

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Sejarah penemuan proses anaerobik digestion untuk menghasilkan biogas tersebar di benua Eropa. Penemuan ilmuwan Alessandro Volta terhadap gas yang dikeluarkan di rawa-rawa terjadi pada tahun 1770, beberapa decade kemudian Avogadro mengidentifikasi tentang gas Methana. Setelah tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses anaerobik digestion. Tahun 1884 Pasteur melakukan penelitian tentang biogas menggunakan kotoran hewan. Era penelitian Pasteur menjadi landasan untuk penelitian biogas hingga saat ini.

Pada akhir abad ke-19 ada beberapa riset dalam bidang ini dilakukan. Di Jerman dan Perancis melakukan riset pada masa antara dua perang dunia dan beberapa unit pembangkit biogas dengan memanfaatkan limbah pertanian. Selama perang dunia II banyak petani di Inggris dan benua Eropa yang membuat digester kecil untuk menghasilkan biogas yang digunakan untuk menggerakkan traktor. Karena harga BBM semakin murah dan mudah memperolehnya pada tahun 1950-an pemakaian biogas di Eropa ditinggalkan. Namun, di Negara-negara berkembang kebutuhan akan sumber energi yang murah dan selalu tersedia ada. Kegiatan produksi biogas di India telah dilakukan semenjak abad ke-19. Alat pencernaan anaerobik pertama dibangun pada tahun 1900 (Burhani Rahman, <http://www.energi.lipi.go.id>).

2.2 Komposisi Biogas

Biogas adalah gas produk akhir pencernaan atau degradasi anaerobik bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik dalam lingkungan bebas oksigen atau udara. Komponen terbesar biogas adalah Methana (CH_4 65,7%) dan karbondioksida (CO_2 27%) serta sejumlah kecil N_2 , CO, dan H_2S . Pada literature lain komposisi biogas secara umum ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Komposisi Biogas kotoran sapi secara umum dalam rasio %

Jenis Gas	Kotoran Sapi
Metana (CH_4)	65,7
Karbon Dioksida (CO_2)	27,0
Nitrogen (N_2)	2.3
Karbon Monoksida (CO)	0
Oksigen (O_2)	0,1
Propena (C_3H_8)	0,7
Hydrogen Sulfida (H_2S)	-
Nilai kalor (kkal/m^2)	6513

(Harahap, dkk. 1978)

Beberapa hal yang menarik dari pada teknologi biogas adalah kemampuannya untuk membentuk biogas dari limbah organik yang jumlahnya berlimpah dan tersedia secara bebas. Variasi dari sifat-sifat biokimia menyebabkan produksi biogas juga bervariasi. Sejumlah bahan organik dapat digunakan bersama-sama dengan beberapa persyaratan

produksi gas atau pertumbuhan normal bakteri metan yang sesuai. Beberapa sifat bahan organik tersebut mempunyai dampak / pengaruh yang nyata pada tingkat produksi biogas (Wahyuni, 2011).

Hasil penelitian menyatakan bahwa berbagai jenis limbah dapat digunakan sebagai bahan baku biogas misalnya limbah perkebunan seperti kulit kakao (Lateng, 2010), limbah industri seperti industri tahu, limbah perairan seperti enceng gondok, limbah pertanian seperti jerami padi (Arati, 2009), dan limbah peternakan (kotoran sapi, kotoran ayam). Limbah tersebut dapat sebagai bahan baku biogas baik secara tersendiri maupun kombinasi lebih dari dua jenis limbah.

2.3 Bahan Baku

2.3.1 Kotoran Sapi

Berdasarkan hasil estimasi, seekor sapi dalam satu hari dapat menghasilkan kotoran sebanyak 10 – 30 kg. Seekor ayam menghasilkan 25 gr/hari, dan seekor babi dewasa dengan berat 4,5-5,3 kg/hari. Berdasarkan hasil riset yang pernah ada diketahui bahwa setiap 1 kg kotoran ternak sapi berpotensi menghasilkan 360 liter biogas dan 20 kg kotoran babi dewasa bisa menghasilkan 1,379 liter biogas.

