, 2004).

Dalam reaktor biogas terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan, yakni bakteri asam dan bakteri metan. Kedua jenis bakteri ini perlu *eksis* dalam jumlah yang berimbang. Kegagalan reaktor biogas dapat dikarenakan tidak seimbangnya populasi bakteri metan terhadap bakteri asam yang menyebabkan lingkungan

menjadi sangat asam (pH < 7) yang selanjutnya menghambat kelangsungan hidup bakteri metaan. Keasaman *substrat* biogas dianjurkan untuk berada pada rentang pH 6,5-8. Bakteri metan ini juga cukup sensitif dengan temperatur. Temperatur 35˚C diyakini sebagai termperatur optimum untuk perkembangbiakan bakteri metan (Junus,1987 dalamHarsono,2013).

Dalam (Rahayu,2009, Harsono,2013) menyatakan bahwa salah satu cara menetukan bahan organik yang sesuai untuk menjadi bahan masukan sistem biogas adalah dengan mengetahui perbandingan karbon (C) dan nitrogen (N) atau disebut rasio C/N. Beberapa percobaan yang telah oleh dilakukan ISAT menunjukan bahwa aktivitas *metabolisme* dari bakteri *methanogenikakan* optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20. Menurut (Fry, 1974 dalam Harsono, 2013) dalam (Kharistya Amaru, 2004) proses *anaerob* akan optimal bila diberikan bahan makanan yang mengandung karbon dan nitrogen secara bersamaan. C/N ratio menunjukkan perbandingan jumlah dari kedua elemen tersebut. Pada bahan yang memiliki jumlah karbon 15 kali dari jumlah nitrogen akan memiliki C/N ratio 15 berbanding 1. C/N ratio dengan nilai 30 (C/N=30/1 atau karbon 30 kali dari jumlah nitrogen) akan menciptakan proses pencernaan pada tingkat yang optimum, bila kondisi yang lain juga mendukung. Bila terlalu banyak karbon, nitrogen akan habis terlebih dahulu. Hal ini akan menyebabkan proses berjalan dengan lambat. Bila nitrogen terlalu banyak (C/N ratio rendah; misalnya 30/15), maka karbon habis lebih dahulu dan proses *fermentasi* berhenti. Karakteristik biogas adalah sebagai berikut:

1. Biogas kira-kira memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki suhu pembakaran antara 650˚C sampai 750˚C.
2. Biogas tidak berbau dan berwarna yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG.
3. Nilai kalor gas metana adalah 20 MJ/m^3 dengan efisiensi pembakaran 60% pada *konvesional* kompor biogas.
4. Nilai kalor rendah (LHV) CH_4 = 50,1 MJ/kg.
5. *Densitas* CH_4 = 0,717 kg/m^3.

Biogas yang dihasilkan apabila dimanfaatkan memiliki kesetaran energi dengan sumber energi lain adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai Kesetaraan 1 m^3 Biogas Dengan Energi Lainnya

Volume	**Kesetaraan**
1 m^3 biogas	0,46 kg LPG
	0,62 liter minyak tanah
	3,5 kg kayu bakar
	0.62 minyak solar

Sumber: Wahyuni, 2008 dalam Harsono, 2013.

Kotoran sapi merupakan *substrat* yang paling cocok sebagai sumber penghasil biogas, karena telah meengandung bakteri penghasil gas metana yang terdapat dalam perut *ruminansia* (lambung sapi). Bakteri tersebut membantu dalam proses *fermentasi* sehingga mempercepat proses pembentukan biogas. Rata-rata kotoran sapi adalah 12-25 kg/hari/ekor. Apabila kotaran ternak diolah untuk menghasilkan

biogas, maka untuk beberapa jenis ternak dan manusia memiliki potensi biogas yang dihasilkan terlihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Kandungan Biogas Dari Jenis Ternak Dan Manusia

Tipe Kotoran	**Produksi Gas/Kg kotoran (m^3)**
Sapi (sapi dan kerbau)	0.023-0.040
Babi	0.04-0.059
Peternakan ayam	0.065-0.116
Manusia	0.02-0.028

Sumber: United Nations, 1984 dalam Harsono, 2013.

