

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kotoran (Feses) Sapi

Kotoran sapi adalah buangan dari suatu kegiatan usaha peternakan seperti usaha pemeliharaan ternak, rumah potong hewan dan pengolahan produk ternak (Simamora dan Salundik, 2006). Dengan semakin berkembangnya usaha peternakan dan kebutuhan manusia akan hasil ternak maka limbah yang dihasilkan semakin meningkat. Minimnya pengetahuan masyarakat akan (pengelolaan sampah-sampah yang dihasilkan membuat produksi limbah di tempat pembuangan akhir semakin meningkat tanpa ada pengelolaan yang benar dan tepat misalnya saja pembuangan limbah organik dan anorganik yang tidak terpisah.

Limbah organik di tempat pembuangan akhir akan mengalami proses dekomposisi secara anaerobik sehingga menghasilkan gas CH_4 (metana). Gas metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dibanding dengan CO_2 . Untuk mereduksi emisi metana (CH_4) dari tempat pembuangan akhir ke atmosfer dapat digunakan dengan cara, yaitu memanfaatkan metana di tempat pembuangan akhir sebagai bahan bakar (biogas) (Ratnaningsih, 2009).

Limbah kotoran ternak adalah salah satu jenis limbah yang dihasilkan dari kegiatan peternakan, limbah ini mempunyai andil dalam pencemaran lingkungan karena limbah kotoran ternak sering menimbulkan masalah lingkungan yang mengganggu kenyamanan hidup masyarakat disekitar peternakan, gangguan itu berupa bau yang tidak sedap yang ditimbulkan oleh gas yang berasal dari kotoran ternak, terutama gas amoniak (NH_3) dan gas Hidrogen (H_2S) (Peternakan Kita. 2012).

Ada beberapa jenis limbah dari peternakan dan pertanian, yaitu limbah padat, cair dan gas. Limbah padat adalah semua limbah yang berbentuk padatan atau berada dalam fase padat. Limbah cair adalah semua limbah yang berbentuk cairan atau berada dalam fase cair. Sementara limbah gas adalah semua limbah yang berbentuk gas atau berada dalam fase gas. Limbah tersebut dapat diolah menjadi energi, yaitu biogas (Sri Wahyuni, 2009).

Dibalik kotoran sapi tersebut, tersimpan suatu energi baru yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat didaerah ini. Oleh para peneliti dari Fakultas Teknik UGM, gas yang dihasilkan oleh kotoran sapi, dimanfaatkan sebagai energi pengganti gas LPG.

Dengan biogas ini, maka penduduk dapat mempergunakannya untuk memasak kebutuhan sehari-hari. Sehingga dapat menghemat biaya untuk pembelian gas LPG Proses pengolahan limbah kotoran sapi sesungguhnya tidak terlalu sulit.

Kotoran sapi dari dalam kandang, dikumpulkan menjadi satu didalam tempat penampungan. Dari situ, lalu dimasukkan kedalam degister yang berbentuk seperti sumur. Didalam degister inilah proses penguraian pembentukan gas terjadi. Gas yang dihasilkan dari dalam degister, untuk selanjutnya disalurkan kerumah-rumah warga.

Didalam rumah warga, terdapat suatu alat ukur tekanan gas. Yang digunakan untuk mengetahui ketersediaan gas. Bila degister penuh, maka secara otomatis kotoran didorong ke outlet yang telah disediakan. Outlet tersebut berbentuk DOM besar. Didalam degister akan terjadi proses pergantian secara otomatis, apabila kotoran yang baru dimasukkan, maka kotoran yang lama akan terangkat dengan sendirinya. Sisa dari proses penguraian biogas ini pun masih bisa dimanfaatkan sebagai pupuk. Jadi, warga mendapatkan manfaat ganda dari kotoran ternaknya. Selain, mendapatkan gas untuk memasak, juga bisa mendapatkan pupuk untuk tanaman mereka.

2.2 Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit (POME)

POME adalah salah satu produk samping dari pabrik minyak kelapa sawit yang berasal dari kondensat dari proses sterilisasi, air dari proses klarifikasi, air hydrocyclone (*claybath*), dan air pencucian pabrik. POME mengandung berbagai senyawa terlarut termasuk, serat-serat pendek, hemiselulosa dan turunannya, protein, asam organik bebas dan campuran mineral-mineral.

