

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biogas Sebagai Sumber Energi Alternatif

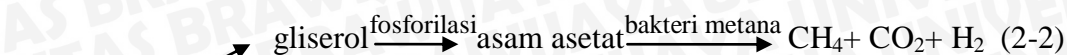
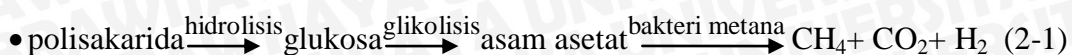
#### 2.1.1 Pengertian Biogas

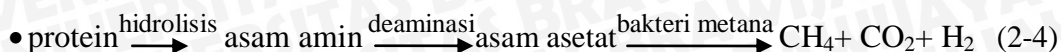
Biogas merupakan bahan bakar gas dan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara *anaerobic digestion* atau fermentasi anaerob dari bahan organik dengan bantuan bakteri metana seperti *Methanobacterium sp.* Bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas yaitu bahan *biodegradable* seperti biomassa (bahan organik bukan fosil), kotoran, sampah padat hasil aktivitas perkotaan dan lain-lain. Akan tetapi, biogas biasanya dibuat dari kotoran ternak seperti kerbau, sapi, kambing, kuda dan lain – lain. Kandungan utama biogas adalah gas metana (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).

#### 2.1.2 Prinsip Pembuatan Biogas

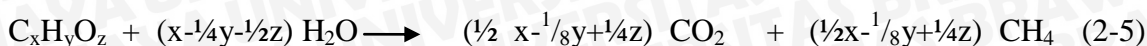
Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses pembentukan gas metana dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester sehingga akan dihasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>) dan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang volumenya lebih besar dari gas hidrogen (H<sub>2</sub>), gas nitrogen (N<sub>2</sub>) dan asam sulfida (H<sub>2</sub>S). Proses fermentasi memerlukan waktu 7 sampai 10 hari untuk menghasilkan biogas dengan suhu optimum 35 °C dan pH optimum pada *range* 6,4 – 7,9. Bakteri pembentuk biogas yang digunakan yaitu bakteri anaerob seperti *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* dan *Methanosarcina*.

Reaksi pembentukan metana dari bahan – bahan organik yang dapat terdegradasi dengan bantuan enzim maupun bakteri dapat dilihat sebagai berikut:

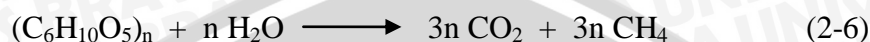




Secara umum, reaksi pembentukan CH<sub>4</sub> yaitu :



Sebagai contoh, pada pembuatan biogas dari bahan baku kotoran sapi atau kerbau yang banyak mengandung selulosa. Bahan baku dalam bentuk selulosa akan lebih mudah dicerna oleh bakteri anaerob. Reaksi pembentukan CH<sub>4</sub> adalah :



Reaksi kimia pembuatan biogas (gas metana) ada 3 tahap, yaitu :

### 1. Reaksi Hidrolisa / Tahap pelarutan

Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti karbohidrat dan asam lemak.

Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25<sup>0</sup> C di digester.

Reaksi:

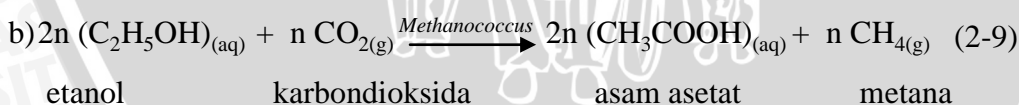


### 2. Reaksi Asidogenik / Tahap pengasaman

Pada tahap ini, bakteri asam menghasilkan asam asetat dalam keadaan anaerob.

Tahap ini berlangsung pada suhu 25<sup>0</sup> C di digester.

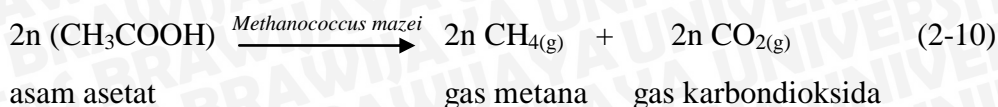
Reaksi:



### 3. Reaksi Metanogenik / Tahap gasifikasi

Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25<sup>0</sup> C 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.

Reaksi:



### 2.1.3 Komposisi Biogas

Menurut Wellinger and Lindenberg (2000:4), komposisi biogas yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Namun demikian, komposisi biogas yang utama adalah gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dengan sedikit hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Komponen lainnya yang ditemukan dalam kisaran konsentrasi kecil (*trace element*) antara lain senyawa sulfur organik, senyawa hidrokarbon terhalogenasi (*Halogenated hydrocarbons*), gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ), gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ), gas karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) dan gas oksigen ( $\text{O}_2$ ).

