

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kotoran Sapi

Kegiatan peternakan sapi dapat memberikan dampak positif terhadap pembangunan, yaitu berupa peningkatan pendapat peternakan, perluasan kesempatan kerja, peningkatan ketersediaan pangan dan lainnya. Namun, tanpa dilakukan pengolahan terhadap limbah yang tepat, kegiatan ini dapat menimbulkan permasalahan lingkungan antara lain kotoran sapi. Kotoran sapi adalah limbah peternakan berupa sisa hasil pencernaan sapi. Kotoran sapi mengandung banyak selulosa dan lignin. Hal tersebut menyebabkan kotoran sapi sangat baik digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biogas. Sapi menghasilkan kotoran dengan kandungan selulosa yang cukup tinggi karena sapi termasuk hewan memamahbiak. Selulosa yang terkandung pada kotoran sapi akan dimanfaatkan untuk memproduksi biogas. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pemanfaatan kotoran sapi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan sistem biogas. Biogas merupakan campuran dari berbagai macam gas, antara lain $\pm 60\%$ gas CH_4 (metana), $\pm 35\%$ gas CO_2 (karbon dioksida), serta $\pm 5\%$ Campuran gas N_2 , O_2 , H_2 , dan H_2S . Campuran gas ini mudah terbakar apabila kandungan CH_4 (metana) melebihi 50%, itulah sebabnya mengapa biogas dianggap sebagai bahan bakar alternatif.

Kotoran sapi adalah biomassa yang mengandung karbohidrat, protein, dan lemak. Biomassa yang mengandung karbohidrat tinggi akan menghasilkan gas metana yang rendah dan CO_2 yang tinggi, jika dibandingkan dengan biomassa yang mengandung protein dan lemak dalam jumlah yang tinggi. Secara teori, produksi metana yang dihasilkan dari karbohidrat, protein, dan lemak secara berturut – turut adalah 0.37, 1.0, 0.58 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg}$ bahan kering organik. Kotoran sapi mengandung ketiga unsur bahan organik tersebut sehingga dinilai lebih efektif untuk dikonservasi menjadi gas metana. Dengan mengolah limbah dari kotoran hewan ternak untuk menghasilkan biogas, maka diperoleh sejumlah limbah kotoran ternak yang disebut sebagai *slurry*. *Slurry* kotoran sapi

mengandung 1,8 - 2,4% nitrogen, 1,0 - 1,2% fosfor (P₂₀₅), 0,6 - 0,8% potassium (K₂₀), dan 50 - 75% bahan organik. Kandungan solid yang paling baik untuk proses anaerobik yaitu sekitar 8%. Untuk limbah kotoran sapi segar dibutuhkan pengenceran 1 : 1 dengan air. Teknologi pencernaan anaerob bila digunakan dalam sistem perencanaan yang matang, tidak hanya mencegah polusi tetapi juga menyediakan energi berkelanjutan, pupuk dan rekoveri nutrisi tanah. Untuk itu proses ini dapat mengubah limbah dari suatu masalah menjadi suatu yang menguntungkan.

2.2 Air rawa

Air merupakan sumber daya alam yang diperlukan untuk hajat hidup orang banyak, bahkan oleh semua makhluk hidup. Konservasi ekosistem lingkungan mempunyai peran utama dalam mengendalikan tata ruang wilayah, termasuk pengawasan hutan lindung yang didalamnya terdapat sumberdaya alam termasuk air rawa.

Rawa merupakan kawasan lahan rendah yang senantiasa memiliki kepekaan tergenang air pada kurun waktu tertentu maupun sepanjang tahun (Kordik dan Tancung, 2005). Sumber air rawa meliputi air hujan, air luapan akibat rambatan pasang air laut dan air luapan banjir di bagian hulu.

Air rawa ditinjau dari asal usulnya, bahwa air rawa berasal dari air hujan yang jatuh melalui proses siklus hidrologi, energi panas matahari dan faktor-faktor iklim lainnya menyebabkan terjadinya proses evaporasi pada permukaan tanah, di laut atau badan-badan air lainnya. Uap air sebagai hasil proses evaporasi akan terbawa oleh angin melintasi dataran yang bergunung-gunung maupun datar, dan apabila keadaan atmosfer memungkinkan, sebagian dari uap air tersebut akan terkondensasi dan turun sebagai air hujan.

Secara singkat dapat dijelaskan bahwa pada tahap awal, ada tubuh air yang berupa rawa ataupun danau kecil yang disekitarnya terdapat tumbuhan-tumbuhan yang bila dedaunan ini membusuk akan menghasilkan gas rawa. Gas biogenik ini merupakan hasil aktifitas organisme.

Gas biogenik adalah gas *methane* / metana (CH₄) yang memang sudah sangat akrab dengan kehidupan manusia karena sangat umum ditemukan di mana saja di permukaan bumi ini. Gas ini dapat terbentuk dari tiga proses utama yaitu (Schoell, 1988):

1. **Fermentasi bakteri anaerobik** pada sampah, kotoran ternak atau sejenisnya. Gas yang dihasilkan proses ini disebut biogas methana atau gas biomasa.
2. **Fermentasi bakteri asetat pada lapisan sedimen yang kaya zat organik** (*gas charged sediment*) secara kimiawi: $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$.
3. **Proses reduksi CO₂ oleh bakteri** dari batuan volkanik atau magmatik alami secara kimiawi: $\text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4$.