Limbah cair dari pabrik minyak kelapa sawit ini umumnya bersuhu tinggi 70-80°C, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan *biological oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD) yang tinggi. Apabila limbah cair ini langsung dibuang ke perairan dapat mencemari lingkungan. Jika limbah tersebut langsung dibuang ke perairan, maka sebagian akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tajam dan dapat merusak ekosistem perairan. Sebelum limbah cair ini dapat dibuang ke lingkungan terlebih dahulu harus diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan. Tabel 2.1. berikut merupakan sifat dan komponen air limbah industri minyak kelapa sawit (Ngan, 2000).

Tabel 2.1. Sifat dan Komponen POME

Parameter	Rata-rata
Ph	4,7
Minyak (mg/L)	4000
BOD (mg/L)	25000
COD (mg/L)	50000
Total Solid (mg/L)	40500
Suspended Solid (mg/L)	18000
Total Volatile Solid (mg/L)	34000
Total Nitrogen (mg/L)	750
Mineral	Rata-rata
Kalium (mg/L)	2270
Magnesium (mg/L)	615
Kalsium (mg/L)	439
Besi (mg/L)	46,5
Tembaga (mg/L)	0,89

*sumber : Ngan, 2000

Limbah cair kelapa sawit merupakan nutrisi yang kaya akan senyawa organik dan karbon, dekomposisi dari senyawa-senyawa organik oleh bakteri anaerob dapat menghasilkan biogas (Deublein dan Steinhauser, 2008). Jika gas-gas tersebut tidak dikelola dan dibiarkan lepas ke udara bebas maka dapat menjadi salah satu penyebab pemanasan global karena gas metana dan karbon dioksida yang dilepaskan adalah termasuk gas rumah kaca yang disebut-sebut sebagai sumber pemanasan global saat ini. Emisi gas metana 21 kali lebih berbahaya dari CO₂ dan CH₄ merupakan salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar (Sumirat dan Solehudin, 2009).

Tabel 2.2. Baku Mutu Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit

Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton)
BOD	100	0,25
COD	350	0,88
TSS	250	0,63
Minyak dan Lemak	25	0,063
Nitrogen total (sebagai N)	50,0	0,125

(Kep Men LH No.51, 1995)

Nikel (Ni)	0,5 mg/l
Kobal (Co)	0,6 mg/l
pH	6,0-9,0
Debit limbah maksimum	2,5 m ³ /ton produk minyak sawit (CPO)

(Kep Men LH No.51, 1995)

Pengolahan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit

Proses anaerobik merupakan proses yang dapat terjadi secara alami yang melibatkan beberapa jenis mikroorganisme yang berperan dalam proses tersebut. Proses yang terjadi pada pengolahan secara anaerobik ini adalah hidrolisis, asidogenik dan metanogenesis. Beberapa jenis bakteri bersama-sama secara bertahap mendegradasi bahan-bahan organik dari limbah cair (Deublein dan Steinhauster, 2008).

Pada pengolahan secara anaerobik ini bakteri yang berperan adalah bakteri fermentasi, bakteri asetogenik dan bakteri metanogenik yang memiliki peranan masing-masing dalam mendegradasi senyawa organik menjadi produk akhir berupa gas metan. Tiap fase dari proses fermentasi metan melibatkan mikroorganisme yang spesifik dan memerlukan kondisi hidup yang berbeda-beda. Bakteri pembentuk gas metan merupakan bakteri yang tidak memerlukan oksigen bebas dalam metabolismenya, bahkan adanya oksigen bebas dapat menjadi racun atau mempengaruhi metabolisme bakteri tersebut (Deublein dan Steinhauster, 2008).

Kehidupan mikroba dalam cairan memerlukan keadaan lingkungan yang cocok antara lain pH, suhu, dan nutrisi. Derajat keasaman pada mikroba yaitu antara pH 5-9. Oleh karena itu POME yang bersifat asam (pH 4-5) merupakan media yang tidak cocok untuk pertumbuhan bakteri, maka untuk mengaktifkan bakteri POME tersebut harus dinetralisasi. Penambahan bahan penetral pH dapat meningkatkan produksi biogas. Namun keasamannya dibatasi agar tidak melebihi pH 9, karena pada pH 5 dan pH 9 dapat menyebabkan terganggunya enzim bakteri (enzim terdiri dari protein yang dapat mengkoagulasi pada pH tertentu). Peningkatan pH optimum akan memacu proses pembusukan sehingga meningkatkan efektifitas bakteri methanogenik dan dapat meningkatkan produksi biogas. Mahajoen, dkk (2008) menyatakan menunjukkan bahwa pH substrat awal 7 memberikan peningkatan laju produksi biogas lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pH yang lain