Biogas yang dibuat dari kotoran ternak sapi mengandung gas metana ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 55 – 65 %, gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebesar 30 – 35 % dan sedikit gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ), gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dan gas – gas lain. Panas yang dihasilkan sebesar 600 BTU/cuft. Sedangkan, biogas yang dibuat dari gas alam mengandung gas metana ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 80 % dengan panas sebesar 1000 BTU/cuft. Kandungan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dari biogas dapat ditingkatkan dengan memisahkan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) yang bersifat korosif. Komposisi kandungan utama yang terdapat dalam biogas ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komponen Utama Biogas

No.	Komponen	Satuan	Komposisi	
			1	2
1.	Gas Methan ( $\text{CH}_4$ )	% Vol	50 – 75	54 – 70
2.	Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )	% Vol	24 – 40	27 – 45
3.	Nitrogen ( $\text{N}_2$ )	% Vol	< 2	0 – 1
4.	Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	% Vol	< 1	0 – 1
5.	Karbon monoksida ( $\text{CO}$ )	% Vol		0,1
6.	Oksigen ( $\text{O}_2$ )	Ppm	< 2	0,1
7.	Hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	Ppm	< 2	Sedikit

Sumber : Hambali (2007:53)

### 2.1.4 Nilai Kalor Pembakaran Biogas

Panas pembakaran dari suatu bahan bakar adalah panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna bahan bakar pada volume konstan dalam kalorimeter dan dinyatakan dalam kal/kg atau Btu/lb. Panas pembakaran dari bahan bakar bisa dinyatakan dalam *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). *High Heating Value* adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran satu satuan bahan

bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud cair). *Low Heating Value* adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran satu satuan bahan bakar tanpa memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud gas/uap). Pada dasarnya yang dapat dimanfaatkan hanyalah LHV karena semua hasil pembakaran biasanya berbentuk gas. Dan untuk mendapatkan nilai LHV adalah sebagai berikut :

$$\text{HHV} - \text{panas penguapan air ( 3240 kJ/kg )} = \text{LHV} \quad (2-11)$$

Nilai kalor pembakaran yang terdapat pada biogas berupa *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV) pembakarannya dapat dilihat seperti pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Nilai Kalor Pembakaran Biogas dan Natural Gas

Komponen	<i>High Heating Value</i>		<i>Low Heating Value</i>	
	(Kkal/m <sup>3</sup> )	(Kkal/kg)	(Kkal/m <sup>3</sup> )	(Kkal/kg)
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	2.842,21	33.903,61	2.402,62	28.661,13
Karbon monoksida (CO)	2.811,95	2.414,31	2.811,95	2.414,31
Gas Methan (CH <sub>4</sub> )	8.851,43	13.265,91	7.973,13	11.953,76
Natural gas	9.165,55	12.943,70	8.320,18	11.749,33

Sumber : Price dan Cheremisinoff (1981)

### 2.1.5 Karakteristik Zat yang Terkandung Dalam Biogas

#### a. Gas Metana (CH<sub>4</sub>)

Sifat fisika metana sebagai berikut :

Berat molekul	: 16,04 gram/mol
Densitas	: 7,2 x 10 <sup>-4</sup> gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
Titik didih	: -161,4 °C
Titik leleh	: -182,6 °C
Nilai kalor CH <sub>4</sub>	: 13.279,302 Kkal/kg
Nilai kalor biogas	: 6.720–9660 Kkal/kg

Sifat kimia metana sebagai berikut :

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



- Reaksi halogenasi gas metana menghasilkan klorometana dan HCl



### b. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)

Sifat fisika karbon dioksida sebagai berikut :

Berat molekul	: 44,01 gram/mol
Densitas	: 1,98 x 10 <sup>-3</sup> gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
Titik leleh	: -55,6 °C (pada tekanan 5,2 atm)
Titik didih	: -8,5°C

Sifat kimia karbon dioksida sebagai berikut :

-Karbon dioksida bereaksi dengan natrium hidroksida membentuk natrium karbonat.



### c. Nitrogen (N<sub>2</sub>)

Sifat fisika nitrogen sebagai berikut :

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

Sifat kimia nitrogen sebagai berikut :

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

### d. Hidrogen (H<sub>2</sub>)

Sifat fisik Hidrogen sebagai berikut :

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

Sifat kimia Hidrogen sebagai berikut :

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



### e. Karbon monoksida (CO)

Sifat fisika karbon monoksida sebagai berikut :

Berat molekul	: 28,01 gr/mol
---------------	----------------

Titik didih :  $-108,6^{\circ}\text{C}$

Titik leleh :  $46,3^{\circ}\text{C}$

Sifat kimia karbon monoksida sebagai berikut :

- Karbon monoksida bereaksi dengan hidrogen menghasilkan gas metana



#### f. Oksigen ( $\text{O}_2$ )

Sifat fisika oksigen sebagai berikut :

Berat molekul : 16 gr/mol

Temperatur kritis :  $-118^{\circ}\text{C}$

Tekanan kritis : 49,7 atm

Titik didih :  $-183^{\circ}\text{C}$

Titik beku :  $-218,4^{\circ}\text{C}$

Densitas :  $1,43 \times 10^{-3}$  gr/ml

Sifat kimia oksigen sebagai berikut :

-Oksigen ( $\text{O}_2$ ) diperoleh dengan cara elektrolisis



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



#### g. Hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )

Sifat fisika hidrogen sulfida sebagai berikut :

Berat molekul : 34,08 gram/mol

Titik didih :  $-59,6^{\circ}\text{C}$

Titik leleh :  $-82,9^{\circ}\text{C}$

Sifat kimia hidrogen sulfida adalah :

-Merupakan reduktor dalam reaksi redoks

-Reaksi antara  $\text{H}_2\text{S}$  dengan  $\text{HNO}_3$  membentuk endapan belerang dan gas NO serta  $\text{H}_2\text{O}$