Gas metana (CH₄) merupakan gas hidrokarbon yang mudah terbakar, memiliki rantai karbon terpendek (C₁) sehingga merupakan gas yang paling ringan, yaitu sekitar 0,7 lebih ringan dari udara, sehingga jika tersebar diudara akan langsung menguap naik ke atmosfer. Namun demikian, jika digunakan sebagai sumber energi termasuk jenis bahan bakar yang ramah lingkungan, karena hasil pembakarannya mengeluarkan karbon dioksida (CO₂) dalam jumlah yang lebih kecil dibandingkan jenis bahan bakar hidrokarbon lainnya.

2.2.1 *Total Suspended Solid (TSS) dan Total Dissolved Solid (TDS)*

Total Suspended Solid (TSS) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel lebih besar dari ukuran partikel koloid. Yang termasuk TSS adalah lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri dan jamur. TSS umumnya dihilangkan dengan flokulasi dan penyaringan. TSS memberikan kontribusi untuk kekeruhan (*turbidity*) dengan membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan. Sehingga nilai kekeruhan tidak dapat dikonversi ke nilai TSS. Kekeruhan adalah kecenderungan ukuran sampel untuk menyebarkan cahaya. Sementara hamburan diproduksi oleh adanya partikel tersuspensi dalam sampel. Kekeruhan adalah murni sebuah sifat optik. Pola dan intensitas sebaran akan berbeda akibat perubahan dengan ukuran dan bentuk partikel serta materi.

Total Dissolved Solid (TDS) adalah semua bahan dalam contoh air yang lolos melalui saringan membran berpori 2,0 m atau lebih kecil. TDS yang terkandung didalam air biasanya berkisar antara 20 – 1000 mg/L. Sumber utama untuk TDS dalam perairan adalah limbah dari pertanian. Limbah rumah tangga, dan industri. Unsur kimia yang paling umum adalah kalsium, fosfat, nitrat, natrium, kalium, dan klorida.

Perbedaan antara TSS dan TDS adalah berdasarkan prosedur penyaringan. Padatan selalu diukur sebagai berat kering dan prosedur pengeringan harus diperhatikan untuk menghindari kesalahan yang disebabkan oleh kelembaban yang tertahan atau kehilangan bahan akibat penguapan atau oksidasi.

2.3 EM-4 (*Effective Microorganism-4*)

Teknologi EM (*effective microorganism*) dapat digunakan dalam bidang pertanian, peternakan, perikanan, lingkungan, kesehatan dan industri. EM merupakan campuran mikroorganisme bermanfaat yang terdiri dari lima kelompok, 10 genus, 80 spesies dan setelah dilahan mejadi 125 spesies. Kandungan EM terdiri dari bakteri fotosintetik, bakteri asam laktat, *actinomicetes*, ragi, dan jamur fermentasi. Bakteri fotosintetik membuat zat-zat bermanfaat yang menghasilkan asam amino, asam nukleat dan zat-zat bioaktif yang berasal dari gas berbahaya dan berfungsi untuk mengikat nitrogen dan udara. Bakteru asam laktat berfungsi untuk fermentasi bahan organik jadi asam laktat, percepatan perombakan bahan organik, lignin dan selulosa, serta menekan patogen dengan asam laktat yang dihasilkan. *Actinomicetes* menghasilkan zat anti mikroba dari asam amino yang dihasilkan bakteri fotosintetik. Ragi menghasilkan zat anti biotik, enzim dan hormon, sekresi ragi menjadi substrat untuk mikroorganisme efektif bakteri asam laktat *actinomicetes*.

EM-4 merupakan suatu cairan yang berwarna kecoklatan dan beraroma manis asam (segar) yang mana didalamnya terkandung campuran dari beberapa mikroorganisme hidup yang sangat bermanfaat dan menguntungkan guna proses penyuburan/persediaan unsur hara. EM-4 mengandung 95% bakteri *Lactobacillus sp.* (bakteri penghasil asam laktat) pelarut fosfat, bakteri fotosintetik,

Streptomyces sp, jamur pengurai selulosa dan ragi. EM-4 adalah suatu tambahan untuk mengoptimalkan pemanfaatan zat-zat makanan karena bakteri yang terdapat dalam EM-4 dapat mencerna selulosa, pati, gula, protein, lemak (Surung, 2008).

Tabel 1. Komposisi EM4 (*Effective Microorganism-4*)

Jenis Bakteri	Jumlah (Sel/ml)
Total <i>plate count</i>	$2,8 \times 10^6$
Bakteri pelarut fosfat	$3,4 \times 10^5$
<i>Lactobacillus</i>	$3,0 \times 10^5$
<i>Yeast</i>	$1,95 \times 10^3$
<i>Actinomycetes</i>	+
Bakteri fotosintetik	+

Sumber: PT Songgolangit Persada, 2011

2.4 Biogas

Biogas adalah energi bersih dan terbarukan yang dapat menghasilkan alternatif dari sumber energi konvensional yang dapat menyebabkan masalah bagi lingkungan dan meningkatkan laju penipisan energi dalam waktu yang lama. Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses anaerobik pada temperatur rendah dan tanpa oksigen (Agustine, 2011).