Agar pembentukan biogas terbentuk secara sempurna maka bahan baku padatan harus berbentuk bubur atau butiran kecil. Bahan baku yang sulit dicerna sebaiknya dihancurkan terlebih dahulu dengan cara digiling atau dirajang terlebih dahulu, namun bahan baku tersebut dapat langsung dicampur dengan air hingga merata. Kandungan padatan ini sebaiknya berkisar 7-9%.

Bahan baku dalam bentuk *solulosa* lebih mudah dicerna oleh bakteri *anaerob*. Jika bahan bakunya banyak mengandung zat kayu atau *lignin*, misalnya jerami yang banyak mengandung zat kayu sehingga sangat sulit dicerna. Bahan baku tersebut akan mengapung di permukaan cairan dan membentuk kerak sehingga akan menghalangi laju produksi biogas. Kotoran sapi atau kerbau sangat baik untuk dijadikan bahan baku karena banyak mengandung *solulosa*.

Tabel 4. Jumlah produksi kotoran dan biogas pada berbagai jenis ternak dan manusia

Jenis Ternak dan Manusia	**Produksi**	
	Kotoran(Kg)	**Biogas (Lt/Kg)**
Sapi		
• Besar	15	40
• Sedang	10	40
• Kecil	8	40
• pedet	4	40
Kerbau		
• Besar	20	40
• Sedang	15	40
• Kecil	10	40
• Pedet	5	40
Babi		
• Besar	20	70
• Sedang	1,5	70
• Kecil	1,0	70
Ayam		
• Besar	0,15	60
• Sedang	0,10	60
• Kecil	0,05	60
Kambing/domba		
• Besar	5,0	50
• Sedang	2,0	50
• Kecil	1,0	50
Itik	0,15	50
Merpati	0,05	50
Kuda	15	40
Unta	2,0	30

Manusia • Dewasa • Anak- anak	 0,40 0,20	 70 70
Gajah	40	20

Sumber: AFDIO Biogas ,1990,New Delhi, india (M Cahyo Oktario ,2011 dalam Harsono, 2013).

Jika dilihat analisa dampak lingkungan terhadap lumpur keluaran *(sllurry)* 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 dalam Harsono, 2013). 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 dalam Harsono, 2013).

2.3. Proses Permurnian Biogas

Kemurnian biogas menjadi pertimbangan yang sangat penting karena berpengaruh terhadap nilai kalor atau panas yang dihasilkan, sehingga biogas yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian terhadap *impuritas-impuritas* yang lain. *Impuritas* yang berpengaruh terhadap nilai kalor/panas adalah CO_2, keberadaan CO_2 dalam biogas sangat tidak diinginkan karena semakin tinggi kadar CO_2 dalam CH_4 maka semakin rendah nilai kalor biogas dan akan mengganggu proses pembakaran (Hamidi, 2011, Harsono, 2013).

Dalam pemisahan CO_2 dari biogas terdapat berbagai metode yang telah dikembangkan, yaitu:

2.3.1. *Absorbsi*

Metode absorbsi biogas adalah pemisahan suatu gas tertentu dari campuran gas-gas dengan cara pemindahan massa ke dalam suatu *liquid*. Hal ini dilakukan dengan cara mengantarkan aliran gas dengan *liquid* yang mempunyai *selektivitas* pelarut yang berbeda dari gas yang akan dipisahkannya baik secara fisika maupun kimia efektif untuk laju alir gas yang rendah dimana biogas dioperasikan pada kondisi normal. Salah satu metode yang sederhana dan murah yaitu menggunakan air bertekanan sebagai *absorben* (Shannon *et al.*, 2006, dalam Harsono, 2013).