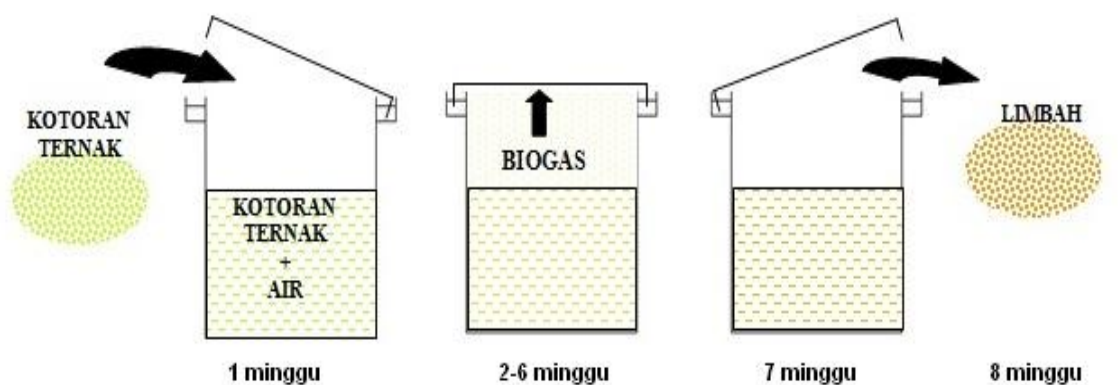


#### 2.1.6 Jenis Digester Biogas

Supaya biogas yang dihasilkan dari bahan organik atau dari limbah kotoran ternak bisa dimanfaatkan maka perlu adanya suatu wadah untuk menampungnya. Wadah

tersebut digunakan untuk proses pembuatan dan juga sebagai tempat penyimpanan biogas sebelum digunakan untuk bahan bakar. Karena itu, untuk menampung gas yang terbentuk dapat dibuat beberapa model konstruksi alat penghasil biogas. Berdasarkan cara pengisiannya ada dua jenis digester (pengolah gas) yaitu *batch feeding* dan *continuous feeding*.

*Batch feeding* adalah jenis digester yang pengisian bahan organik (campuran kotoran ternak dan air) dilakukan sekali sampai penuh, kemudian ditunggu sampai biogas dihasilkan. Setelah biogas tidak diproduksi lagi atau produksinya sangat rendah, isi digesternya dibongkar, lalu diisi kembali dengan bahan organik yang baru.

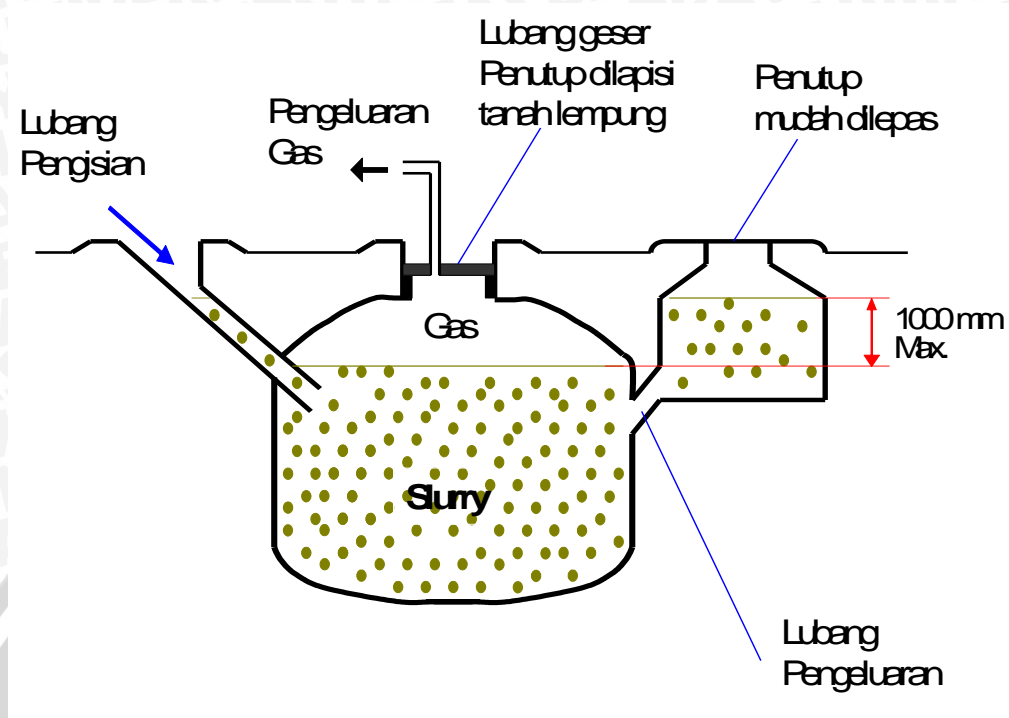


Gambar 2.1 Skema Digester *Batch Feeding*.

*Continuous feeding* adalah jenis digester yang pengisian bahan organiknya dilakukan setiap hari dalam jumlah tertentu, setelah biogas mulai diproduksi. Pada pengisian awal digester diisi penuh, lalu ditunggu sampai biogas berproduksi. Setelah berproduksi, pengisian bahan organik dilakukan secara *continue* setiap hari dengan jumlah tertentu.

Digester jenis *continuous feeding* mempunyai dua model yaitu model tetap (*fixed*) dan model terapung (*floating*). Perbedaan model ini adalah pengumpul biogas yang dihasilkan. Pada model *floating*, pengumpul gasnya terapung di atas sumur digester sehingga kapasitasnya akan naik turun sesuai dengan produksi gas yang dihasilkan dan pemanfaatan gas.