Biogas merupakan bahan bakar yang tidak menghasilkan asap merupakan suatu pengganti yang unggul untuk menggantikan bahan bakar minyak atau gas alam. Gas ini dihasilkan oleh suatu proses yang disebut proses pencernaan anaerobik, merupakan gas campuran metan (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan sejumlah kecil nitrogen, amonia, sulfur dioksida, hidrogen sulfida dan hidrogen. Secara alami, gas ini terbentuk pada limbah pembuangan air, tumpukan sampah, dasar danau atau rawa. Mamalia termasuk manusia menghasilkan biogas dalam sistem pencernaannya, bakteri dalam sistem pencernaan menghasilkan biogas untuk proses mencerna selulosa.

Biomasa yang mengandung kadar air yang tinggi seperti kotoran hewan dan limbah pengolahan pangan cocok digunakan untuk bahan baku pembuatan biogas.

Limbah peternakan merupakan salah satu sumber bahan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas, sementara perkembangan atau pertumbuhan industri peternakan menimbulkan masalah bagi lingkungan, karena menumpuknya limbah peternakan. Polutan yang disebabkan oleh dekomposisi kotoran ternak yaitu BOD dan COD (*Biological/Chemical Oxygen Demand*), bakteri patogen, polusi air (terkontaminasinya air bawah tanah, air permukaan), debu, dan polusi bau. Di banyak negara berkembang, kotoran ternak, limbah pertanian, dan kayu bakar digunakan sebagai bahan bakar. Polusi asap yang diakibatkan oleh pembakaran bahan bakar tersebut mengakibatkan masalah kesehatan yang serius dan harus dihindarkan (GHOSE, 1980) . Juga yang paling menjadi perhatian yaitu emisi metan dan karbondioksida yang menyebabkan efek rumah kaca dan mempengaruhi perubahan iklim global. Jika dilihat dari segi pengolahan limbah, proses anaerob juga memberikan beberapa keuntungan yaitu menurunkan nilai COD dan BOD, *total solid*, *volatile solid*, nitrogen nitrat, dan nitrogen organik. Bakteri coliform dan patogen lainnya, telur insek, parasit, bau juga dihilangkan atau menurun . Di daerah pedesaan yang tidak terjangkau listrik, penggunaan biogas memungkinkan untuk belajar dan melakukan kegiatan komunitas di malam hari . Beberapa alasan lain mengapa biogas dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif dan semakin mendapat perhatian yaitu :

- Harga bahan bakar yang terus meningkat .
- Dalam rangka usaha untuk memperoleh bahan bakar lain yang dapat diperbaharui .
- Dapat diproduksi dalam skala kecil di tempat yang tidak terjangkau listrik atau energi lainnya .
- Dapat diproduksi dalam konstruksi yang sederhana.

2.5 Karakteristik Biogas

Biogas didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan–bahan organik (seperti kotoran hewan, kotoran manusia, jerami, sekam, dan sayur–ayuran) difermentasi atau mengalami proses metanasi. Biogas terdiri dari campuran

metana (50 – 75%) CO₂ (25 – 45%), serta sejumlah kecil H₂, N₂, dan H₂S. Komposisi biogas dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Komposisi Biogas

Komponen	% Volume
Metana (CH ₄)	55 – 75
Karbon dioksida (CO ₂)	25 – 45
Nitrogen (N ₂)	0 – 0.3
Hidrogen (H ₂)	1 – 5
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0 – 3
Oksigen (O ₂)	0.1 – 0.5

Sumber : Bahrin dkk, 2011

Kandungan yang terdapat dalam biogas dapat mempengaruhi sifat dan kualitas biogas sebagai bahan bakar. Kandungan yang terdapat dalam biogas merupakan hasil dari proses metabolisme mikroorganisme. Biogas yang kandungan metananya lebih dari 45% bersifat mudah terbakar dan merupakan bahan bakar yang cukup baik karena memiliki nilai kalor bakar yang tinggi. Tetapi jika kandungan CO₂ dalam biogas sebesar 25 – 50% maka dapat mengurangi nilai kalor bakar dari biogas tersebut. Sedangkan kandungan H₂S dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada peralatan dan perpipaan dan nitrogen dalam biogas juga dapat mengurangi nilai kalor bakar biogas tersebut. Selain itu juga terdapat uap air yang dapat menyebabkan kerusakan pada pembangkit yang digunakan (Deublein dan Steinhauster, 2008).

2.6 Sumber Bahan Baku Biogas

Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan – bahan organik oleh bakteri -bakteri anaerob (kedap udara). Pada umumnya semua jenis bahan organik yang diproses untuk menghasilkan biogas, tetapi hanya bahan organik padat dan cair homogen seperti kotoran urin hewan ternak yang cocok untuk sistem biogas sederhana. Diperkirakan ada tiga jenis bahan baku untuk dikembangkan sebagai bahan baku biogas di Indonesia, antara lain kotoran hewan dan manusia, sampah organik, dan limbah cair.

2.6.1 Biomassa Organik

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Umumnya digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonominya rendah atau merupakan limbah setelah diambil primernya.