2.3 Tahapan Pembentukan Gas Metan

Biogas merupakan salah satu hasil sampingan dari pembusukan bahan organik. Proses pembusukan dapat bersifat aerobik atau anaerobik. Pada proses pembusukan aerobik, bakteri aerobik memanfaatkan oksigen dan menghasilkan amoniak, bakteri anaerobik merombak bahan organik menjadi biogas, kotoran, dan pupuk organik cair. Proses pembusukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi. Proses kerja dari bakteri ini dapat dibagi dalam tiga tahapan yaitu tahap pemecahan polimer (Tahap 1), tahap pembentukan asam organik (Tahap 2) dan tahap produksi metan (Tahap 3).

- **Tahap 1 (Pemecahan polimer)**

Pada tahap ini sekelompok mikroorganisme akan menguraikan substrat organik. Penguraian ini dilakukan oleh berbagai jenis bakteri. Bakteri yang berperan antara lain memiliki enzim selulolitik, lipolitik dan proteolitik. Enzim yang dihasilkan ini mempercepat hidrolisa polimer menjadi monomer larut yang merupakan substrat bagi mikroorganisme tahap kedua. Bakteri selulolitik memegang peranan dalam tahap ini. Temperatur kerja optimum adalah 50–60°C (bakteri thermophilik) dan temperatur 30–40°C (bakteri mesophilik). Kedua kelompok selulolitik ini bekerja pada kisaran pH enam sampai dengan tujuh.

Pada proses ini kemungkinan penurunan pH bisa terjadi dikarenakan terbentuknya asam organik. Hal ini perlu distabilkan dengan penambahan larutan kapur. Apabila bakteri tahap 2 dan tahap 3 telah bekerja dan reaksi dalam kesetimbangan maka pH sistem berkisar tujuh. Kerja sinergis selalu terjadi diantara berbagai macam bakteri dalam pemecahan polimer menjadi monomer yang larut. Suatu studi menunjukkan bahwa laju pemecahan polimer lebih tinggi pada medium yang berisi campuran bakteri selulolitik dan nonselulolitik dibanding dalam medium berisi biakan murni bakteri selulolitik. Tahap pembentukan monomer ini merupakan tahap pengendali waktu dalam peruraian limbah ini. Hal ini disebabkan oleh kerja bakteri fermentor yang sangat lambat dibanding dengan kerja bakteri tahap 2 dan tahap 3. laju peruraian ini tergantung pada temperatur, jenis substrat dan pH sistem.

- **Tahap 2 (Pembentukan Asam Organik)**

Bakteri pada tahap ini menghasilkan asam-asam organik yang dibentuk dari senyawa monomer larut. Hasil terbesar dari bakteri asetogenik ini ialah asam asetat, propionat dan asam laktat. Bakteri metanogenik sebagian besar hanya memanfaatkan asam asetat. Beberapa spesies bakteri metanogenik dapat memproduksi metan dari gas hidrogen dan karbondioksida, yang mana bahan ini diproduksi selama dekomposisi karbohidrat. Selain itu metan juga dapat diproduksi dengan reduksi metanol atau hasil sampingan lain selama pemecahan karbohidrat. Mikrobiologi dalam proses ditahap ini belum jelas. Beberapa spesies bakteri bekerja dalam tahap ini, dan proporsi dari asam, gas hidrogen, karbondioksida dan alkohol yang dihasilkan tergantung dari pada pra yang ada dan kondisi lingkungan.

- **Tahap 3 (Produksi Metan)**

Bakteri metanogenik sangat peka terhadap lingkungan. Dikarenakan bakteri ini harus dalam keadaan anaerob, maka sejumlah kecil oksigen dapat menghalangi pertumbuhannya. Bukan hanya itu, bakteri ini juga kekal terhadap senyawa yang memiliki tingkat oksidasi tinggi seperti nitrit dan nitrat. Bakteri ini juga peka terhadap perubahan pH. Kisaran pH optimal untuk memproduksi metan adalah 7,0–7,2, namun gas masih diproduksi dalam kisaran 6,6–7,6. Jika pH dibawah 6,6 akan menjadi factor pembatas bagi bakteri dan pH dibawah 6,2 akan menghilangkan kemampuan bakteri metanogenik. Dalam keadaan demikian bakteri asetogenik tetap aktif hingga pH 4,5–5,0, sehingga diperlukan buffer untuk menetralkan pH. Beberapa senyawa merupakan racun bagi bakteri ini. Senyawa itu antara lain 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 sedmbarang pH), sulfida terlarut (lebih dari 50–100 mg/l) serta larutan garam dari beberapa logam seperti tembaga, seng dan nikel.