Dengan *Continuous feeding*, biogas dapat diproduksi setiap hari setelah tenggang 3-4 minggu sejak pengisian awal. Penambahan biogas ditunjukkan dengan semakin terdorongnya tangki penyimpan ke atas (untuk tipe *floating dome*). Sedangkan untuk digester tipe *fixed dome* penambahan biogas ditunjukkan oleh peningkatan tekanan pada manometer. Sampai pada tinggi tertentu yang dianggap cukup, biogas dapat dipakai seperlunya secara efisien.



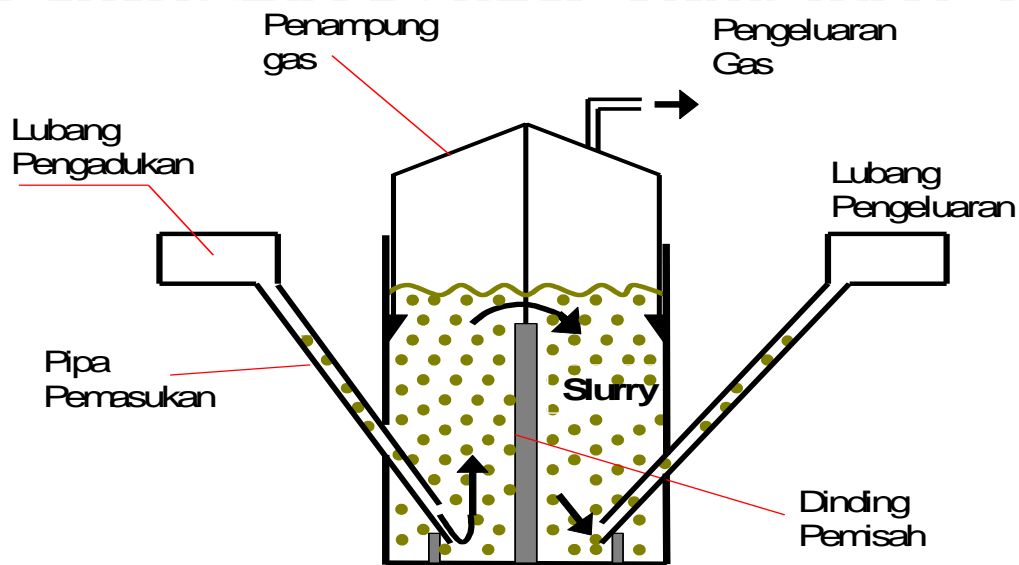
Gambar 2.2 Skema Digester Tipe Tetap.  
 Sumber : Nurhasanah, dkk., (2006:2)

Pada Gambar 2.2 ditunjukkan skema digester tetap *continue* yang biasa juga disebut sebagai model Cina. Penambahan biogas pada tipe ini ditunjukkan dengan tekanan yang tertera pada manometer pada penampungan gas. Hingga tekanan tertentu, biogas yang tersedia dapat dimanfaatkan secara efisien.

Model yang banyak diterapkan adalah model konstruksi tetap *continue*, yaitu sumur pencerna dan penampung gas menjadi satu, sedangkan pengisian bahan organik kontinu. Model ini dapat dibuat sesuai dengan kapasitas tampung kotoran ternak dan jumlah biogas yang ingin dihasilkan. Model permanen ini memang membutuhkan modal yang lebih besar, tetapi usia ekonominya lebih lama, perawatannya mudah, dan pengoperasiannya sederhana.

Tipe *continue* lainnya adalah tipe *floating dome* atau biasa juga disebut dengan model India. Jumlah gas yang cukup dari biogas yang dihasilkan dari digester tipe ini ditunjukkan dengan terdorongnya tangki penyimpanan ke atas. Jika tekanan dianggap cukup, biogas yang tersedia dapat dimanfaatkan secara efisien. Skema dari tipe *floating dome* ini ditunjukkan pada Gambar 2.3.





Gambar 2.3 Digester Tipe *Floating Dome*.

Sumber : Nurhasanah, dkk., (2006:2)

### 2.1.7 Manfaat Biogas dalam Kehidupan

Manfaat dari pembuatan biogas dari kotoran ternak antara lain :

1. Gas yang dihasilkan dapat mengganti bahan bakar fosil seperti LPG, minyak tanah atau natural gas.
2. Gas yang dihasilkan dapat digunakan untuk sumber energi menyalakan lampu pijar maupun generator.
3. Limbah digester biogas, baik yang padat maupun cair dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik.
  - Limbah padat digunakan untuk pupuk. Pupuk yang dihasilkan baik karena mengandung unsur hara yang tinggi selain itu dapat memperbaiki fungsi struktur tanah.
  - Limbah cair digunakan untuk menyiram tanaman karena mengandung unsur hara yang dibutuhkan tanaman.

## 2.2. Purifikasi Biogas dengan Zeolit

### 2.2.1 Purifikasi Kandungan Biogas

Masalah yang muncul ketika biogas diproduksi adalah adanya beberapa kandungan gas yang tidak menguntungkan. Gas tersebut dapat menyebabkan masalah pembakaran ataupun kerusakan pada instalasi digester biogas. Maka dari itu untuk mendapatkan hasil biogas yang optimal perlu dilakukan proses purifikasi atau pemurnian. Beberapa gas yang tidak menguntungkan dan perlu untuk dihilangkan antara lain :

1) 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 kalor pembakaran biogas sekitar 4.800 – 6.900 Kkal/m<sup>3</sup> (6.720 – 9660 Kkal/kg) (Harasimowicz dkk., 2007:698). Metode yang digunakan untuk pemurnian CO<sub>2</sub> pada biogas yaitu *Pressure Swing Adsorption* (PSA) atau *Vacuum Swing Adsorption* (VSA) dengan saringan molekular zeolit.