Dibagi atas 2 jenis biomassa, yakni :

A. Biomassa Basah

Biomassa jenis ini dapat diperoleh dari limbah cair, kotoran hewan, dan sayur-sayuran. Biasanya mudah didapat di pasar dan diperternakan yang dibuang begitu saja tanpa mereka tau bahwa bahan – bahan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai biogas yang mempunyai nilai ekonomi tinggi.

B. Biomassa Kering

Biomassa jenis ini dapat diperoleh dari bahan tanaman yang berasal dari hutan atau aeral pertanian. Dari hutan biasanya hanya kayu yang dianggap memiliki nilai ekonomis tinggi sebagai bahan baku bubur kertas, pertukangan atau kayu bakar. Peluang kayu untuk bioenergi baik selama masih dihutan maupun setelah masuk industri cukup besar. Pemanfaatan kayu yang ditebang untuk bahan baku kertas hanya 50% saja. Sisanya belum dimanfaatkan bahkan terbuang begitu saja. Bagian yang tersisa ini bisa dimanfaatkan untuk bioenergi.

2.7 Tahap Pembentukan Biogas

2.7.1 Teknologi pencernaan anaerobik

Proses pencernaan anaerobik , yang merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktivitas bakteri metanogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara . Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga. Proses anaerobik dapat berlangsung di bawah kondisi lingkungan yang luas meskipun proses yang optimal hanya terjadi pada kondisi yang terbatas (Tabel 3) .

Tabel 3. Kondisi Pengoperasian Pada Proses Pencernaan Kandungan Metana

Parameter	Nilai
Temperatur	
- Mesofilik	35°C
- Termofilik	54°C
pH	7 – 8
Alkalinitas	2500 mg/L minimum
Waktu retensi	10 – 30 hari
Laju terjenuhkan	0,15 – 0,35 kg VS/m ³ /hari
Hasil biogas	4,5 – 11 m ³ /kg VS
Kandungan metana	60 – 70 %

Sumber: Engler, C.R. (2000)

Pembentukan biogas meliputi tiga tahap proses yaitu:

1. Hidrolisis

Pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik mudah larut dan pencernaan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana, perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer.

Menurut Drapcho (2008), molekul – molekul kompleks tersebut terlalu besar untuk dapat ditransportasikan melewati membran sel yang dilepaskan oleh bakteri. Pemecahan molekul – molekul kompleks tersebut dilakukan oleh dua tipe enzim, endoenzim disintesis dalam sel bakteri dan mendegradasi molekul bersamaan dalam sel dilepaskan ke lingkungan sekitar bakteri. Saat menyentuh molekul kompleks, enzim akan melarutkan partikel dan substrat kolodial, kemudian substrat ini masuk ke dalam sel dan didrgradasi oleh endoenzim (Geradi, 2003).

Polisakarida dihidrolisis menjadi glukosa oleh enzim selusase dan *hemiselulase*, protein dan lemak dihidrolisis menjadi asam amino dan asam lemak rantai panjang oleh *protease* dan *lipase* (Drapcho, 2008).

Bakteri yang berperan dalam tahap hidrolisis ini adalah sekelompok bakteri anaerobik, seperti *Bactericides* dan *Clostridia* maupun anaerobik fakultatif, seperti *Streptococci sp.* (Yadika dkk, 2004).

2. Pengasaman (Asidogenesis)

Pada tahap pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari perombakan gula-gula sederhana ini yaitu asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butirir, gas karbondioksida, hidrogen dan amonia

Reaksi ini dimulai dengan konversi monomer gula menjadi piruvat ($C_3H_4O_3$), ATP, dan elektron pembawa molekul NADH melalui jalur metabolik pusat. Selanjutnya, piruvat dan asam amino difermentasi menjadi asam lemak rantai pendek – seperti asetat, propionat, butirir, suksinat – alkohol, CO_2 dan H_2 . Proses fermentasi ini akan menghasilkan berbagai asam lemak rantai pendek, sehingga disebut sebagai tahap pembentukan asam (Drapcho, 2008).

