

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sejarah Pengembangan Teknologi Konversi Kotoran Sapi Menjadi Biogas**

Sejarah awal penemuan biogas pada awalnya muncul di benua Eropa. Biogas yang merupakan hasil dari proses anaerobik digestion ditemukan seorang ilmuwan bernama Alessandro Volta yang melakukan penelitian terhadap gas yang dikeluarkan rawa-rawa pada tahun 1770. Dan pada tahun 1776 mengaitkannya dengan proses pembusukan bahan sayuran, sedangkan Willam Henry pada tahun 1806 mengidentifikasi gas yang dapat terbakar tersebut sebagai metan. Pada perkembangannya, pada tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses anaerobik digestion. Selanjutnya, tahun 1884 seorang ilmuwan lainnya bernama Pasteur melakukan penelitian tentang biogas menggunakan mediasi kotoran hewan. Becham (1868), murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882), memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan metan. Sedangkan dalam kebudayaan Mesir, China, dan Roma kuno diketahui telah memanfaatkan gas alam ini untuk dibakar dan digunakan sebagai penghasil panas.

Perkembangan biogas mengalami pasang surut, seperti pada akhir abad ke-19 tercatat Jerman dan Perancis memanfaatkan limbah pertanian menjadi beberapa unit pembangkit yang berasal dari biogas. Selama perang dunia II banyak petani di Inggris dan benua Eropa lainnya yang membuat digester kecil untuk menghasilkan biogas. Namun, dalam perkembangannya karena harga BBM semakin murah dan mudah diperoleh, pada tahun 1950-an pemakaian biogas di Eropa mulai ditinggalkan.

Jika era tahun 1950-an Eropa mulai meninggalkan biogas dan beralih ke BBM, hal sebaliknya justru terjadi di negara-negara berkembang seperti India dan Cina yang membutuhkan energi murah dan selalu tersedia. Cina menggunakan teknologi biogas dengan skala rumah tangga yang telah dimanfaatkan oleh hampir sepertiga rumah tangga di daerah pinggiran Cina. Perkembangan biogas di Cina bisa dikatakan mengalami perkembangan yang signifikan, pada tahun 1992 sekitar

lima juta rumah tangga menggunakan instalasi biogas sehingga biogas menjadi bahan bakar utama sebagian penduduk Cina. Seperti yang diungkapkan Prof Li Kangmin dan Dr Mae-Wan Ho, *director of the The Institute of Science in Society*, biogas merupakan jantung dari tumbuhnya *eco-economy* di Cina, namun beberapa kendala harus diselesaikan untuk meraih potensi yang lebih besar.

Perkembangan yang senada juga terjadi di India, tahun 1981 mulai dikembangkan instalasi biogas di India. India merupakan negara pelopor dalam penggunaan energi biogas di benua Asia dan pengguna energi biogas ini dilakukan sejak masih dijajah oleh Inggris. India sudah membuat instalasi biogas sejak tahun 1900. Negara tersebut mempunyai lembaga khusus yang meneliti pemanfaatan limbah kotoran ternak yang disebut *Agricultural Research Institute* dan *Gobar Gas Research Station*. Data yang diperoleh menyebutkan bahwa pada tahun 1980 di seluruh India terdapat 36.000 instalasi gas bio yang menggunakan feses sapi sebagai bahan bakar. Teknik biogas yang digunakan sama dengan teknik biogas yang dikembangkan di Cina yaitu menggunakan model sumur tembok dan dengan drum serta dengan bahan baku kotoran ternak dan limbah pertanian. Tercatat sekitar tiga juta rumah tangga di India menggunakan instalasi biogas pada tahun 1999.

Menginjak abad ke 21 ketika sadar akan kebutuhan energi pengganti energi fosil, di berbagai negara mulai menggalangkan energi baru terbarukan, salah satunya biogas. Tak ketinggalan negara adidaya seperti Amerika Serikat menunjukkan perhatian khususnya bagi perkembangan biogas. Bahkan, Departemen Energi Amerika Serikat memberikan dana sebesar US\$ 2,5 juta untuk perkembangan biogas di California.

Sedangkan di Indonesia, teknologi biogas masuk pada 1970-an yang perkembangannya diawali di daerah pedesaan. Dewasa ini biogas merupakan salah satu jenis energi baru terbarukan yang menjadi salah satu perhatian bagi Kementerian ESDM. Menteri ESDM menjanjikan akan memberikan bantuan untuk mengembangkan potensi energi yang walaupun terlihat kecil, namun dampaknya sangat besar bagi pemenuhan energi di Indonesia.