Seekor sapi tiap hari menghasilkan kotoran ternak sebanyak 10 – 30 kg. Berdasarkan hasil riset yang pernah ada diketahui bahwa setiap 1 kg kotoran ternak berpotensi menghasilkan 36 liter biogas. Rata-rata komposisi biogas untuk kotoran hewan memiliki kandungan metana sebesar 66,79% dan karbondioksida sebesar 33,21%. Kotoran sapi memiliki nilai Rasio C/N sebesar 24. Sesuai tabel dibawah:

Tabel 2. Rasio C/N beberapa jenis kotoran hewan

Jenis Kotoran	Rasio C/N
Sapi	18
Kerbau	18
Kuda	25
Babi	25
Kambing/Domba	30
Ayam	15
Manusia	6-10

(Sumber : Syamsuddin, 2005)

2.3.1 Sekam Padi

Indonesia merupakan negara agraris yang banyak memproduksi padi. Dari panen padi dihasilkan limbah yang familiar dikenal dengan sekam padi. Dalam proses penggilingan padi menjadi beras, ada produk-produk sampingan yang berupa limbah yang bila dibiarkan atau dikelola secara kurang bijaksana akan merugikan manusia karena terjadinya pencemaran lingkungan ekosistem tersebut dan juga pencemaran udara akibat pembakaran limbah tersebut. Limbah dalam proses penggilingan padi yang terbesar adalah sekam padi, biasanya diperoleh sekam sekitar 20 – 30 % dari bobot gabah, hasil lainnya dedak antara 8 – 12 %. Sekam dengan persentase yang tinggi tersebut dapat menimbulkan problem lingkungan. (Departemen Pertanian). Agar sumber daya alam dapat bermanfaat dalam waktu yang panjang maka diperlukan kebijaksanaan dalam pemanfaatan sumber daya alam yang ada agar dapat lestari dan berkelanjutan dengan menanamkan sikap serasi dengan lingkungan.



Gambar 1. Sekam Padi

Sekam memiliki kerapatan jenis (bulk densil) 1125 kg/m³, dengan nilai kalori 1 kg sekam sebesar 3300 k. kalori, serta memiliki bulk density 0,100 g/ml, nilai kalori antara 3300 - 3600 kkalori/kg sekam dengan konduktivitas panas 0,271 BTU (Houston, 1972). Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar ataupun sebagai adsorpsi pada logam-logam berat. Sekam tersusun dari jaringan serat - serat selulosa yang mengandung banyak silika dalam bentuk serabut - serabut yang sangat keras.

Pada keadaan normal, sekam berperan penting melindungi biji beras dari kerusakan yang disebabkan oleh serangan jamur, dapat mencegah reaksi ketengikan karena dapat melindungi lapisan tipis yang kaya minyak terhadap kerusakan mekanis selama pemanenan, penggilingan dan pengangkutan. (Haryadi. 2006).

Tabel 3. Komposisi Kimia Sekam Padi

Komponen	% Berat
Kadar air	32,40 – 11,35
Protein Kasar	1,70 – 7,26
Lemak	0,38 – 2,98

Ekstrak Nitrogen Bebas	24,70 – 38,79
Serat	31,37 – 49,92
Abu	13,16 – 29,04
Pentosa	16,94 – 21,95
Sellulosa	34,34 – 43,80
Lignin	21,40 – 46,97

(Sumber : Sufyandi, 2001).

Indonesia yang memiliki sumber limbah sekam padi yang cukup potensial untuk menghasilkan biogas. Ini adalah tantangan kita bersama untuk mengoptimalkan potensi limbah sekam padi di Indonesia. Menurut Prajayana dkk (2011), sekam padi mengandung kurang lebih 25% selulosa dan 15% hemiselulosa. Kedua bahan polisakarida ini dapat dihidrolisis menjadi senyawa yang lebih sederhana.

Hasil hidrolisis tersebut selanjutnya dapat difermentasi menjadi ethanol atau metana. Gas metan (CH₄) adalah komponen penting dan utama dari biogas karena merupakan bahan bakar yang berguna dan memiliki nilai kalor yang cukup tinggi 20 MJ/m³ (Sutarno dkk, 2007).

2.3.3 Effective Microorganism-4 (EM-4)

EM-4 merupakan kultur campuran dari organisme menguntungkan yang berasal dari alam Indonesia, terdiri dari bakteri asam laktat (*Lactobacillus* sp), bakteri fotosintetik (*Rhodospseudomonas* sp), *Streptomyces* sp, Ragi (yeast), *Actinomyces*. EM-4 pertama kali ditemukan oleh Prof. Teruo Higa dari Universitas Ryukyus Jepang tahun 1905. Dalam EM-4 terdapat sekitar 80 genus mikroorganisme fermentor. Mikroorganisme ini dipilih yang dapat bekerja secara efektif dalam memfermentasikan bahan organik yaitu :