2.3.2. *Adsorpsi* pada Permukaan Zat Padat

Proses adsorpsi permukaan zat padat melibatkan transfer zat terlarut dalam gas menuju ke permukaan zat padat, dimana proses transfer digerakkan oleh gaya *Van der wall*. *Adsorben* yang digunakan biasanya berbentuk *granular* yang mempunyai luas permukaan besar tiap satuan volume. Pemurnian gas dapat menggunakan padatan yang berupa *silika*, *alumina*, karbon aktif atau *silikat* yang kemudian dikenal dengan nama *molecular sieve* (Wellinger dan Lindeberg, 2000, dalam Harsono, 2013).

2.3.3. Pemisahan Secara *Kriogenik*

Kriogenik merupakan salah satu metode pemurnian yang melibatkan campuran gas dengan kondensasi *fraksional* dan *destilasi* pada temperatur rendah. Proses *kriogenik* diawali dengan *crude* biogas ditekan hingga mencapai 80 bar. Proses kompresi ini berjalan secara *multistage* dengan *intercooler*. Biogas bertekanan kemudian dikeringkan untuk menghindari terjadinya pembekuan selama proses pendinginan berlangsung. Kemudian biogas didinginkan oleh *chiller* dan *heat exchanger* hingga -45°C, CO_2 yang *terkondensasi* dihilangkan di dalam *separator*. Kemudian CO_2 diproses lebih lanjut untuk menemukan kembali CH_4 yang terlarut, hasil dari proses *recovery* CH_4 kemudian dimanfaakan kembali menuju *inlet* gas. Melalui proses ini gas metana yang dihasilkan mencapai kemurnian 97 % (Huang, 2005, dalam Harsono, 2013).

2.3.4. Pemisahan dengan Membran

Metode ini beberapa komponen atau campuran dari gas ditransportasikan melalui lapisan tipis membran (<1mm). Transportasi tiap komponen dikendalikan oleh perbedaan tekanan *parsial* pada membran dan *permeabilitas* tiap komponen dalam membran. Pencapaian gas metana dengan kemurnian yang tinggi maka harus diikuti pula dengan *permeabilitas* yang tinggi. Membran padat dapat disusun dari *polimer selulosa asetat* yang mempunyai *permebilitas* untuk CO_2 dan H_2S mencapai 20 dan 60 kali berturut-turut lebih tinggi dibanding *permeabilitas* CH_4. Tekanan sebesar 25-40 bar diperlukan untuk proses

membran tersebut (Huang, 2005, dalam Harsono, 2013). Inti dari konsep pemisahan dengan membran adalah *selektifitas* dan *permeabilitas* yang tinggi. Pemisahan CO_2 dengan membran *konvensional* sering dijumpai beberapa permasalahan. Permasalahan tersebut mendorong para peneliti mengembangkan material baru untuk pemisahan CO_2 dengan membran. Material baru tersebut adalah kombinasi antara *polimerik* membran dan *inorganik* membran yang disebut dengan MMMs (*Mixed Matrix Membranes*).

Dalam konsep pemisahan dengan membran hal yang paling utama diperhatikan adalah *selektifitas* dan *permeabilitas* yang tinggi. Dalam pemisahan CO_2 dengan membran *konvensional* masalah tersebut dijumpai. Oleh karena itu para peneliti mengembangkan material baru untuk pemisahan CO_2 dengan membran, material itu adalah kombinasi antara *polimerik* membran dan *inorganik* membran yang disebut dengan MMMs *(Mixed Matrix Membranes)*. Teknologi pemisahan gas yang telah dikembangkan adalah dengan penggunaan membran. Dalam hal ini digunakan *zeolite Mixed Matrix Membran*es untuk pemisahan CO_2 atau CH_4. Pemilihan membran sebagai teknologi pemisahan gas bukan merupakan hal baru. Dua kriteria suatu teknologi pemisahan akan dipilih jika pertimbangan secara teknis dan ekonomis mudah dilakukan (Mulder, 1996, dalam Harsono, 2013).