## 2.2 Konversi Kotoran Sapi ke Biogas

### 2.2.1 Nilai Potensial Biogas

Biogas ialah gas yang dihasilkan oleh mikroba apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam suatu keadaan anaerobik yang sesuai baik dari segi suhu, kelembaban, dan keasaman. Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas. Namun demikian kebanyakan bahan organik baik padat atau cair seperti kotoran dan urin (air kencing) hewan ternaklah yang biasanya dimanfaatkan untuk sistem biogas sederhana. Jenis bahan organik yang diproses sangat mempengaruhi produktivitas sistem biogas disamping parameter-parameter lain seperti temperatur digester, ph (tingkat keasaman), tekanan, dan kelembaban udara (Suroyo, 2009).

Komposisi gas yang terdapat di dalam biogas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Komposisi Gas yang Terdapat dalam Biogas

| Jenis Gas                           | Volume (%)     |
|-------------------------------------|----------------|
| Metana (CH <sub>4</sub> )           | 50 – 70        |
| Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )   | 30 – 40        |
| Hidrogen (H <sub>2</sub> )          | 3 – 10         |
| Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S) | Sedikit sekali |

Sumber: Kadarwati, 2003.

### 2.2.2 Potensi Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi

Kotoran sapi adalah limbah hasil pencernaan sapi dan hewan dari subfamili *Bovinae* lainnya. Kotoran sapi memiliki warna yang bervariasi dari kehijauan hingga kehitaman, tergantung makanan yang dimakannya. Setelah terpapar udara, warna dari kotoran sapi cenderung menjadi gelap (wikipedia, 2016). Kotoran sapi adalah limbah dari usaha peternakan sapi yang bersifat padat dan dalam proses pembuangannya sering bercampur dengan urin dan gas, seperti metana dan amoniak. Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis, jumlah konsumsi pakan, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1988). Komposisi kotoran sapi yang umumnya telah diteliti dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kotoran Sapi

| Senyawa       | Persentase |
|---------------|------------|
| Hemisellulosa | 18,6 %     |
| Selulosa      | 25,2 %     |
| Lignin        | 20,2 %     |
| Protein       | 14,9 %     |
| Debu          | 13 %       |

Sumber : Candra, 2011.

Pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber pupuk organik sangat mendukung usaha pertanian tanaman sayuran. Dari sekian banyak kotoran ternak yang terdapat di daerah sentra produksi ternak banyak yang belum dimanfaatkan secara optimal, sebagian di antaranya terbuang begitu saja, sehingga sering merusak lingkungan yang akibatnya akan menghasilkan bau yang tidak sedap.

Satu ekor sapi dewasa dapat menghasilkan 23,59 kg kotoran tiap harinya. Pupuk organik yang berasal dari kotoran ternak dapat menghasilkan beberapa unsur hara yang sangat dibutuhkan tanaman, seperti terlihat pada Tabel 3. Disamping menghasilkan unsur hara makro, pupuk kandang juga menghasilkan sejumlah unsur hara mikro, seperti Fe, Zn, Bo, Mn, Cu, dan Mo. Jadi dapat dikatakan bahwa, pupuk kandang ini dapat dianggap sebagai pupuk alternatif untuk mempertahankan produksi tanaman. Kotoran sapi yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas (Sucipto, 2009).

Tabel 3. Kandungan Unsur Hara pada Pupuk Kandang yang Berasal dari Beberapa Ternak

| Jenis ternak | Unsur hara (kg/ton) |      |      |
|--------------|---------------------|------|------|
|              | N                   | P    | K    |
| Sapi perah   | 22,0                | 2,6  | 13,7 |
| Sapi potong  | 26,2                | 4,5  | 13,0 |
| Domba        | 50,6                | 6,7  | 39,7 |
| Unggas       | 65,8                | 13,7 | 12,8 |

Sumber: [books.google.co.id](https://books.google.co.id)

### 2.2.3 Proses Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas dilakukan secara anaerob, bakteri merombak bahan organik yang terdapat pada kotoran sapi yang telah dijelaskan diatas

menjadi biogas dan pupuk organik, proses pelapukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob.

Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut dengan digester atau bioreaktor anaerobik. Terdapat tiga keuntungan dari instalasi penghasil biogas yaitu:

1. Penggunaan bahan bakar yang lebih efisien
2. Menambah nilai pupuk
3. Menyehatkan lingkungan

Proses perombakan bahan organik pada kotoran sapi secara anaerob yang terjadi di dalam digester terdiri dari 4 tahap proses yaitu hidrolisis, fermentasi (asidogenesis), asetogenesis, dan metanogenesis. Pembentukan Biogas melalui tiga tahap proses yaitu:

1. Hidrolisis/Tahap Pelarutan

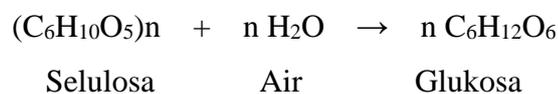
Pada tahap ini terjadi penguraian bahan – bahan organik mudah larut yang terdapat pada kotoran sapi dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer yang larut dalam air). Senyawa kompleks ini, antara lain protein, karbohidrat, dan lemak, dimana dengan bantuan eksoenzim dari bakteri anaerob, senyawa ini akan diubah menjadi monomer (Deublein et al., 2008).