1. Bakteri Fotosintetik, merupakan bakteri bebas yang dapat mensintesa senyawa nitrogen, gula, dan substansi bioaktif lainnya.
2. *Lactobacillus* sp, merupakan bakteri yang memproduksi asam laktat sebagai hasil penguraian gula dan karbohidrat lain yang bekerja sama dengan bakteri fotosintesis dan ragi.
3. *Streptomyces* sp, mengeluarkan enzim streptomisin yang bersifat racun terhadap hama dan pengakit yang merugikan
4. Ragi (yeast), memproduksi substansi yang berguna bagi tanaman yang difermentasi yang berguna untuk pertumbuhan sel dan pembelahan akar. Ragi ini juga berperan dalam perkembangan atau pembelahan mikroorganismes yang menguntungkan yang lain seperti *Actinomycetes* dan bakteri asam laktat.
5. *Actinomycetes*, merupakan organisme peralihan antara bakteri dan jamur yang mengambil asam amino dan zat serupa yang diproduksi bakteri fotosintesis dan merubahnya menjadi antibiotik untuk mengendalikan patogen, menekan jamur dan bakteri yang berbahaya dengan cara menghancurkan kitin yaitu zat esensial untuk pertumbuhannya.

Keuntungan dan manfaat menggunakan EM-4 antara lain :

- a. Memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah.
- b. Meningkatkan ketersediaan nutrisi tanaman, serta menekan aktivitas serangga, hama, dan mikroorganisme pathogen.
- c. Meningkatkan dan menjaga kestabilan produksi tanaman. Mempercepat proses fermentasi pada pembuatan biogas dan kompos. Kompos yang dibuat dengan teknologi EM-4 disebut dengan bokashi.

2.4 Mekanisme Pembentukan Biogas

Pada pembuatan biogas bahan baku harus banyak mengandung selulosa. Bahan baku dalam bentuk selulosa akan lebih mudah dicerna oleh bakteri anaerob. (Wiratmana, 2012)

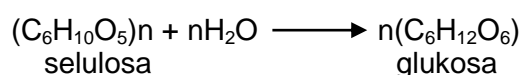
Dalam pembuatan biogas, komposisi bahan baku feses, air dan rumen (starter) harus seimbang agar menghasilkan biogas yang maksimal. Jika perbandingan tidak seimbang, misal rumen lebih banyak dari feses dan air, maka biogas yang dihasilkan sedikit, karena pada campuran bahan baku ini hanya ada sumber bakteri saja tanpa adanya substrat, sehingga bakteri akan kekurangan makanan dan menjadi tidak produktif. Starter yang bisa digunakan antara lain lumpur aktif dan rumen sapi. (Saputro, R.R , 2004)

Pembentukan biogas secara biologis dengan memanfaatkan sejumlah mikroorganisme anaerob meliputi tiga tahap, yaitu tahap hidrolisis (tahap pelarutan), Tahap asidogenesis (tahap pengasaman), dan tahap metanogenesis (tahap pembentukan gas metana).

2.4.1 Tahap Hidrolisis (Tahap Pelarutan)

Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti glukosa. Bakteri berperan mendekomposisi rantai panjang karbohidrat, protein dan lemak menjadi bagian yang lebih pendek. Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25°C di digester.

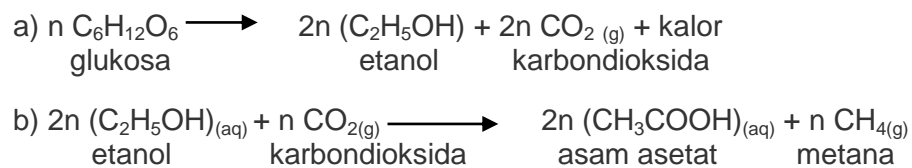
Reaksi :



2.4.2 Tahap Asidogenesis (Tahap Pengasaman)

Pada tahap ini, bakteri asam menghasilkan asam asetat dalam suasana anaerob. Tahap ini berlangsung pada suhu 25°C di digester. Bakteri akan menghasilkan asam yang akan berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam organik sederhana seperti asam asetat, H₂ dan CO₂, karena itu bakteri ini disebut pula bakteri penghasil asam (acidogen). Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan.

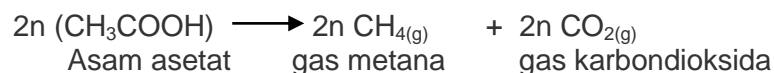
Reaksi:



2.4.3 Tahap Metanogenesis (tahap pembentukan gas metana)

Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25°C di dalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH₄, 30 % CO₂, sedikit H₂ dan H₂S.