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

Menurut Lastella dkk. (2002:63), 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>). Purifikasi H<sub>2</sub>S dapat dilakukan dengan penyerapan secara kimia menggunakan NaOH.

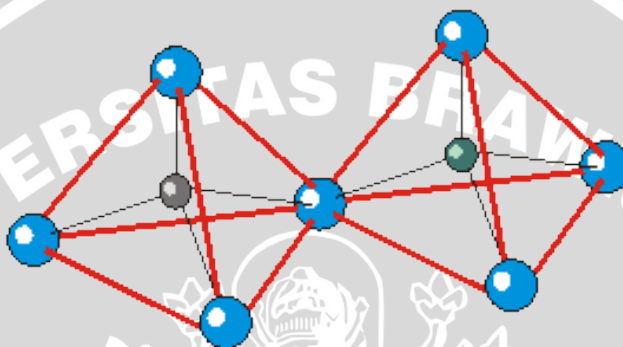
### 2.2.2 Pengertian Zeolit

Mineral zeolit telah dikenal sejak tahun 1756 oleh Cronstedt ketika menemukan Stilbit yang bila dipanaskan seperti batuan mendidih (*boiling stone*) karena dehidrasi molekul air yang dikandungnya. Pada tahun 1954 zeolit diklasifikasi sebagai golongan mineral tersendiri, yang saat itu dikenal sebagai *molecular sieve materials*. Pada tahun 1984 Professor Joseph V. Smith ahli kristalografi Amerika Serikat mendefinisikan zeolit sebagai mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara *reversibel*. Contoh dari batuan zeolit ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4 Zeolit.

Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal  $M_2/nO$   $Al_2O_3$   $a$   $SiO_2$   $b$   $H_2O$  atau  $Mc/n$   $\{(AlO_2)_c(SiO_2)_d\}$   $b$   $H_2O$ . Dimana  $n$  adalah valensi logam,  $a$  dan  $b$  adalah molekul silikat dan air,  $c$  dan  $d$  adalah jumlah tetrahedra alumina dan silika. Rasio  $d/c$  atau  $SiO_2/Al_2O$  bervariasi dari 1-5. Zeolit tidak dapat diidentifikasi hanya berdasarkan analisa komposisi kimianya saja, melainkan harus dianalisa strukturnya. Struktur kristal zeolit dimana semua atom Si dan Al dalam bentuk tetrahedra ( $TO_4$ ) disebut Unit Bangun Primer, zeolit hanya dapat diidentifikasi berdasarkan Unit Bangun Sekunder (UBS) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tetrahedra Alumina dan Silika ( $TO_4$ ) pada Struktur Zeolit.  
Sumber : <http://www.batan.go.id/ptlr/11id/?q=content/potensi-zeolit-untuk-mengolah-limbah-industri-dan-radioaktif>

Zeolit dengan struktur *framework* mempunyai luas permukaan yang besar dan mempunyai saluran yang dapat menyaring ion atau molekul (*molecular sieving*). Bila atom Al dinetralsir dengan ion polivalen, misalnya logam Pt atau Cu, zeolit dapat berfungsi sebagai katalis yang banyak digunakan pada reaksi-reaksi kimia.

### 2.2.3 Jenis-jenis Zeolit

Berdasarkan proses pembentukannya zeolit dibedakan menjadi dua macam, yaitu zeolit alam dan zeolit buatan (Anonymous\_a : 2008).

#### a. Zeolit alam

Zeolit alam terjadi secara alami di dalam batuan karang vulkanik sebagai endapan karang vulkanik, yang terdiri atas silikon dioksida dan sejumlah kecil alumina.

Komposisi kimia zeolit alam bergantung pada komposisi hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat, dan komposisi air tanah lokasi kejadiannya. Hal ini menyebabkan zeolit dengan tekstur dan warna yang sama akan memiliki komposisi kimia yang berbeda jika diambil dari

daerah yang berbeda. Berikut ini merupakan komposisi zeolit alam dari hasil pengujian Laboratorium Panadia yang disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi Zeolit Alam

PARAMETER	SATUAN	JUMLAH
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	1,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	10,15
CaO	%	2,40
MgO	%	0,36
MnO <sub>2</sub>	%	0,01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,02
Na <sub>2</sub> O	%	1,62
K <sub>2</sub> O	%	1,68
TiO <sub>2</sub>	%	0,35
LOI	%	8,34
SiO <sub>2</sub>	%	73,93

Sumber : Laboratorium Panadia (2011).

b. Zeolit sintetis

Zeolit sintetis merupakan zeolit yang sengaja dibuat dengan menggunakan proses kimia tertentu agar memiliki sifat sesuai dengan yang diinginkan. Zeolit sintetis memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit alam, dan memiliki rasio Si/Al yang dapat disusun sesuai kebutuhan. Berdasarkan rasio Si/Al zeolit sintetis dapat dikelompokkan ke dalam beberapa bagian yaitu :

i. Zeolit Si rendah

Zeolit ini digunakan untuk pemisahan atau pemurnian dengan kapasitas besar karena mempunyai volume pori yang optimum mencapai 0,5 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> volume zeolit. Daya penukar ion dari zeolit maksimum bila perbandingan Si/Al mendekati 1.

ii. Zeolit Si sedang

Zeolit jenis ini memiliki perbandingan kadar Si/Al antara 5-10. Permukannya memiliki selektivitas yang tinggi terhadap air dan molekul polar yang lain.