Protein → asam amino, dipecah oleh enzim protease

Selulosa → glukosa, dipecah oleh enzim selulase

Lemak → asam lemak rantai panjang, dipecah oleh enzim lipase

Reaksi selulosa menjadi glukosa adalah sebagai berikut :



2. Pengasaman/Asetogenesis

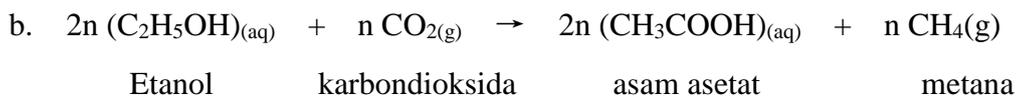
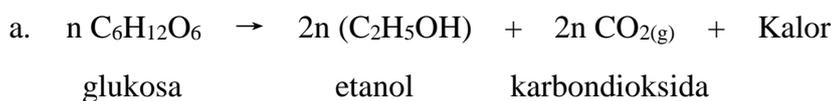
Pada tahap pengasaman, komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari perombakan gula – gula sederhana tadi yaitu asam asetat, propionate, format, laktat, alkohol dan sedikit butirrat, gas karbondioksida, hidrogen dan ammonia. Monomer yang dihasilkan dari tahap

hidrolisis akan didegradasi pada tahap ini. Pembentukan asam-asam organik tersebut terjadi dengan bantuan bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* (Hambali et al., 2007).

Asam organik rantai pendek yang dihasilkan dari tahap fermentasi dan asam lemak yang berasal dari hidrolisis lemak akan difermentasi menjadi asam asetat, H<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub> oleh bakteri asetogenik (Drapcho et al., 2008). Pada fase ini, mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein et al., 2008).

Tahap asetogenesis berlangsung pada temperatur 25°C didalam digester (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi :



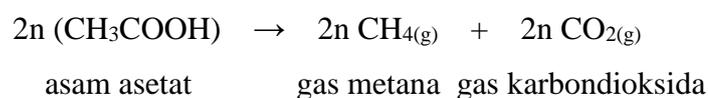
### 3. Metanogenesis

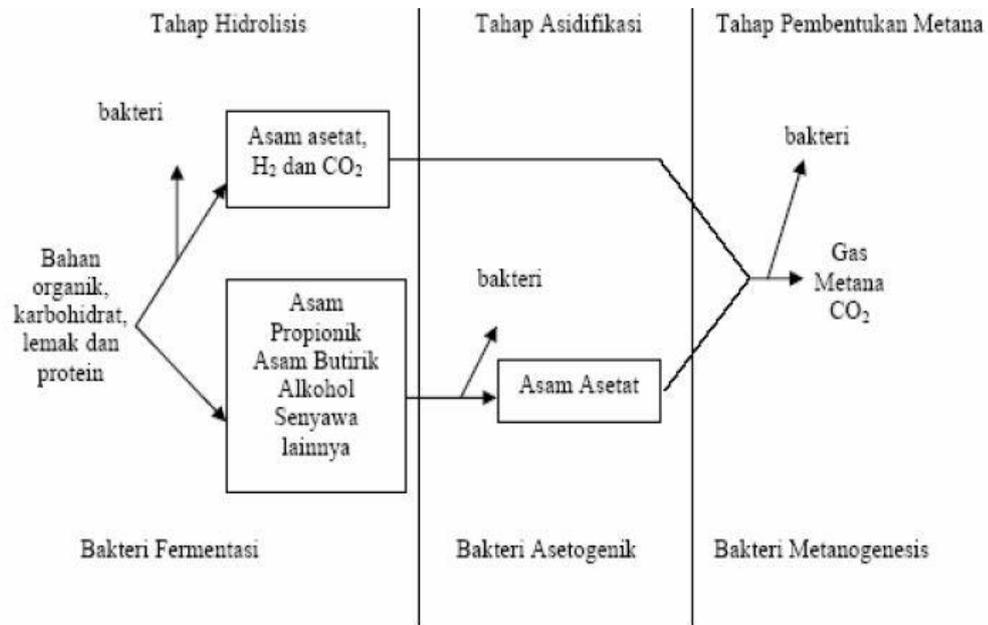
Pada tahap metanogenesis, terjadi pembentukan gas metana. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini yang akan mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hidrogen sulfida. Bakteri yang berperan dalam proses ini, antara lain *Methanococcus*, *Methanobacillus*, *Methanobacterium*. Terbentuknya gas metana terjadi karena adanya reaksi dekarboksilasi asetat dan reduksi CO<sub>2</sub>.

Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25oC di dalam digester.

Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH<sub>4</sub>, 30 % CO<sub>2</sub>, sedikit H<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Reaksi :





Gambar 1. Tahapan Proses Pembentukan Biogas

Sumber : Sufyandi, 2001.

#### 2.2.4 *Green Phoskko-7*

*Green Phoskko-7* merupakan aktivator pembangkit gas metana sebagai pengurai secara fermentatif, semua jenis biomassa termasuk sampah dan limbah organik dalam digester anaerob. Bakteri anaerob *Green Phoskko-7* hidup secara saprofit dan bernafas secara anaerob dimanfaatkan dalam proses pembuatan biogas. Bakteri ini memecah persenyawaan organik dan menghasilkan gas metana. Dalam lingkungan mikro dalam reaktor atau digester biogas yang sesuai dengan kebutuhan bakteri ini (kedap udara, material memiliki pH > 6, kelembaban 60% dan temperatur 30°C) akan mengurai atau mendegradasi semua biomassa termasuk jenis sampah dan bahan organik.



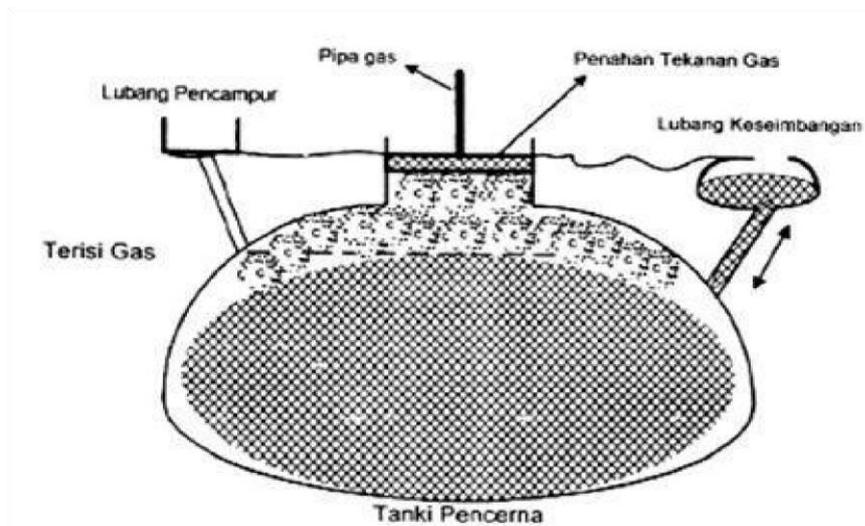
Gambar 2. Bakteri *Green Phoskko* 7  
 Sumber : Jurniati,2014.

### 2.2.5 *Fixed Dome Digester*

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 pencernaan 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 konstruksinya tetap.



Gambar 3. Digester Biogas Tipe Kubah Tetap (*Fixed Dome Digester*)  
 Sumber : Sufyandi, 2001.

### 2.2.6 Nilai Kalor Pembakaran Biogas

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana ( $\text{CH}_4$ ). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ). Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang di ijinakan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, sulphur dioksida/sulphur trioksida ( $\text{SO}_2/\text{SO}_3$ ). Senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) suatu senyawa yang lebih korosif. Parameter kedua adalah menghilangkan kandungan karbon dioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalan biogas serta menimbulkan korosif.

Biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran 4800 – 6700 kkal/m<sup>3</sup>, untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m<sup>3</sup>. Biogas sebanyak 1000 f<sup>3</sup> (=28,32 m<sup>3</sup>) mempunyai nilai pembakaran yang sama dengan 6,4 galon (=3,785 liter) butana, atau 5,2 galon gasolin (besin), atau 4,6 galon minyak diesel. Kandungan utama biogas adalah gas metan (CH<sub>4</sub>) dengan konsentrasi sebesar 50-80% vol. Kandungan lain dalam biogas yaitu gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), gas hidrogen (H<sub>2</sub>), gas nitrogen (N<sub>2</sub>), gas karbon monoksida (CO) dan gas hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S). Gas dalam biogas yang dapat berperan sebagai bahan bakar yaitu gas metana (CH<sub>4</sub>), gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dan gas CO (Price dan Cheremisinoff, 1981).