Reaksi:



Pada dasarnya efisiensi produksi biogas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor meliputi : suhu, derajat keasaman (pH), konsentrasi asam-asam lemak volatil, nutrisi (terutama nisbah karbon dan nitrogen), zat

racun, waktu retensi hidrolis, kecepatan bahan organik, dan konsentrasi ammonia. Dari berbagai penelitian yang diperoleh, dapat dirangkum beberapa kondisi optimum sebagai berikut :

Tabel 4. Kondisi Optimum Produksi Biogas

Parameter	Kondisi Optimum
Suhu	35°C
Derajat Keasaman	7-7,2
Nutrien Utama	Karbon dan Nitrogen
Nisbah Karbon dan Nitrogen	20/1 sampai 30/1
Sulfida	< 200 mg/L
Logam-logam Berat Terlarut	< 1 mg/L
Sodium	< 5000 mg/L
Kalsium	< 2000 mg/L
Magnesium	< 1200 mg/L
Ammonia	< 1700 mg/L

Sumber : (<http://www.litbang.esdm.go.id>)

Parameter-parameter ini harus dikontrol dengan cermat supaya proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung secara optimal. Sebagai contoh pada derajat keasaman (pH), pH harus dijaga pada kondisi optimum yaitu antara 7 – 7,2. Hal ini disebabkan apabila pH turun akan menyebabkan perubahan substrat menjadi biogas terhambat sehingga mengakibatkan penurunan kuantitas biogas. Nilai pH yang terlalu tinggi pun harus dihindari, karena akan menyebabkan produk akhir yang dihasilkan adalah CO₂ sebagai produk utama. Begitu pula dengan nutrisi, apabila rasio C/N tidak dikontrol dengan cermat, maka terdapat kemungkinan adanya nitrogen berlebih (terutama dalam bentuk amonia) yang dapat menghambat pertumbuhan dan aktivitas bakteri, (Beni Hermawan, 2007).

2.5 Reaktor Biogas

Proses pembuatan biogas dengan menggunakan *biodigester* pada prinsipnya adalah menciptakan suatu sistem kedap udara dengan bagian–

bagian pokok yang terdiri dari tangki pencerna (*digester tank*), lubang input bahan baku, lubang *output* lumpur sisa hasil pencernaan (*slurry*) dan lubang penyaluran biogas yang terbentuk. Dalam digester terkandung bakteri metana yang akan mengolah limbah organik menjadi biogas. Ada beberapa jenis reaktor biogas yang sering digunakan antara lain:

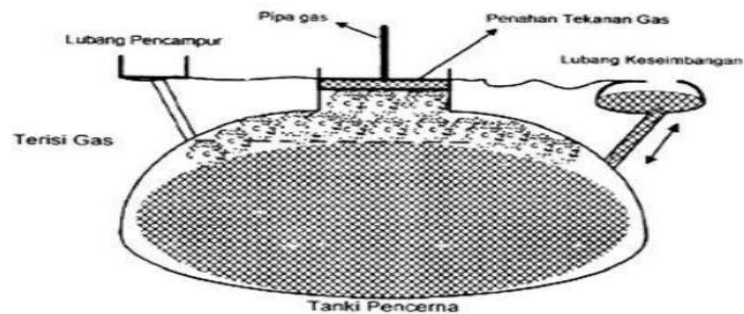
1. Reaktor Kubah Tetap (*Fixed Dome*)

Reaktor ini dibuat pertama kali di Cina sekitar tahun 1930-an, kemudian sejak saat itu reaktor ini berkembang dengan berbagai model. Reaktor ini memiliki dua bagian. Bagian pertama adalah digester sebagai tempat pencerna material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam maupun bakteri pembentuk gas metana.

Bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu menggunakan batu, batubata atau beton. Strukturnya harus kuat karena menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian kedua adalah kubah tetap (*fixed dome*). Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*). Gas yang dihasilkan dari material organik pada digester akan mengalir dan disimpan di bagian kubah.

Kelebihan dari reaktor ini adalah biaya konstruksi lebih murah daripada menggunakan reaktor terapung karena tidak memiliki bagian bergerak yang menggunakan besi. Sedangkan kekurangan dari reaktor ini adalah seringnya terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksi tetapnya.