2.4 Produksi Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi tanpa oksigen (anaerob). Komponen biogas antara lain sebagai berikut : $\pm 60\%$ CH_4 (metana), $\pm 38\%$ CO_2 (karbon dioksida) dan $\pm 2\%$ N_2 , O_2 , H_2 , & H_2S . Biogas dapat dibakar seperti elpiji, dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan. Sumber energi Biogas yang utama yaitu kotoran ternak Sapi, Kerbau, Babi dan Kuda.

Tabel 2.3. Komposisi Biogas Secara Umum

Komposisi Biogas	Jumlah
Metan (CH_4)	55 – 70 %
Karbon dioksida (CO_2)	30 – 45 %
Nitrogen (N_2)	0 – 0,3 %
Hidrogen Sulfida (H_2S)	1 – 5 %

Produksi gas merupakan hasil proses fermentasi yang terjadi di dalam rumen yang dapat menggambarkan banyaknya bahan organik yang tercerna (Ella, 1997). Perbedaan nilai pencernaan disebabkan variasi total koloni mikrobia (Sudirman, 2005). Volume biogas yang dihasilkan semakin meningkat erat kaitannya dengan ketersediaan bahan organik yang mudah dicerna dan kondisi bakteri yang sudah beradaptasi dengan lingkungan digester. Pada pH rendah dekomposisi bahan organik dilakukan oleh bakteri yang dapat hidup pada pH rendah dan dekomposisi yang dihasilkan tidak optimal karena bakteri bekerja baik pada kondisi pH netral. Menurut Cronin dan Lo (1998), dekomposisi bahan organik yang berasal dari feses ternak mulai menghasilkan biogas setelah fermentasi berlangsung selama sepuluh hari dan sering terjadi lebih lambat lagi sampai hari kelima belas. Volume gas metan rata-rata meningkat dari 0,08-0,19 L CH_4 /hari dan penurunan *hydraulic retention times* (HRT) dari 5-3 hari. Hasil ini lebih rendah bila dibandingkan dengan Baloch (2007), yang menyatakan bahwa

produksi gas meningkat dengan menurunkan cemaran organik, yaitu biogas meningkat berkisar 16-62 L CH₄/hari.

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung pada konsentrasi metan (CH₄) semakin tinggi kandungan metan maka semakin tinggi kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil nilai metan maka semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter, yaitu menghilangkan hydrogen sulfur, kandungan air dan karbondioksida (CO₂). Hidrogen sulfur mengandung racun dan zat yang menyebabkan kohesi (gaya tarik-menarik antara molekul atau partikel yang sejenis). Bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang diijinkan maksimal 5 ppm.

Bila gas dibakar maka hidrogen sulfur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama sama oksigen yaitu sulfur dioksida/sulfur trioksida (SO₂/SO₃), senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk sulfur acid (H₂SO₃) suatu senyawa yang lebih korosif. Parameter yang kedua adalah menghilangkan kandungan karbondioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalan biogas serta dapat menimbulkan korosif.

Parameter yang menggambarkan karakteristik limbah terdiri dari sifat fisik, kimia, dan biologi. Karakteristik limbah berdasarkan sifat fisik meliputi suhu, kekeruhan, bau, dan rasa, berdasarkan sifat kimia meliputi kandungan bahan organik, protein, BOD, COD, sedangkan berdasarkan sifat biologi meliputi kandungan bakteri patogen dalam air limbah.