### **2.2.7 Gas yang Mengurangi Kualitas Biogas**

Di dalam komposisi biogas terdapat beberapa kandungan gas lain yang merugikan. Oleh sebab itu untuk memperoleh hasil pembakaran yang optimal perlu dilakukan tahapan proses penyaringan atau pemurnian. Beberapa gas yang merugikan dalam biogas yaitu :

a) Gas Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)

Gas CO<sub>2</sub> dalam biogas perlu dihilangkan karena gas tersebut dapat mengurangi nilai kalor pembakaran biogas. Selain itu, kandungan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam biogas cukup besar yaitu sekitar 30-45 % sehingga nilai kalor pembakaran biogas akan berkurang cukup besar. Nilai kalor pembakaran gas metana murni pada tekanan 1 atm dan temperatur 15,5°C yaitu 9100 Kkal/m<sup>3</sup> (12.740 Kkal/kg). Sedangkan nilai pembakaran biogas sekitar 4.800 – 6.900 Kkal/m<sup>3</sup> (6.720 – 9.660 Kkal/kg) (Harasimowicz dkk., 2007).

b) Gas Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S)

Menurut Lestella dkk. (2002), konsentrasi gas ini dalam biogas relatif kecil ± 0,1 – 2%. Gas ini bersifat korosif sehingga konsentrasi yang besar dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada ruang pembakaran. Selain itu, gas ini mempunyai bau yang tidak sedap, bersifat racun dan hasil pembakarannya menghasilkan gas sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>).

### 2.2.8 Pemurnian Biogas

Proses pemurnian biogas dilakukan karena didalam biogas masih terkandung unsur-unsur yang tidak bermanfaat untuk pembakaran khususnya  $H_2O$ ,  $CO_2$ , dan  $H_2S$  dan senyawa lainnya. Pemurnian gas  $CO_2$  didalam biogas dilakukan dengan teknik absorpsi menggunakan absorben berupa  $NaOH$ . Absorpsi 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 (Purnomo, J. 2009).

Untuk absorpsi kimia, transfer massanya dilakukan dengan bantuan reaksi kimia. Suatu pelarut kimia yang berfungsi sebagai absorben akan bereaksi dengan gas asam ( $CO_2$  dan  $H_2S$ ) menjadi senyawa lain, sehingga gas alam yang dihasilkan sudah tidak lagi mengandung gas asam yang biasanya akan mencemari lingkungan apabila ikut terbakar.

Secara umum penghilangan (pengurangan)  $H_2S$  dari biogas dapat dilakukan secara fisika, kimia, atau biologi (Purnomo, J. 2009). Pemurnian secara fisika misalnya penyerapan dengan air, pemisahan dengan menggunakan membran atau absorpsi dengan absorben misalnya dengan menggunakan absorben karbon aktif. Metode fisika ini relatif mahal karena absorben sulit diregenerasi dan pengurangan  $H_2S$  rendah serta masih berupa larutan dan gas yang dibuang di lingkungan (Purnomo, J. 2009).

Pemurnian dengan cara biologi dengan menggunakan bakteri yang menguraikan  $H_2S$  menjadi sulfat. Metode ini efektif untuk mereduksi kandungan  $H_2S$  dalam biogas, tetapi metode ini selain sulit dalam pengoperasiannya juga sangat mahal. Pemurnian biogas dari kandungan  $H_2S$  yang sering dilakukan adalah diserap secara kimiawi. Pada metode ini  $H_2S$  diserap secara kimiawi (bereaksi secara kimia) oleh larutan absorben. Selanjutnya absorben yang kaya  $H_2S$  diregenerasi untuk melepas kembali  $H_2S$  -nya dalam bentuk gas atau sulfur padat (Purnomo, J. 2009). Absorben yang banyak digunakan di Industry adalah MEA (*Methyl Ethanol Amine*). Absorben menggunakan MEA sangat efektif mengurangi kandungan sulfur dari gas, tetapi  $H_2S$  yang diserap selanjutnya

dibuang ke udara saat regenerasi MEA. Hal ini tentu mencemari udara dan hanya sesuai untuk pengolahan gas dengan kandungan sulfur yang kecil.

Air ( $H_2O$ ) merupakan salah satu produk utama dari proses fermentasi. Oleh karena itu dilakukan suatu cara untuk mengurangi kadar air dari biogas yang dihasilkan sehingga kemurniannya cukup tinggi. Cara paling mudah dari proses penghilangan air adalah dengan cara kondensasi dari uap tersebut cara kondensasi ini dapat dilakukan secara alami dengan menggunakan pipa berlekuk pada proses penyaluran biogas dari digester menuju penampungan biogas. Pipa-pipa berlekuk dan suhu yang rendah secara alami akan mengkondensasikan uap air menjadi air sehingga jumlah air dalam biogas akan berkurang. Alat penjebak air ini disebut *water trap*, berfungsi untuk penjebak air, agar air tidak ikut dibakar pada mesin pembakaran.