Gambar Reaktor Kubah :

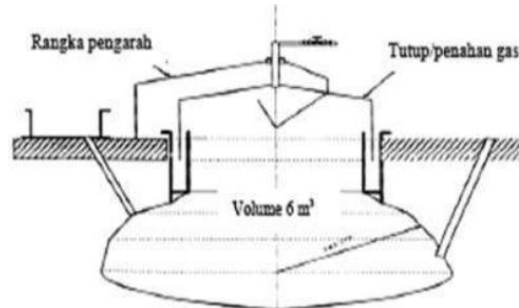
Gambar 2. Reaktor Kubah Tetap (*Fixed Dome*)

2. Reaktor Terapung (*Floating Drum Reactor*)

Reaktor jenis terapung pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937. Reaktor ini memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah-tetap. Perbedaannya terletak pada bagian penampung gas yang menggunakan drum yang bergerak. Drum ini dapat bergerak naik-turun yang berfungsi untuk menyimpan gas. Pergerakan drum mengantung pada cairan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan.

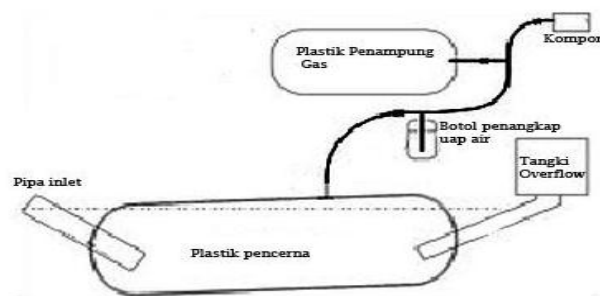
Kelebihan dari reaktor ini adalah dapat melihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Karena tempat penyimpanannya yang terapung maka tekanan gas konstan. Sedangkan kekurangannya adalah biaya material konstruksi dari drum lebih mahal. Faktor korosi pada drum juga menjadi masalah sehingga bagian pengumpul gas pada reaktor ini memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan tipe kubah tetap.

Gambar Reaktor Terapung :

Gambar 3. Reaktor Terapung (*Floating Drum Reactor*)

3. Reaktor Balon (*Balloon Reactor*)

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor ini terdiri dari bagian yang berfungsi sebagai digester dan bagian penyimpan gas yang berhubungan tanpa sekat. Material organik terletak di bagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas.

Gambar Reaktor Balon (*Ballon Reactor*)Gambar 4. Reaktor Balon (*Ballon Reactor*)

Sumber : Pambudi, A., 2008

2.6 Tipe-tipe Reaktor Biodigester

Dari segi operasional reaksi yang digunakan, digester terbagi menjadi dua tipe yaitu:

1. Tipe *Batch Digestion*

Pada tipe ini bahan baku dimasukkan ke dalam digester, kemudian dibiarkan bereaksi selama 6 - 8 minggu. Biogas yang dihasilkan ditampung dan disimpan dalam penampung gas. Setelah itu digester dikosongkan dan dibersihkan sehingga siap untuk dipakai lagi.

Kelebihan tipe ini adalah kualitas hasilnya bisa lebih stabil karena tidak ada gangguan selama reaksi berjalan. Namun untuk skala industri, tipe ini tidak efektif dan mahal karena membutuhkan minimal dua buah digester yang dipakai bergantian agar dapat memproduksi biogas secara kontinyu.

2. Tipe *Continuous Digestion*

Pada tipe ini proses pemasukan bahan baku dan pengeluaran *slurry* sisa proses dilakukan secara berkala. Jumlah material yang masuk dan keluar harus diatur secara seimbang sehingga jumlah material yang ada di dalam digester selalu tetap.

Kekurangan dari tipe ini adalah membutuhkan pengoperasian dan pengawasan yang lebih ketat agar reaksi selalu berjalan dengan baik. Namun untuk skala industri, tipe ini lebih mudah untuk dimaksimalkan hasilnya dan lebih murah karena hanya membutuhkan satu buah digester untuk menghasilkan biogas secara kontinyu.

2.7 Pengukuran Komposisi Biogas Secara Kualitatif

Uji kualitatif terhadap komposisi biogas dilakukan dengan uji nyala. Pengujian gas yang terbentuk dilakukan dengan cara membuka kran gas agar gas bisa keluar, lalu dinyalakan.

Uji kualitatif dilakukan 2 kali selama penelitian pada hari yang sama dengan uji kuantitatif gas. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kualitas gas dengan melihat warna nyala api yang dihasilkan pada saat pembakaran. Jika gas langsung terbakar dan warna api yang dihasilkan biru, maka gas yang dihasilkan berkualitas baik. Jika biogas mengandung lebih banyak gas-gas pengotor lainnya maka warna api yang dihasilkan adalah cenderung kemerah-merahan. Jika nyala api hampir tidak terlihat (tidak terbakar) menandakan bahwa kandungan metana dalam biogas yang terbentuk masih sangat sedikit.