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup ada 6 (enam) parameter utama yang dijadikan acuan baku mutu limbah meliputi :

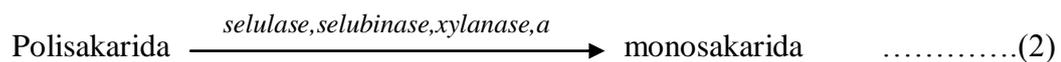
- a. Tingkat keasaman (pH),
ditetapkannya parameter pH bertujuan agar mikroorganisme dan biota yang terdapat pada penerima tidak terganggu, bahkan diharapkan dengan pH yang alkalis dapat menaikkan pH badan penerima.
- b. BOD,
kebutuhan oksigen hayati yang diperlukan untuk merombak bahan organik. Semakin tinggi nilai BOD air limbah, maka daya saingnya dengan mikroorganisme atau biota yang terdapat pada badan penerima akan semakin tinggi.
- c. COD ,
kelarutan oksigen kimiawi adalah oksigen yang diperlukan untuk merombak bahan organik dan anorganik, oleh sebab itu nilai COD lebih besar dari BOD.
- d. *Total suspended solid* (TSS),
menggambarkan padatan melayang dalam cairan limbah. Pengaruh TSS lebih nyata pada kehidupan biota dibandingkan dengan *total solid* (TS). Semakin tinggi TSS, maka bahan organik membutuhkan oksigen untuk perombakan yang lebih tinggi.
- e. Kandungan total nitrogen,
semakin tinggi kandungan total nitrogen dalam cairan limbah, maka akan menyebabkan keracunan pada biota.

Tahapan – tahapan Pembentukan Biogas

a) Hidrolisis

Hidrolisis merupakan langkah pertama pada proses anaerobik, di mana bahan organik yang kompleks (polimer) terdekomposisi menjadi unit yang lebih kecil (mono-dan oligomer). Selama proses hidrolisis, polimer seperti karbohidrat, lipid, asam nukleat dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin dan piridine.

Mikroorganisme hidrolitik mengeskresi enzim hidrolitik, mengkonversi biopolimer menjadi senyawa sederhana dan mudah larut seperti yang ditunjukkan di bawah ini :



Senyawa tidak larut, seperti selulosa, protein, dan lemak dipecah menjadi senyawa monomer (partikel yang larut dalam air) oleh *exo-enzime* (enzim ekstraselular) secara fakultatif oleh bakteri anaerob. asam amino Seperti yang ditunjukkan pada persamaan diatas di mana lipid diurai oleh enzim lipase membentuk asam lemak dan gliserol sedangkan poliskarida diurai menjadi monosakarida seperti pada persamaan

Dan protein diurai oleh protease membentuk asam amino. Produk yang dihasilkan dari hidrolisis diuraikan lagi oleh mikroorganisme yang ada dan digunakan untuk proses metabolisme mereka sendiri (Seadi dkk, 2008). Hidrolisis karbohidrat dapat terjadi dalam beberapa jam sedangkan hidrolisis protein dan lipid terjadi dalam beberapa hari. Sedangkan lignoselulosa dan lignin terdegradasi secara perlahan-lahan dan tidak sempurna. Mikroorganisme anaerob fakultatif mengambil oksigen terlarut yang terdapat dalam air sehingga untuk mikroorganisme anaerobik diperlukan potensial redoks yang rendah. Solubilisasi melibatkan proses hidrolisis di mana senyawa-senyawa organik kompleks

dihidrolisis menjadi monomer-monomer. Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida. Protein dibagi menjadi peptida dan asam amino. Lemak dihidrolisis menjadi asam-asam lemak gliserol (Deublein dan Steinhauster, 2008).

b) Asidogenesis

Selama proses asidogenesis, produk yang dihasilkan dari proses hidrolisis akan dikonversi oleh bakteri acidogenic (fermentasi) menjadi substrat bagi bakteri methanogenic. Gula sederhana, asam amino dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen (70%) juga menjadi asam lemak volatil (ALF) dan alkohol (30%) (Seadi dkk, 2008).

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 satu lagi sebagai akseptor (Deublein dan Steinhauster, 2008). Tabel 2.4. memperlihatkan degradasi senyawa pada tahap asetogenesis.

Tabel 2.4. Degradasi Asetogenesis

Substrat	Reaksi
Asam Propionat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$
Asam Butirat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Asam Kapronik	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH} + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 5\text{H}_2$
Karbon dioksida / hidrogen	$2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
Gliserin	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Asam Laktat	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Etanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2$

(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 (Deublein dan Steinhauster, 2008).