### **2.2.9 Pemanfaatan Biogas sebagai Sumber Energi Alternatif**

Biogas atau metana dapat digunakan seperti gas alam, manfaat dari pembuatan biogas dari kotoran ternak sapi dapat mengganti *fuel* seperti LPG atau natural gas, dimana  $1,7\text{ m}^3$  biogas setara dengan 1 liter gasoline. Pupuk sapi yang dihasilkan dari satu sapi dalam satu tahun dapat dikonversi menjadi gas metana yang setara dengan lebih dari 200 liter gasoline. Gas yang dihasilkan dapat digunakan untuk sumber energi menyalakan lampu, dimana  $1\text{ m}^3$  biogas dapat digunakan untuk menyalakan lampu 60 Watt selama 7 jam. Hal ini berarti bahwa  $1\text{ m}^3$  biogas menghasilkan energi =  $60\text{ W} \times 7\text{ jam} = 420\text{ Wh} = 0,42\text{ kWh}$ .

Tujuan utama pembuatan biogas adalah untuk mengisi kekurangan atau mensubstitusi sumber energi alternatif sebagai bahan bakar keperluan rumah tangga, terutama untuk memasak dan lampu penerangan. Selain itu dapat digunakan untuk menjalankan generator untuk menghasilkan listrik (genset) dan menggerakkan motor bakar.

Biogas mengandung berbagai macam zat, baik yang terbakar maupun yang dapat dibakar. Seperti terlihat pada Tabel 4 walaupun kandungan kalornya relative rendah dibanding dengan gas alam, butana dan propana, tetapi masih lebih tinggi dari gas batubara. Selain itu biogas ramah lingkungan, karena

sumber bahannya memiliki rantai karbon yang lebih pendek dibandingkan dengan minyak tanah, sehingga gas CO yang dihasilkan relatif lebih sedikit.

Tabel 4. Perbandingan Nilai Kalor Biogas

| Jenis Gas    | Nilai Kalor (Joule/cm <sup>3</sup> ) |
|--------------|--------------------------------------|
| Gas batubara | 16.7-18.5                            |
| Gas Bio      | 20-26                                |
| Gas metana   | 33.2-39.6                            |
| Gas alam     | 38.9-81.4                            |
| Gas Propane  | 81.4-96.2                            |
| Gas butana   | 103.3-125.8                          |

*Sumber: Meynell, P.J., 1976.*

Nilai kalori biogas tergantung pada komposisi metana dan karbondioksida, dan kandungan air di dalam gas. Gas mengandung banyak kandungan air akibat dari temperatur pada saat proses, kandungan air pada bahan dapat menguap dan bercampur dengan metana. Pada biogas dengan kisaran normal yaitu 60-70% metana dan 30-40% karbondioksida, nilai kalori antara 20 – 26 J/cm<sup>3</sup> (Meynell, P. J., (1976). Komponen utama biogas adalah gas metana (54–57%) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yakni yakni sebesar 27–45% yang merupakan hidrokarbon paling sederhana berbentuk gas. Gas metana dapat timbul dari proses fermentasi anaerobik (tanpa udara) dari bahan organik seperti limbah kotoran. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO<sub>2</sub> (Karbon dioksida) dan dua molekul H<sub>2</sub>O (air).



Dalam pemanfaatannya, kandungan gas dalam biogas yang paling bisa dimanfaatkan adalah kandungan gas metana (CH<sub>4</sub>). Karena CH<sub>4</sub> ini mempunyai nilai panas/kalor yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m<sup>3</sup> (Widodo, dkk., 2005).

### 2.3 Konversi Biogas Untuk Ketenagalistrikan

Energi biogas sangat potensial untuk dikembangkan karena produksi biogas peternakan ditunjang oleh kondisi yang kondusif dari perkembangan dunia peternakan sapi di Indonesia saat ini. Disamping itu, kenaikan tarif listrik,

kenaikan harga LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), premium, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel dan minyak bakar telah mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang murah, berkelanjutan dan ramah lingkungan (Nurhasanah, dkk., 2006).

Biogas selain dapat digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga listrik serta menghasilkan energi panas. Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan generator yang di modifikasi. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi oleh potensi biogas yang ada, seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban, dan ketersediaan dana yang ada. Sebagai pembangkit tenaga listrik, energi yang dihasilkan oleh biogas setara dengan 60-100 watt lampu selama 6 jam penerangan. Kesetaraan biogas dibandingkan dengan bahan bakar lain dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kesetaraan Biogas dan Energi Lainnya

| Aplikasi         | 1 m <sup>3</sup> Biogas setara dengan |
|------------------|---------------------------------------|
| 1 m <sup>3</sup> | Elpii 0,46                            |
|                  | Minyak Tanah 0,62 Liter               |
|                  | Minyak Solar 0,52 Liter               |
|                  | Bensin 0,8 Liter                      |
|                  | Kayu Bakar 3,50 Kg                    |
|                  | Listrik 4,7 Kwh                       |

Sumber : Wahyuni, 2008.