iii. Zeolit Si tinggi

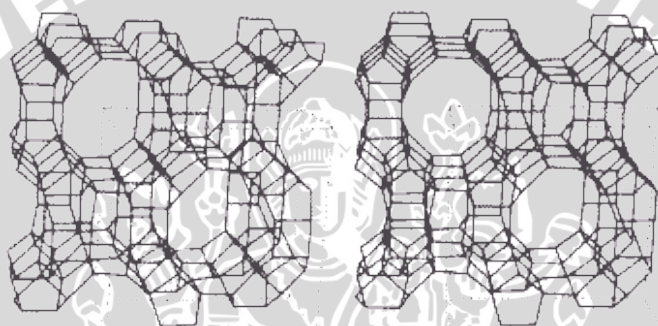
Zeolit jenis ini memiliki perbandingan kadar Si/Al antara 10-100 bahkan lebih. Sifatnya sangat hidrofobik, menyerap molekul yang tidak polar atau berinteraksi lemah dalam air dan molekul yang sangat polar, serta baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

iv. Zeolit Si

Zeolit jenis ini tidak mengandung Al sama sekali, atau dapat dikatakan tidak memiliki sisi kation sama sekali. Sifat zeolit jenis ini sangat hidrofilik-hidrofobik sehingga dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air.

#### 2.2.4 Karakteristik Struktur Zeolit

Struktur kerangka zeolit mengandung saluran atau hubungan rongga yang selain berisi kation juga mengandung molekul air yang berkoordinasi dengan kation. Kation selalu aktif bergerak dan bertindak sebagai *ion exchange*. Molekul air dalam struktur zeolit dapat dihilangkan dengan cara pemberian panas. Contoh struktur zeolit ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.6 Struktur Zeolit.

Sumber : <http://www.batan.go.id/ptlr/11id/?q=content/potensi-zeolit-untuk-mengolah-limbah-industri-dan-radioaktif>

Adapun karakteristik dari struktur zeolit adalah sebagai berikut :

1. Sangat berpori, karena kristal zeolit merupakan kerangka yang terbentuk dari jaring tetrahedral  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$ .
2. Pori-pori zeolit berukuran molekul.
3. Dapat menukarkan kation. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan muatan antara  $\text{Al}^{3+}$  dan  $\text{Si}^{4+}$  yang menyebabkan atom Al pada kerangka kristal menjadi bermuatan negatif dan membutuhkan kation penetral. Kation penetral ini dapat dengan mudah diganti oleh kation lainnya.
4. Mudah dimodifikasi karena setiap tetrahedral dapat dikontakkan dengan bahan-bahan pemodifikasi.

#### 2.2.5 Pemisahan Antara $\text{CH}_4$ dan $\text{CO}_2$ Menggunakan Zeolit

Agar bisa digunakan sebagai *purifier*, zeolit perlu diaktifasi terlebih dahulu. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika, aktivasi

dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300-400 °C dengan udara panas atau dengan sistem vakum untuk melepaskan molekul air. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan Na<sub>2</sub>EDTA atau asam-asam anorganik seperti HF, HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori.

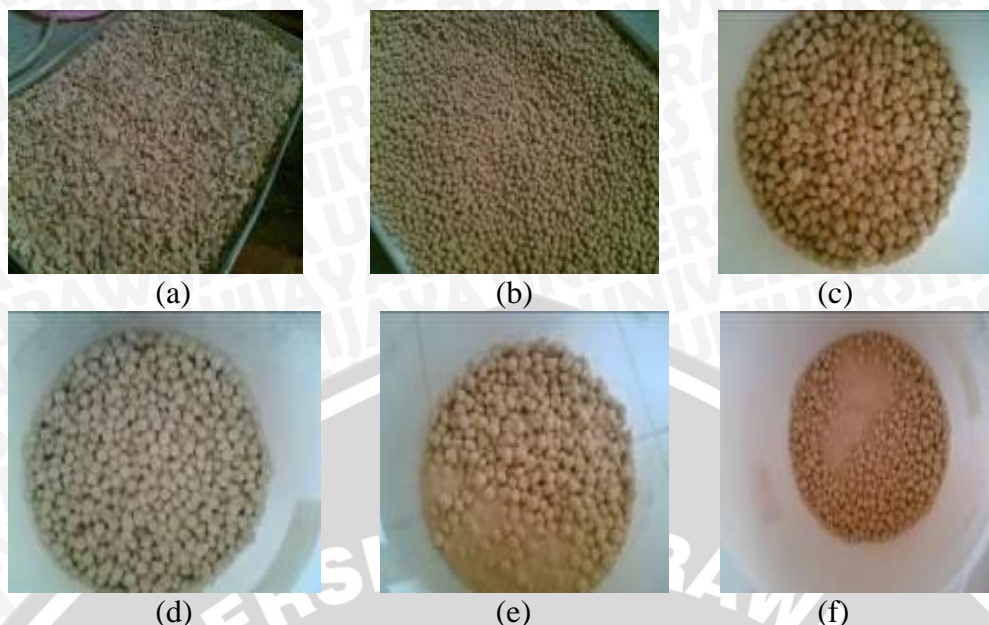
Pemisahan kandungan CO<sub>2</sub> dalam biogas adalah dengan menggunakan zeolit karena zeolit memiliki pori - pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Pemisahan kandungan CO<sub>2</sub> dalam biogas dilakukan dengan mengalirkan biogas kedalam *purifier* yang di dalamnya terdapat zeolit. Dimana nantinya zeolit tersebut akan menyaring gas CO<sub>2</sub> karena agar tidak melewati alat *purifier*. Skema untuk cara pemisahan kandungan CO<sub>2</sub> dalam biogas ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Skema Pemisahan Gas CO<sub>2</sub>.