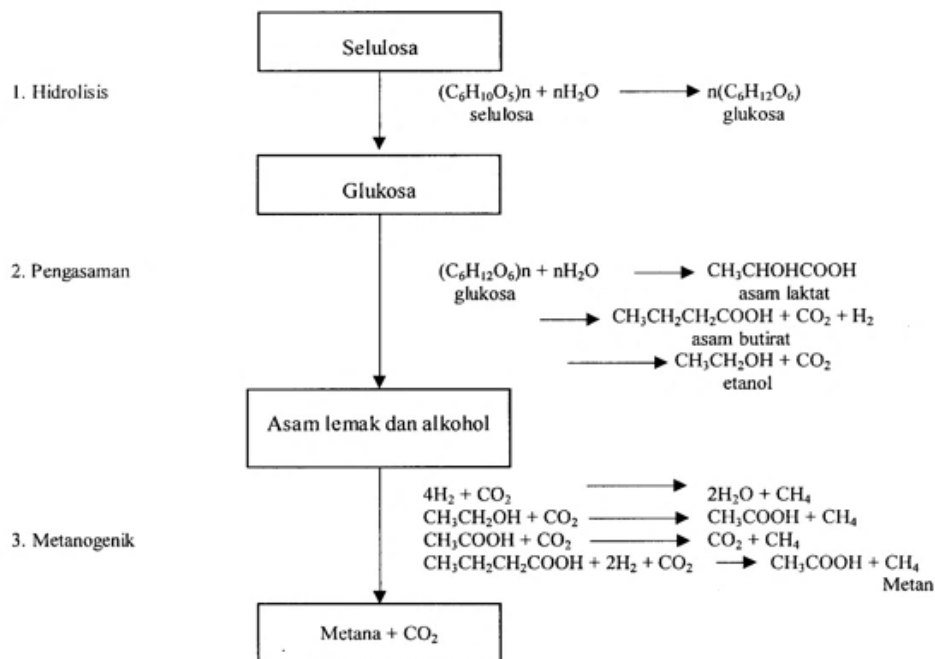
Kadar pH yang terlalu rendah akan mempengaruhi pertumbuhan baktwei metanogen, karena kondisi fermentasi akan terhenti pada pH dibawah 5 (Yani dan Darwis, 1990). Kondisi pH menjadi faktor yang penting dalam pertumbuhan bakteri anaerobik, sehingga penambahan larutan penyangga diperlukan untuk mengoptimalkan pertumbuhan bakteri metanogen.

Bakteri pembentuk asam mempunyai kemampuan lebih baik untuk bertahan terhadap perubahan lingkungan dibandingkan bakteri penghasil metana. Bakteri yang bekerja dalam tahap *acidogenesis* adalah seperti *Syntrophoma nas Wolfei* (Bryant, 1987).

3. Metanogenik

Pada tahap metanogenik terjadi proses pembentukan gas metan. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini, yaitu mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hidrogen sulfida. Tahap metanogenik merupakan akhir dari keseluruhan proses konversi anaerobik dari bahan organik menjadi gas metana dan karbon dioksida. Bakteri yang bekerja pada tahap ini adalah bakteri *metanogen*, misalnya *Methanobacterium omelianski*, *Methanobacterium ruminantium*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus* (Yani dan Darwis, 1990). Pada tahap ini, terjadi fermentasi metana secara dua tipe reaksi. *Hydrogenotrophic methanogenesis*, yaitu CO_2 dan H_2 diubah menjadi metana dan air dan kedua *acetoclastic methanogenesis*, yaitu asetat diubah menjadi metana

dan CO_2 (Werner dkk, 1989). Sedangkan menurut Gerardi (2003), terdapat satu tipe reaksi tambahan, yaitu *methyltrophic methanogenesis* yang terjadi pada substrat yang mengandung grup methyl ($-\text{CH}_3$), misalnya methanol (CH_3OH) dan methylamines [$(\text{CH}_3)_3\text{-N}$].



Sumber : Haryati, Tuti 2014

Gambar 1 Diagram Alur Proses Fermentasi Anaerobik

Adapun bakteri yang terlibat dalam proses anaerobik ini yaitu bakteri hidrolitik yang memecah bahan organik menjadi gula dan asam amino, bakteri fermentatif yang mengubah gula dan asam amino tadi menjadi asam organik, bakteri asidogenik mengubah asam organik menjadi hidrogen, karbondioksida dan asam asetat dan bakteri metanogenik yang menghasilkan metan dari asam asetat, hidrogen dan karbondioksida. Optimisasi proses biogas akhir-akhir ini difokuskan pada proses pengontrolan agar mikroorganisme yang terlibat dalam keadaan seimbang, mempercepat proses dengan peningkatan desain digester dan pengoperasian fermentasi pada temperatur yang lebih tinggi dan peningkatan biogas yang dihasilkan dari bahan dasar biomasa lignoselulosa melalui perlakuan awal. Di dalam digester biogas, terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan,

yakni bakteri asidogenik dan bakteri metanogenik. Kedua jenis bakteri ini perlu eksis dalam jumlah yang berimbang. Bakteri-bakteri ini memanfaatkan bahan organik dan memproduksi metan dan gas lainnya dalam siklus hidupnya pada kondisi anaerob. Mereka memerlukan kondisi tertentu dan sensitif terhadap lingkungan mikro dalam *digester* seperti temperatur, keasaman dan jumlah material organik yang akan dicerna. Terdapat beberapa spesies metanogenik dengan berbagai karakteristik. Bakteri ini mempunyai beberapa sifat fisiologi yang umum, tetapi mempunyai morfologi yang beragam seperti *Methanomicrobium*, *Methanosarcina*, *Metanococcus* dan *Methanotherix* (YONGZHI dan Hu, 2001). Bakteri metanogenik tidak aktif pada temperatur sangat tinggi atau rendah. Temperatur optimumnya yaitu sekitar 35°C. Jika temperatur turun menjadi 10°C, produksi gas akan terhenti. Produksi gas yang memuaskan berada pada daerah mesofilik yaitu antara 25 - 30°C. Biogas yang dihasilkan pada kondisi di luar temperatur tersebut mempunyai kandungan karbondioksida yang lebih tinggi. Pemilihan temperatur yang digunakan juga dipengaruhi oleh pertimbangan iklim. Untuk kestabilan proses, dipilih kisaran temperatur yang tidak terlalu lebar. Pada cuaca yang hangat, *digester* dapat dioperasikan tanpa memerlukan pemanasan. Instalasi *digester* di bawah tanah berfungsi sebagai proses insulasi sehingga akan memperkecil biaya pemanasan. Kegagalan proses pencernaan anaerobik dalam *digester* biogas bisa dikarenakan tidak seimbangnya populasi bakteri metanogenik terhadap bakteri asam yang menyebabkan lingkungan menjadi sangat asam (pH kurang dari 7) yang selanjutnya menghambat kelangsungan hidup bakteri metanogenik. Kondisi keasaman yang optimal pada pencernaan anaerobik yaitu sekitar pH 6,8 sampai 8, laju pencernaan akan menurun pada kondisi pH yang lebih tinggi atau rendah.