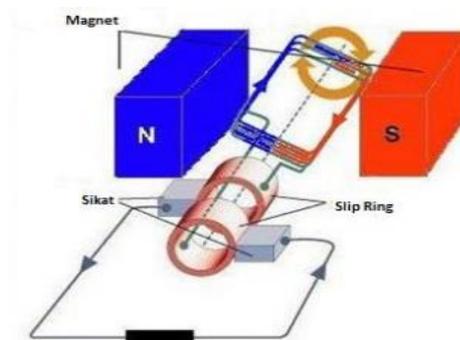
### 2.3.1 Generator Set

Generator set adalah sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik disebut sebagai generator set dengan pengertian satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu *engine* dan generator atau alternator. *Engine* dapat berupa perangkat mesin berbahan bakar solar atau mesin berbahan bakar bensin, sedangkan generator atau alternator merupakan kumparan atau gulungan tembaga yang terdiri dari stator (kumparan statis) dan rotor (kumparan berputar) yang dapat membangkitkan listrik (Anggito, 2014).

### 2.3.1.1 Generator atau Alternator

Generator adalah mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator ini memperoleh energi mekanis dari prime mover atau penggerak mula. Arus listrik yang diberikan pada stator akan menimbulkan momen elektromagnetik yang bersifat melawan putaran rotor sehingga menimbulkan EMF pada kumparan rotor.

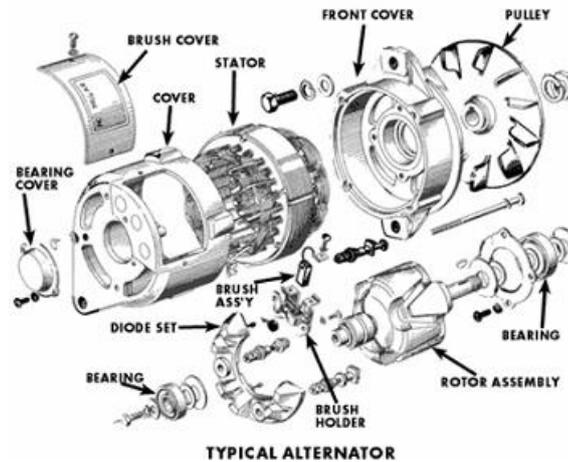
Tegangan EMF ini akan menghasilkan suatu arus jangkar. Jadi diesel sebagai prime mover akan memutar rotor generator, kemudian rotor diberi eksitasi agar menimbulkan medan magnet yang berpotongan dengan konduktor pada stator dan menghasilkan tegangan pada stator. Karena terdapat dua kutub yang berbeda yaitu utara dan selatan, maka pada  $90^\circ$  pertama akan dihasilkan tegangan maksimum positif dan pada sudut  $270^\circ$  kedua akan dihasilkan tegangan maksimum negatif. Ini terjadi secara terus menerus/*continue*. Bentuk tegangan seperti ini lebih dikenal sebagai fungsi tegangan bolak-balik.



Gambar 4. Jenis Generator dengan Medan Magnet diam

Sumber : Suroyo, 2009

### 2.3.1.2 Konstruksi Generator Sinkron

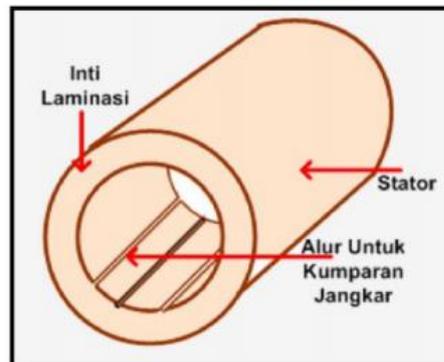


Gambar 5. Kontruksi Generator AC

*Sumber : Suroyo, 2009*

#### 1. Stator

Stator dari Mesin Sinkron biasanya terbuat dari besi magnetik yang berbentuk laminansi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Dengan inti magnetik yang bagus berarti permeabilitas dan resistivitas dari bahan tinggi.



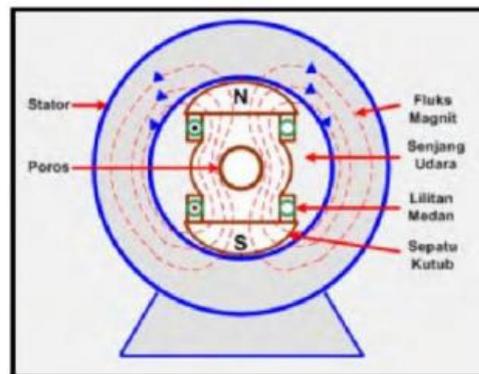
Gambar 6. Inti stator dan Alur pada Stator

*Sumber : Suroyo, 2009*

#### 2. Rotor

Untuk medan rotor yang digunakan tergantung pada kecepatan mesin, mesin dengan kecepatan tinggi seperti turbo generator mempunyai bentuk silinder (nonsalient pole), sedangkan mesin dengan kecepatan rendah seperti *hydroelectric* atau generator listrik-diesel mempunyai rotor kutub menonjol

(*salientpole*). Cincin geser, terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang yang dipasang pada poros dengan memakaibahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor.