### 2.3 Hasil Penelitian Terdahulu Proses Pemisahan Gas CO<sub>2</sub> dengan Zeolit

Baru – baru ini material zeolit menjadi perhatian para peneliti untuk dijadikan sebagai bahan pemisah gas CO<sub>2</sub>. Seperti yang telah dilakukan oleh Satriyo Krido Wahono dkk. (2010) yaitu dengan memanfaatkan instalasi biogas di UPT BPPTK LIPI, Gading, Playen, Gunungkidul, Yogyakarta. Tipe instalasi biogas tersebut adalah digester *floating roof* dengan penampung gas berbahan *fiber glass*, dengan kapasitas 10m<sup>3</sup>, tekanan biogas 4 – 6 cmH<sub>2</sub>O, dan kadar metana dalam biogas rata – rata 62,5 % (Wahono dkk, 2008). Modifikasi material penyerap berbasis zeolit lokal berbentuk serbuk dengan merubah bentuknya menjadi pelet dengan menambahkan beberapa material lain yaitu bentonit lokal Boyolali, kaolin lokal Semin - Gunungkidul, gamping, tapioka atau kanji dan kitosan cair (konsentrasi 1%) dilakukan secara manual. Sedangkan penambahan basa kuat (NaOH 5 N), dilakukan untuk zeolit lokal berbentuk kerikil (5 – 10 mesh) sebagai pembanding dengan cara perendaman. Material penyerap hasil modifikasi tersebut dimasukkan ke dalam alat filter biogas kemudian dipasang diantara instalasi biogas dan generator listrik biogas untuk meningkatkan kadar metananya.



Gambar 2.8 Modifikasi zeolit lokal Gunungkidul dengan material tambahan berupa: (a) Basa Kuat (NaOH); (b) Bentonit Boyolali; (c) Kaolin Semin Gunungkidul; (d) Gamping; (e) Tapioka; (f) Kitosan Cair.  
 Sumber : Wahono, dkk. (2010:4).

Material penyerap hasil modifikasi seperti pada Gambar 2.7 diisikan ke dalam alat filter biogas secara bergantian selama 30 menit. Masing – masing material filter tersebut diujicobakan untuk menyalakan generator biogas 700 W dengan beban alat gerinda listrik 670 W, kemudian diambil data tegangan dan arus listrik. Data tegangan dan arus listrik rata – rata yang dihasilkan oleh generator biogas tersebut dari masing – masing material filter seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Uji Coba Material Modifikasi Absorben Zeolit (uji generator untuk gerinda 670 Watt)

Material Tambahan	Bentuk Material	Kekuatan Material	Vavg	Aavg	Wavg
NaOH (kerikil)	Kerikil	Utuh	147	1,1	162
Bentonit Boyolali	Pelet	Kuat	176,9	1,13	200
Kaolin Semin – GK	Pelet	Kuat	181,9	1,13	206
Gamping	Pelet	Agak Kuat	164,7	1,1	181
Tapioka/Kanji	Pelet	Rapuh	203,3	1,3	294
Kitosan Cair (1%)	Pelet	Sangat Rapuh	147,9	1,2	177

Sumber : Wahono dkk. (2010:4)

Keterangan :

- Vavg Tegangan listrik rata – rata [Volt]
- Aavg Arus listrik rata – rata [Ampere]
- Wavg Daya listrik rata – rata [Watt]



Berdasarkan hasil pada Tabel 2.4 dapat dipilih material yang lebih optimal untuk material penyerap biogas/material isian alat filter biogas berdasarkan kemudahan pembuatan/modifikasi, kekuatan material dan daya listrik yang dihasilkan. Berdasarkan kemudahan pembuatan, material berbentuk pelet lebih mudah dibuat dan menghasilkan hasil modifikasi material yang relatif seragam. Dalam pembuatan material penyerap dalam jumlah besar, pembuatan dalam bentuk pelet dapat dimekanisasi dengan bantuan mesin, sedangkan bentuk kerikil harus dilakukan secara manual dengan tenaga manusia. Material yang memiliki hasil modifikasi terbaik berdasarkan kekuatan material adalah zeolit bentuk kerikil dengan modifikasi larutan basa dan zeolit bentuk pelet dengan modifikasi bentonit Boyolali atau kaolin Semin – Gunungkidul. Hasil modifikasi material yang kuat dipilih agar dalam aplikasinya material penyerap tersebut tidak berubah menjadi bentuk serbuk/debu dan tidak terbawa masuk oleh biogas ke dalam mesin generator. Apabila material penyerap tersebut masuk ke dalam mesin generator, akan terjadi penumpukan serbuk/debu sehingga akan mengganggu kinerja mesin selanjutnya. Modifikasi material yang dapat menghasilkan daya listrik  $> 200$  watt adalah zeolit bentuk pelet dengan modifikasi material tapioka/kanji, kaolin Semin – Gunungkidul dan bentonit Boyolali. Daya listrik yang tinggi merupakan tujuan dari hasil konversi listrik dari biogas, sehingga dipilih hasil ujicoba yang menghasilkan daya listrik tinggi ( $> 200$  watt) sebagai salah satu parameter penentuan material penyerap biogas yang baik/optimal. Daya listrik yang tinggi tersebut memiliki korelasi dengan kadar metana biogas yang dipergunakan sebagai bahan bakar, karena variabel selain kadar metana biogas dapat diasumsikan sama dalam aplikasi masing – masing modifikasi zeolit sebagai material penyerap. Perbedaan kadar metana dalam biogas tersebut dapat terjadi karena perbedaan kemampuan material penyerap dalam menyerap gas-gas pengotor. Apabila kadar metana biogas yang dihasilkan oleh hasil penyerapan material dalam alat filter biogas tinggi, maka daya listrik yang dihasilkan juga tinggi dan begitu juga sebaliknya. Oleh karena pertimbangan tersebut yaitu mudah dalam pembuatan material modifikasi (bentuk pelet), material yang dihasilkan kuat (tidak berubah menjadi debu/serbuk) dan daya listrik yang dihasilkan tinggi ( $> 200$  watt), maka dipilih material modifikasi zeolit dengan kaolin lokal Semin – Gunungkidul berbentuk pelet sebagai material yang optimal dalam menyerap biogas. Sedangkan pada material modifikasi tapioka/kanji walaupun menghasilkan daya listrik yang lebih baik, namun materialnya rapuh sehingga dapat terjadi penumpukan debu/serbuk material penyerap dan mengganggu kinerja mesin selanjutnya.