Bakteri yang terlibat dalam proses anaerobik membutuhkan beberapa elemen sesuai dengan kebutuhan organisme hidup seperti sumber makanan dan kondisi lingkungan yang optimum. Bakteri anaerob mengkonsumsi karbon sekitar 30 kali lebih cepat dibanding nitrogen. Hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen dinyatakan dengan rasio karbon/nitrogen (C/N), rasio optimum untuk *digester* anaerobik berkisar 20 - 30. Jika C/N terlalu tinggi, nitrogen akan dikonsumsi

dengan cepat oleh bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhannya dan hanya sedikit yang bereaksi dengan karbon akibatnya gas yang dihasilkan menjadi rendah. Sebaliknya jika C/N rendah, nitrogen akan dibebaskan dan berakumulasi dalam bentuk amonia (NH₄) yang dapat meningkatkan pH. Jika pH lebih tinggi dari 8,5 akan menunjukkan pengaruh negatif pada populasi bakteri metanogen. Kotoran ternak sapi mempunyai rasio C/N sekitar 24. Rasio C/N beberapa bahan yang umum digunakan sebagai bahan baku biogas disajikan pada Tabel 2.3 (KARKI dan DIXIT, 1984).

Tabel 4. Rasio Karbon dan Nitrogen (C/N) dari beberapa bahan

Bahan	Rasio C/N
Kotoran bebek	8
Kotoran manusia	8
Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran babi	18
Kotoran domba	19
Kotoran sapi/kerbau	24
Eceng gondok	25
Kotoran gajah	43
Batang jagung	60
Jerami padi	70
Jerami gandum	90
Serbuk gergaji	Diatas 200

Sumber : KARKI dan DIXIT (1984)

2.8 Analisis Variabel Fermentasi Biogas

Proses fermentasi Kotoran sapi oleh air menjadi biogas memerlukan variabel proses yang tepat, karena pada tahap ini terjadi tahap pencernaan material organik. berikut beberapa variabel yang sangat berpengaruh adalah:

1. Temperatur Proses.

Perlu diketahui bahwa laju pembentukan gas CH₄ dalam reaktor biogas sangat dipengaruhi oleh temperatur. Temperatur ini akan berhubungan dengan kemampuan bakteri yang ada dalam reaktor. Bakteri psychrophilic 0 – 7 °C, bakteri mesophilic pada temperatur 13 – 40 °C sedangkan thermophilic pada temperatur 55 – 60 °C (Amaru Khasristya, 2004) Temperatur yang optimal untuk digester

adalah temperatur 30 – 35 °C, kisaran temperatur ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan bakteri dan produksi methana di dalam digester dengan lama proses yang pendek. Massa bahan yang sama akan dicerna dua kali lebih cepat pada 35°C dibanding pada 15°C dan menghasilkan hampir 15 kali lebih banyak gas pada waktu proses yang sama (Amaru Khasristya, 2004). Jadi temperatur proses perlu dijaga dengan batas ambang maksimal adalah 35°C, agar agar tidak banyak menguap sehingga bakteri anaerob dapat hidup selama proses pembentukan biogas.

2. Derajat Keasaman (pH)

Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah derajat keasaman. Derajat keasaman (pH) dari *digester* yang baik berada pada kisaran 7-8,5. Sementara, derajat keasaman pada kebanyakan bahan bio adalah pada kisaran 5-9. Pada bahan bio Kotoran sapi yang masih segar dimasukkan umumnya mempunyai pH 7,7. Kemudian setelah dimasukkan ke dalam *digester* dan dicampur dengan air, keasamannya turun hingga 6,58. Lama proses suatu bahan bio dapat menghasilkan gas CH₄ yang optimum sangat tergantung pada temperatur dan lama proses digestion. Untuk bahan Kotoran sapi misalnya pada temperatur 30-35 °C, produksi CH₄ optimum terjadi pada hari ke-5 atau hari ke-7, tergantung volume Kotoran sapi yang dijadikan umpan. Setelah hari ke-8, produksi gas CH₄ akan menurun.