Gambar 7. Bentuk rotor dengan kutub menonjol

Sumber : Suroyo, 2009

### 2.3.1.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Generator sinkron memiliki kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkar berbentuk sama dengan mesin induksi sedangkan kumparan medan sinkron dapat berbentuk kutub sepatu atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder), Secara umum, Prinsip kerja generator sinkron adalah :

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks.
2. Penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
3. Perputaran rotor akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak pada stator akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks

magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL induksi pada ujung kumparan tersebut.

Pada generator Sinkron, laju putaran rotor berbanding lurus dengan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan. Gambar 2.19 memperlihatkan prinsip kerja generator AC dengan dua kutub dan dimisalkan hanya memiliki satu lilitan yang terbuat dari dua penghantar secara seri, penghantar a dan a". Lilitan seperti ini disebut "lilitan pusat atau terkonsentrasi" generator real biasanya terdiri dari banyak lilitan dalam masing-masing fasa yang terdistribusi pada alur stator.

Nilai dari tegangan yang dibangkitkan bergantung pada :

1. Jumlah dari lilitan dalam kumparan.
2. Kuat medan magnetik, makin kuat medan makin besar tegangan yang diinduksikan.
3. Kecepatan putar dari generator itu sendiri.

### **2.3.1.3 Alternator Tanpa Beban**

Dengan memutar alternator pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan, maka tegangan akan terinduksi pada kumparan jangkar stator akan diinduksi tegangan tanpa beban. Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan. Apabila arus medan dinaikan maka tegangan output akan naik sampai titik saturasi (jenuh).

### **2.3.1.4 Alternator Berbeban**

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar dimana terjadi distorsi medan magnet pada celah udara oleh mengalirnya arus pada stator. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi, dan disebut reaktansi magnetisasi. Reaktansi pemagnet ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor dikenal sebagai reaktansi sinkron.

### 2.3.2 Motor Bakar

Motor bakar merupakan salah satu mesin penggerak mula yang mempunyai peranan penting sebagai tenaga penggerak berbagai macam peralatan dari kapasitas kecil sampai besar. Jenis peralatan yang digerakkan adalah peralatan yang tidak bergerak atau stationer. Motor bakar terdiri dari motor dengan kerja bolak-balik (*reciprocating engine*) dan motor dengan kerja putar (*rotary engine*). Motor dengan kerja bolak-balik terdiri dari motor bensin dan motor Diesel, dengan sistem 2 tak maupun 4 tak. Perbedaan utama motor bensin dengan motor diesel adalah pada sistem penyalannya. Motor bensin dengan bahan bakar bensin dicampur terlebih dahulu dalam karburator dengan udara pembakaran sebelum dimasukkan ke dalam silinder (ruang bakar), dan dinyalakan oleh loncatan api listrik antara kedua elektroda busi karena itu motor bensin dinamai juga *Spark Ignition Engines*.

Silinder motor bakar terbuat dari aluminium paduan dan diberi sirip pendingin kepala silinder yang menutup silinder terbuat dari aluminium dan dilengkapi juga dengan sirip pendingin. Kepala silinder ini juga dilengkapi dengan busi yang menimbulkan percikan bunga api dan mekanisme katup isap dan katup buang.

#### 2.3.2.1 Unjuk Kerja Motor Bakar

Kinerja suatu motor bakar diperoleh dengan serangkaian uji unjuk kerja. Beberapa parameter penting yang berpengaruh pada unjuk kerja motor bakar adalah sebagai berikut :

- a. Torsi dan Daya Poros.

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Dalam prakteknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu kendaraan jalan menanjak, atau waktu mempercepat laju kendaraan pada generator torsi berguna saat beban puncak (otomotif).

b. Tekanan efektif rata-rata

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan teoritis (konstan), yang apabila mendorong torak sepanjang langkah kerja dari motor dapat menghasilkan tenaga (tenaga poros).

c. Pemakaian bahan bakar spesifik

Pemakaian bahan bakar spesifik menyatakan banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi mesin per jam untuk setiap daya kuda yang dihasilkan. Harga pemakaian bahan bakar spesifik yang lebih rendah menyatakan efisiensi yang lebih tinggi.