Selain itu penelitian tentang pemisahan gas menggunakan zeolit juga dilakukan oleh Zhen dkk. (2005) yaitu pengujian permeasi gas yang dilakukan terhadap 2 variasi jenis membran yaitu *Polyethersulfone* (PES) murni dengan PES *Microsized zeolite-A* (M-A) dan *Nanosized zeolite-A* (N-A) pada 35 °C terhadap gas murni dari He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Perbedaan PES – zeolit M-A dengan PES – zeolit N-A yaitu hanya pada ukurannya, dengan jenis zeolit A.

Tabel 2.5 Hasil Permeabilitas Gas Melalui Membran PES dan PES - Zeolit 4A pada Temperatur 35 °C

Membran	Permeabilitas					
	He*	H <sub>2</sub> *	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
PES	9.11	8.96	0.773	0.129	0.112	3.38
PES-N-A	10.4	8.3	0.583	0.0907	0.0743	2.32
E <sup>a</sup>	114.16%	92.63 %	75.42 %	70.31 %	66.34 %	68.64 %
PES-M-A	5.23	4.94	0.363	0.058	0.0501	1.56
E <sup>a</sup>	57.41 %	55.13 %	46.96 %	44.96 %	44.73 %	46.15 %

Sumber: Zhen dkk. 2005

\*He dan H<sub>2</sub> diuji pada tekanan 2 atm dan gas yang lain pada tekanan 10 atm.

Permeabilitas dinyatakan dalam satuan barrer.

1 barrer = 10<sup>-10</sup> cm<sup>3</sup> (STP)cm/cm<sup>2</sup>cm Hg s.

E<sup>a</sup> didefinisikan sebagai ratio atau perbandingan sifat MMMs terhadap ketebalan membran murni.

Tabel 2.6 Hasil Permselektifitas Gas Melalui Membran PES dan PES – Zeolit 4A pada Temperatur 35 °C .

Membran	Permselektifitas					
	(P)He/(P)N <sub>2</sub>	(P)H <sub>2</sub> /(P)N <sub>2</sub>	(P)O <sub>2</sub> /(P)N <sub>2</sub>	(P)CO <sub>2</sub> /(P)CH <sub>4</sub>	(P)H <sub>2</sub> /(P)CO <sub>2</sub>	(P)He/(P)CO <sub>2</sub>
PES	70.62	69.46	5.99	30.18	2.65	2.70
PES-N-A	114.66	91.51	6.43	31.22	3.58	4.48
E <sup>a</sup>	162.37 %	131.75 %	107.27 %	103.47 %	134.96 %	166.32 %
PES-M-A	90.17	85.17	6.26	31.14	3.17	3.35
E <sup>a</sup>	127.69 %	122.63 %	104.45 %	103.18 %	119.46 %	124.39 %

Sumber : Zhen dkk., 2005

Pada eksperimen permeasi gas dengan MMMs terhadap 6 jenis gas yang terdapat pada Tabel 2.6 menunjukkan hasil bahwa selektifitas dari zeolit 4A/PES MMMs untuk pasangan gas He/N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, He/CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> terjadi peningkatan secara signifikan jika dibandingkan terhadap membran PES murni. Untuk permselektifitas gas terjadi peningkatan untuk nanostruktur membran PES, sebagai hasil yang terbentuk dari nanokristal zeolit 4A. Untuk hasil permeabilitas pada Tabel 2.5 dari zeolit 4A – PES MMMs untuk semua gas terjadi penurunan. Studi yang dilakukan Zhen dkk. (2005) untuk mempelajari sifat interaksi permukaan diantara polimer dengan zeolit, hal ini dilakukan dengan harapan dapat meningkatkan sifat dan karakteristik material PES – zeolit secara keseluruhan.

#### 2.4 Hipotesa

Dengan adanya variasi jumlah lapisan zeolit maka akan memperluas bidang kontak terhadap CO<sub>2</sub> sehingga semakin banyak CO<sub>2</sub> yang tersaring oleh *purifier*. Dan dengan variasi waktu yang lebih lama maka akan mengakibatkan gas CO<sub>2</sub> yang terserap oleh zeolit semakin banyak.