3. Perbandingan Air dan Kotoran Sapi

Perbandingan air dan Kotoran sapi yang baik untuk terjadinya proses fermentasi Kotoran sapi menjadi biogas adalah 1:1. Hal ini disebabkan air yang digunakan harus berbanding sama dengan Kotoran sapi agar pH proses fermentasi terjaga dengan baik. Setelah dicampurkan, air dan kotoran sapi harus diaduk rata agar terjadi homogenisasi sehingga proses fermentasi dapat berjalan dengan semestinya. Memanfaatkan Kotoran sapi sebagai biogas oleh warga disekitar daerah peternakan sapi akan mengurangi pencemaran dan sekaligus usaha menjaga kelestarian alam. Jadi, masyarakat setempat tidak akan pernah kehabisan Kotoran sapi, karena kotoran sapi ini terus bertambah. Selain itu, jika masyarakat

benar-benar memanfaatkan Kotoran sapi untuk bio gas, berarti persoalan sampah Kotoran sapi yang menumpuk di daerah peternakan akan teratasi.

Tapi tentunya usaha untuk melakukan sosialisasi ke masyarakat tentang biogas yang dihasilkan dari Kotoran sapi ini akan banyak menemui kendala. Hal yang perlu diubah adalah pola pikir masyarakat. Masyarakat terbiasa untuk instan, apalagi sekarang tabung elpiji sudah tersedia di mana-mana dan dengan harga yang cukup terjangkau.

2.9 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas

1. Laju Pembebanan (*Loading Rate*)

Laju pembebanan biasa disebut *loading rate* adalah besaran yang menyatakan jumlah material organik dalam satu satuan volume yang diumpankan pada reaktor. Substrat cair yang diumpankan dapat didegradasi oleh mikroba, kemudian diubah menjadi metana melalui proses biologis oleh mikroba – mikroba pengurai didalam reaktor. Perubahan laju pembebanan yang mendadak dapat mengakibatkan kenaikan yang setara dalam produksi asam, yang tidak dapat disesuaikan oleh kenaikan yang setara dalam pembentukan metana. Pembentukan produk asam asetat (asam lemak organik) akan mengakibatkan penurunan pH dan penghambatan lebih jauh dari produksi metan akan terjadi. Satuan laju pembebanan adalah kg COD/m³ hari.

2. Konsentrasi substrat (COD)

Konsentrasi bahan organik sangat berpengaruh terhadap perencanaan pembuatan dimensi reaktor dan juga bagi kelangsungan proses penguraian zat organik kompleks menjadi senyawa sederhana. Kelemahan perencanaan reaktor dengan kandungan COD yang rendah adalah kebutuhan volume umpan substrat. COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990; Metcalf & Eddy, 1991), sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai, akan teroksidasi.

Menurut Efendi, kebutuhan oksigen kimiawi atau *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis CO₂ dan H₂O.

Chemical Oxygen Demand (COD) digunakan sebagai ukuran kuantitas bahan organik di dalam air limbah industri dan berpotensi untuk memproduksi biogas. Pada proses perombakan anaerobik, COD yang terurai hadir di dalam material organik dan dihasilkan produk akhir yang bernama metana dan baru terbentuk masa bakteri. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Maka konsentrasi COD dalam air harus memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan agar tidak mencemari lingkungan.

Uji COD yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan – bahan organik yang terdapat dalam air. Pengukuran COD didasarkan pada kenyataan hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi karbon dioksida dan air dengan bantuan oksidator kuat yaitu kalium dikromat (K₂Cr₂O₇) dalam suasana asam. Dengan menggunakan dikromat sebagai oksidator, diperkirakan sekitar 95 – 100 % bahan organik dapat dioksidasi.

Air yang telah tercemar limbah organik sebelum reaksi berwarna kuning dan setelah reaksi oksidasi berubah menjadi warna hijau. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap limbah organik seimbang dengan jumlah kalium dikromat yang digunakan pada reaksi oksidasi. Hasil COD tidak tergantung pada aklimasi bakteri, aklimasi sendiri adalah perubahan adaptif yang terjadi pada bakteri dalam kondisi terkendali.

3. Alkalinitas

Alkalinitas pada proses fermentasi anaerobik adalah kemampuan lumpur didalam reaktor untuk menetralkan asam. Hal ini diperlukan untuk mengimbangi fluktuasi konsentrasi asam didalam reaktor, sehingga fluktuasi pH tidak terlalu besar dan tidak sampai mengakibatkan gangguan pada stabilitas reaktor.

4. pH

pH adalah besaran yang menyatakan banyaknya ion H^+ . Nilai pH ini dirumuskan sebagai $pH = -\log(H)$. Stabilitas proses fermentasi anaerobik sangat tergantung pada nilai pH didalam reaktor. Pengaturan pH sangat penting untuk menjaga pertumbuhan mikroba yang terbaik dari proses pengubahan sistem mikroba anaerobik. Pada awal operasi atau pada saat inokulasi pH dalam bioreaktor dapat turun menjadi 6 atau lebih rendah. pH yang rendah menyatakan adanya kelebihan proton (H) didalam reaktor sebab proton akan berubah menjadi H_2 yang merupakan senyawa dalam reaktor, pH yang baik untuk operasi adalah 6,0 – 7,5. Bakteri pada umumnya tumbuh dalam suatu rentang pH tiga unit dan mikroba juga menunjukkan nilai pertumbuhan maksimum pada pH antara 6,0-7,5. Pada pH lebih rendah dari 5,0 dan lebih tinggi dari 8,5 pertumbuhannya sering terhambat meskipun untuk beberapa mikroba ada pengecualian, seperti sejumlah kecil *Accetobacter sp.* Pengaturan pH sangat penting untuk menjaga pertumbuhan mikroba yang terbaik ari proses pengubahan sistem mikroba anaerobik. Pada awal operasi atau pada saat inokulasi pH dalam bioreaktor dapat turun menjadi 6 atau lebih rendah. Hal ini disebabkan terbentuknya asam – asam lemak organik. Setelah beberapa saat pH akan naik kembali yang disebabkan karena terbentuknya gas metan dari asam – asam lemak tersebut.