Tabel 2.5. Berbagai Macam Bakteri Penghasil Metan dan Substratnya

Bakteri	Substrat	Produk
<i>Methanobacterium formicum</i>	CO 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 + Acetate
<i>Methanobacterium ruminantium</i>	Formate H ₂ + CO ₂	CH ₄
<i>Methanobacterium sohngei</i>	Acetate butyrate	CH ₄ + CO ₂
<i>Methanobacterium suboxydans</i>	Caproate dan Butyrate	Propionate dan Acetate
<i>Methanococcus mazei</i>	Acetate dan Butyrate	CH ₄ + CO ₂
<i>Methanobacterium vannielii</i>	H ₂ + CO ₂ Formate	CH ₄
<i>Methanosarcina barkeri</i>	H ₂ + CO ₂ Methanol Acetate	CH ₄ CH ₄ CH ₄ + CO ₂
<i>Methanobacterium methanica</i>	Acetate Butyrate	CH ₄ + CO ₂

*sumber : Khandelwal,1978.

Usaha ternak sapi dan kambing selain menghasilkan daging sapi atau kambing juga menghasilkan kotoran yang bisa dijadikan komoditi untuk rabuk dan juga dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan sistim biogas.

Biogas adalah gas pembusukan bahan organik oleh bakteri pada kondisi anaerob. Biogas yang sering juga disebut Gas Bio merupakan campuran berbagai gas antara lain :CH₄ (54-70%), CO₂ (27-45%), O₂ (1-4%), N₂ (0,5-3%), CO (1%), dan H₂S. Campuran gas ini mudah terbakar bila kandungan CH₄ (Methana) melebihi 50%. Krisis energi yang dipacu naiknya harga minyak dunia tak pelak turut menghimpit kehidupan masyarakat. Buruknya pengaruh pembakaran BBM ke lingkungan juga menjadi faktor pendorong pencarian dan pengembangan energi alternatif non BBM.

Teknologi Biogas sudah cukup mapan dan terbukti dapat memproduksi energi non BBM yang sekaligus ramah lingkungan. Biogas termasuk teknologi yang memiliki efisiensi tinggi tinggi dan ramah lingkungan karena residu proses biogas juga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk berkualitas tinggi dan mengurangi efek rumah kaca. Dari sudut pandang itulah dapat disimpulkan bahwa teknologi biogas termasuk teknologi ramah lingkungan.

2.5 Karakteristik Kandungan Biogas

2.5.1. Gas Metana (CH₄)

Sifat fisika metana sebagai berikut :

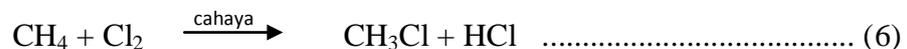
- Berat molekul : 16,04 gram/mol
- Densitas : $7,2 \times 10^{-4}$ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
- Titik didih : -161,4 °C
- Titik leleh : -182,6 °C (Perry, 1997)
- Nilai kalor CH₄ : 13.279,302 Kkal/kg (Fessenden, 1989)
- Nilai kalor biogas : 6.720 – 9660 Kkal/kg (Harasimowicz dkk., 2007)
- dP : 3,8°A (Wen-Hui Lin dkk., 2001)
- Tc : 109,4 °K (Pabby dkk., 2009)

Sifat kimia metana (Fessenden, 1989) sebagai berikut :

- Reaksi pembakaran sempurna gas metana menghasilkan gas karbondioksida dan uap air.



- Reaksi halogenasi gas metana menghasilkan klorometana dan HCl



2.5.2. Karbon dioksida (CO₂)

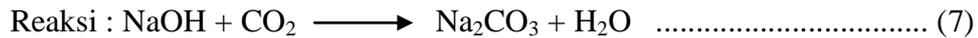
Sifat fisika karbon dioksida (Perry, 1997) sebagai berikut :

- Berat molekul : 44,01 gram/mol
- Densitas : $1,98 \times 10^{-3}$ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
- Titik leleh : -55,6 °C (pada tekanan 5,2 atm)
- Titik didih : -78,5 °C

- dP : 3,3 °A (Wen-Hui Lin dkk., 2001)
- Tc : 304 °K (Pabby dkk., 2009)

Sifat kimia karbon dioksida sebagai berikut :

- Karbon dioksida bereaksi dengan natrium hidroksida membentuk natrium karbonat (Vogel, 1985).



2.5.3. Nitrogen (N₂)

Sifat fisika nitrogen (Perry, 1997) sebagai berikut :

- Berat molekul : 28,02 gram/mol
- Densitas : 1,25 x 10⁻³ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
- Titik didih : -195,8 °C
- Titik leleh : -209,86 °C

Sifat kimia nitrogen (Fessenden, 1989) sebagai berikut :

- Merupakan senyawa inert (sukar bereaksi)
- Merupakan senyawa dwiatomik

2.5.4. Hidrogen (H₂)

Sifat fisik Hidrogen (Perry, 1997) sebagai berikut :

- Berat molekul : 2,016 gr/mol
- Densitas : 8,97 x 10⁻⁵ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
- Titik leleh : -259,1 °C
- Titik didih : -252,7 °C

Sifat kimia Hidrogen (Vogel, 1985) sebagai berikut :

- Hidrogen dapat digunakan sebagai potensial standart oksidasi-reduksi pada temperatur 25 °C sebesar 0 volt.



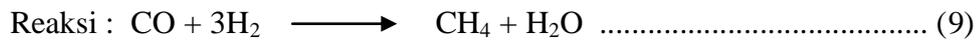
2.5.5. Karbon monoksida (CO)

Sifat fisika karbon monoksida (Perry, 1997) sebagai berikut :

- Berat molekul : 28,01 gr/mol
- Titik didih : -108,6 °C
- Titik leleh : 46,3 °C

Sifat kimia karbon monoksida sebagai berikut :

- Karbon monoksida bereaksi dengan hidrogen menghasilkan gas metana



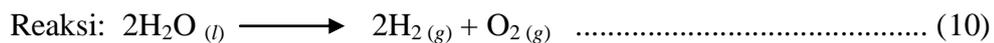
2.5.6. Oksigen (O₂)

Sifat fisika oksigen (Perry, 1997) sebagai berikut :

- Berat molekul : 16 gr/mol
- Temperatur kritis : -118 °C
- Tekanan kritis : 49,7 atm
- Titik didih : -183 °C
- Titik beku : -218,4 °C
- Densitas : $1,43 \times 10^{-3}$ gr/ml

Sifat kimia oksigen (Achmad, 1992) sebagai berikut :

- Oksigen (O₂) diperoleh dengan cara elektrolisis



- Oksigen bereaksi dengan alkana menghasilkan gas karbondioksida dan uap air (pembakaran sempurna).



2.5.7. Hidrogen sulfida (H₂S)

Sifat fisika hidrogen sulfida (Perry, 1997) sebagai berikut :

- Berat molekul : 34,08 gram/mol
- Titik didih : -59,6 °C
- Titik leleh : -82,9 °C

Sifat kimia hidrogen sulfida (Vogel, 1985) adalah :

- Merupakan reduktor dalam reaksi redoks
- Reaksi antara H₂S dengan HNO₃ membentuk endapan belerang dan gas NO serta H₂O.



2.6 Cara Pengolahan Limbah

1. *Chemical Treatment*

Partikel-partikel yang kecil dari zat organik tidak terpengaruh oleh gaya gravitasi, untuk mengatasi hal ini, maka partikel yang kecil perlu digabungkan menjadi kumpulan partikel. Proses koagulasi ini dengan cara menambahkan coagulant seperti Alumino Feric (setara dengan 17 ppm Aluminium), dan dapat mengurangi kadar BOD₅ air limbah dari 856 ppm menjadi 305 ppm (reduksi 64%).

2. *Aerobic Biological Treatment*

Ada 3 cara utama pengolahan limbah cair RPH (Rumah Pemotongan Hewan) secara aerobik dengan menggunakan prinsip-prinsip biokimiawi, yaitu :

a. *Activated sludge*

Mikroorganisme aerobik bereaksi dengan udara sehingga terjadi proses biologis oleh bakteri tsb. Setelah proses terjadi, cairan yang tercampur tadi mengalir menuju tangki penganadapan di mana *Activated sludge* mengendap & terjadi proses biologis bakteri aerob, sehingga cairan supernatan di tangki pengendapan dihancurkan & keluar sebagai efluen.

b. *Oxydation Ponds*

Kolam oksidasi adalah bentuk sederhana dari *Aerobic biological treatment* dan dapat dipandang sebagai proses pengolahan limbah secara alam. Prinsip kerjanya memanfaatkan pengaruh sinar matahari, ganggang, bakteri dan oksigen.

c. *Trickling Filters*

Pada *Trickling Filters* digunakan saringan tipis seperti film yang mempunyai permukaan kuat. Limbah ditahan pada permukaan filter & langsung turun ke bawah, sementara itu udara percolasi menembus tapis

tengah & memberikan suply oksigen untuk purifikasi. Trickling Filters merupakan metoda yang baik untuk pengolahan limbah cair RPH & industri daging karena standar efluent yang baik dapat dicapai.