5. Rasio Perbandingan Karbon (C) dan Nitrogen (N)

Rasio C/N adalah besaran yang menyatakan perbandingan jumlah atom karbon dibagi dengan atom nitrogen. Dalam reaktor terdapat populasi mikroba yang memerlukan karbon dan nitrogen. Apabila nitrogen tidak cukup tersedia, maka tidak terjadi produksi enzim oleh mikroba yang berguna untuk mencerna karbon. Apabila nitrogen terlalu banyak maka pertumbuhan mikroba akan terganggu, hal ini khususnya terjadi apabila kandungan amonia didalam substrat terlalu tinggi. Kebutuhan atom – atom karbon selama respirasi pembentukan gas untuk setiap 1 atom nitrogen adalah sebanyak 30 atom karbon, oleh karena itu nilai C/N yang baik adalah sekitar 30.

2.10 Digester

2.10.1 Berdasarkan Aliran Bahan Baku

a. Bak (*Batch*)

Pada digester tipe bak, bahan baku ditempatkan didalam suatu wadah atau bak dari sejak awal hingga selesainya proses *digestion*. Digester ini umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi dari gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil. Pada proses *batch*, proses akan terjadi satu kali hanya ketika umpan baru dimasukkan.

b. Mengalir (*Continuous*)

Pada digester tipe mengalir, aliran bahan baku dimasukkan dan residu dikeluarkan pada selang waktu tertentu. Lamanya bahan baku berada dalam reaktor digester disebut waktu retensi.

2.10.2 Berdasarkan Tata Letak Penempatan

a. Seluruh digester diatas permukaan tanah

Biasanya dibuat dari tong – tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah volume yang kecil sehingga biogas yang dihasilkan hanya mampu digunakan untuk kebutuha sebuah rumah tangga. Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi sehingga tidak tahan lama. Untuk skala yang besar, digester jenis ini juga membutuhkan lahan yang besar.

b. Sebagian tangki biogas diletakkan dibawah permukaan tanah.

Digester ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil dan kapur yang dibentuk seperti sumur dan ditutup dengan plat baja atau konstruksi semen. Volume tangki dapat dibuat untuk skala besar ataupun skala kecil sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan dari sistem ini jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah akan merambat melalui plat baja sehingga memperlambat proses bekerjanya bakteri.

2.10.3 Komponen Utama Digester

Komponen utama digester cukup banyak dan bervariasi, tergantung dari jenis digester yang digunakan dan tujuan pembangunan digester. Secara umum komponen digester terdiri dari empat komponen utama sebagai berikut :

a. Saluran masuk *Slurry* (bahan organik)

Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* (campuran bahan organik) kedalam reaktor utama biogas. Tujuan pencampuran adalah untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan mengalirkan bahan baku dan menghindari endapan pada saluran masuk.

b. Ruang *Digestion* (ruang fermentasi)

Berfungsi sebagai tempat terjadinya fermentasi anaerobik dan dibuat kedap udara. Ruang ini juga dilengkapi dengan penampung biogas.

c. Saluran Keluar Residu (*Sludge*)

Berfungsi untuk mengeluarkan kotoran yang telah mengalami fermentasi anaerobik oleh bakteri. Residu yang pertama kali keluar merupakan *slurry* yang sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

d. Tangki Penyimpanan Biogas

Berfungsi untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik.

2.10.4 Komponen Pendukung Digester

Selain komponen – komponen tersebut diatas, pada sebuah *digester* memerlukan komponen pendukung untuk menghasilkan biogas dalam jumlah banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung adalah :

a. Katup pengaman

Fungsi dari katup ini adalah sebagai pengaman *digester* dari lonjakan tekanan yang berlebihan. Bila tekanan dalam tabung penampung biogas terlalu tinggi maka akan dibuang keluar, selanjutnya tekanan didalam *digester* akan turun kembali. Katup pengaman cukup penting didalam reaktor biogas yang besar dan

sistem kontinyu, karena umumnya digester dibuat dari material yang tidak tahan tekanan tinggi supaya biaya konstruksinya tidak mahal.

b. Sistem Pengaduk

Pada *digester* yang besar, sistem pengaduk menjadi sangat penting. Hal ini bertujuan untuk menjaga material padat tidak mengendap pada dasar *digester*. Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada didalam *digester* dan temperatur terjaga diseluruh bagian. Dengan pengadukan, potensi material mengendap didasar digester semakin kecil, konsentrasi merata dan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob secara merata, selain itu dengan pengadukan dapat mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju kebagian penampung gas.

c. Saluran Biogas

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