Tetapi dalam pengolahan kali ini berupa :

3. *An aerobic Biological Treatment*

Proses digesti anaerobik diselenggarakan tanpa adanya gas oksigen mikro organisme anaerobik dalam proses tersebut menggunakan oksigen yang terdapat dalam bahan organik. Pada pengolahan air limbah dengan cara ini, bahan organik di dalam limbah tersebut akan dipecah menjadi gas Methana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Dengan cara ini reduksi kadar BOD_5 air limbah RPH dapat mencapai 95%.

Fermentasi anaerobik adalah proses perombakan bahan organik yang dilakukan oleh sekelompok mikrobia anaerobik fakultatif maupun obligat dalam suatu reaktor tertutup pada suhu $35\text{-}55^\circ\text{C}$. Perombakan bahan organik dikelompokkan dalam empat tahapan proses, pertama bakteri fermentatif menghidrolisis senyawa polimer menjadi senyawa sederhana yang bersifat terlarut. Kedua, monomer dan oligomer dirombak menjadi asam asetat, H_2 , CO_2 , asam lemak rantai pendek dan alkohol; tahap ini disebut pula tahap asidogenesis. Ketiga, disebut fase non-metanogenik yang menghasilkan asam asetat, CO_2 dan H_2 . Keempat, pengubahan senyawa-senyawa tersebut menjadi gas metana oleh bakteri metanogenik (Reith dkk., 2003; Metcalf dan Eddy, 2003).

Proses biokonversi metanogenik merupakan proses biologi yang sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama suhu, pH, dan senyawa toksik. Secara keseluruhan faktor yang mempengaruhi proses perombakan anaerob bahan organik pada pembentukan biogas, mencakup faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik berupa mikrobia dan jasad aktif, sedang faktor abiotik meliputi pengadukan, suhu, pH, kadar substrat, kadar air, rasio C/N dan P dalam substrat, dan kehadiran bahan toksik.

2.7 Masalah Biogas

Problem yang muncul ketika biogas baru diproduksi adalah komposisi biogas itu sendiri, 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 metannya lebih dari 45% bersifat mudah terbakar dan merupakan bahan bakar yang cukup baik karena memiliki nilai kalor bakar yang tinggi. Tetapi jika kandungan CO_2 dalam biogas sebesar 25–50% maka dapat mengurangi nilai kalor bakar dari biogas tersebut. Sedangkan kandungan H_2S dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada peralatan dan perpipaan. Nitrogen dalam biogas juga dapat mengurangi nilai kalor bakar biogas tersebut. Selain itu juga, terdapat uap air yang juga dapat menyebabkan kerusakan pada pembangkit yang digunakan (Deublein dan Steinhauster, 2008). Tabel 6. menunjukkan beberapa komponen dalam biogas yang dapat mempengaruhi sifat biogas itu sendiri.

Tabel 2.6. Komponen Pengganggu Dalam Biogas

Komponen	Jumlah	Pengaruh Terhadap Biogas
CO ₂	25–50% per volume	- Menurunkan nilai kalor bakar Meningkatkan methane number Menyebabkan korosi Menyebabkan kerusakan pada sel bahan bakar alkali
H ₂ S	0–0,5% per volume	- Menyebabkan korosif pada peralatan dan sistem perpipaan Menyebabkan emisi SO ₂ bila dibakar
NH ₃	0–0,05% per volume	- Merusak katalis yang digunakan pada reaksi Menyebabkan emisi NO ₂ setelah pembakaran Dapat merusak sel bahan bakar
Uap Air	1–5% per volume	- Menyebabkan korosif pada peralatan Kondensatnya dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan pembangkit Terdapat resiko pembekuan pada sistem perpipaan
N ₂	0–5% per volume	- Menurunkan nilai kalor bakar Meningkatkan sifat anti-knocking pada mesin
Siloxane	0–50 mg/ m ³	- Menyebabkan kerusakan pada mesin

*sumber : Deublein dan Steinhauster, 2008.

2.8. Absorpsi Karbondioksida (CO₂)

Absorpsi merupakan salah satu proses pemisahan dengan mengontakkan campuran gas dengan cairan sebagai penyerapnya, penyerap tertentu akan menyerap satu atau lebih pada komponen gas. Absorpsi dapat berlangsung dalam dua macam proses, yaitu absorpsi fisik dan absorpsi kimia (Kumoro andricahyo, hadiyanto, 2004).

Proses absorpsi atau pemisahan gas CO₂ oleh NaOH dapat dilihat pada reaksi berikut ini :

