

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian sebelumnya

Penelitian tentang pemurnian biogas telah banyak dilakukan, khususnya dengan metode absorpsi dan adsorpsi. Adsorpsi merupakan suatu proses kimia ataupun fisika yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat kepada suatu padatan atau cairan (disebut: zat penyerap, adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan film (disebut: zat terserap, adsorbat) pada permukaannya. Sedangkan absorpsi merupakan penyerapan fluida oleh fluida lainnya dengan membentuk suatu senyawa yang baru.

Frare dkk (2014), meneliti tentang penyerapan CO₂ dan H₂S pada biogas dengan menggunakan larutan Fe-EDTA. Biogas dialirkan dengan bentuk *bubble* melalui larutan pseudokatalitik. Larutan Fe-EDTA kemudian menyerap H₂S dengan reaksi redoks. Dalam penelitian ini, dibandingkan penggunaan dua jenis katalis untuk mengetahui performa dari larutan Fe-EDTA. Didapat kenaikan sekitar 16% dari nilai kalor bahan bakar biogas, dari 8,03 menjadi 9,28 kWh/m³.

Yasid dkk (2013), meneliti tentang variasi diameter lubang *bubble generator* pada kemampuan penyerapan CO₂. Dalam penelitiannya, biogas dilewatkan pada jalur berupa pipa yang telah dilubangi. Lubang ini disebut sebagai lubang *bubble generator*. Lubang ini kemudian dihubungkan dengan sebuah akuarium yang telah diisi absorben berupa larutan KOH. Penelitian menggunakan tiga jenis sampel gas: CH₄ murni, CO₂ murni, dan biogas asli. Pada pemurnian CH₄ murni dan CO₂ murni, digunakan variasi diameter lubang *bubble generator* 1 mm dan 0,8 mm, sedangkan pada pemurnian biogas asli, digunakan variasi diameter lubang *bubble generator* 1 mm, 0,8 mm, dan 0,5 mm. Dari penelitian ini, didapat pada gas CH₄ murni, tidak ada gas diserap oleh absorben, pada CO₂ murni, gas yang paling banyak diserap adalah pada diameter lubang *bubble generator* 0,8 mm sebesar 37% volume selama 5 detik, dan pada biogas asli, gas CO₂ terserap paling banyak adalah pada diameter lubang *bubble generator* 0,5 mm dengan gas CO₂ tersisa sebesar 6% volume selama 5 detik.

Andhika dkk (2012), meneliti tentang variasi konsentrasi NaOH pada kemampuan penyerapan CO₂. Konsentrasi NaOH divariasikan sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan dilakukan pengamatan setelah waktu reaksi 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Dari penelitian ini didapatkan hasil, bahwa semakin banyak

lapisan, dan semakin lama waktu reaksi, maka semakin banyak CO₂ yang terikat dengan NaOH.

Kamopas dkk (2011), meneliti tentang pemurnian gas dengan menggunakan larutan etanol amina. Pada eksperimen ini, digunakan gas campuran CH₄ dan CO₂ dengan komposisi 60% : 40% dengan variasi debit 2 – 4 liter / menit yang dialirkan melalui 10 liter larutan etanol amina dengan variasi konsentrasi 0,01 – 0,02 M. Gas campuran kemudian dialirkan melalui sebuah *nozzle* yang juga divariasikan diameternya antara 1,5 – 2,5 mm. Dengan teknik ini, larutan etanol amina dapat menyerap larutan dengan baik. Konsentrasi CO₂ yang tersisa tinggal 4 - 7%.

2.2 Biogas

2.2.1 Pengertian biogas

Biogas merupakan bahan bakar organik yang dihasilkan melalui proses respirasi anaerob (fermentasi) dari limbah organik, seperti kotoran ternak dan sampah rumah tangga. Biogas sendiri terdiri dari dua jenis gas utama, yaitu gas CH₄ dan CO₂. Gas - gas lain juga ditemukan pada biogas, antara lain H₂, N₂, CO, dan H₂S. Kandungan utama biogas adalah gas CH₄ dengan konsentrasi sebesar 55–75 % vol. Kandungan lain dalam biogas yaitu gas CO₂, H₂, N₂, CO dan H₂S. Gas dalam biogas yang dapat berperan sebagai bahan bakar yaitu gas CH₄, H₂, dan CO₂ (Price dan Cheremisinoff, 1981). Sementara itu, kandungan gas CO₂, H₂, N₂, CO dan H₂S pada biogas tidak terlalu tinggi. Biogas sendiri dibuat di dalam suatu wadah yang disebut *digester* dan dibuat dengan pencampuran limbah organik dengan air pada perbandingan komposisi tertentu. Kemudian, *digester* ditutup selama ± 1-2 minggu sampai terbentuk biogas.

Komposisi biogas yang dihasilkan tergantung dari bahan baku beserta komposisi penyusunnya. Namun kandungan gas yang paling banyak adalah CH₄ dan CO₂. (Wellinger dan Lindeberg. 2000). Biogas yang dibuat dari kotoran sapi memiliki kadar CH₄ ± 55-65 %, sedangkan kadar CO₂ sebesar ± 30-35 % dengan gas lain. Komposisi kandungan biogas dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Komponen Utama Biogas

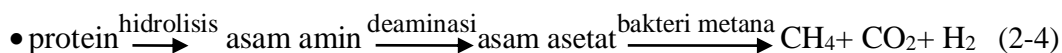
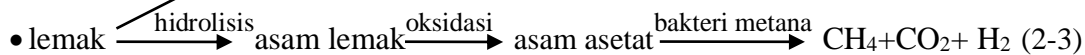
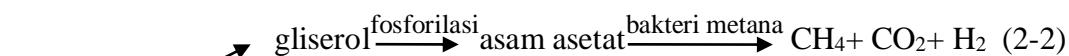
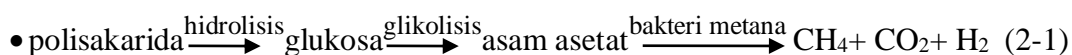
No.	Komponen	Satuan	Konsentrasi
1.	Gas Metana (CH ₄)	% Vol	50 – 70
2.	Karbon dioksida (CO ₂)	% Vol	25 – 45
3.	Uap air (H ₂ O)	% Vol	2 – 7
4.	Oksigen (O ₂)	Ppm	< 2
5.	Nitrogen (N ₂)	% Vol	< 2
6.	Amonia (NH ₃)	% Vol	< 1
7.	Hidrogen (H ₂)	% Vol	< 1
8.	Hidrogen sulfida (H ₂ S)	Ppm	< 1

Sumber : Al Saedi *et. al* (2008)

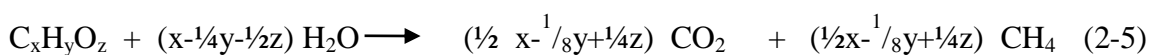
2.2.2 Proses pembentukan biogas

Pembentukan biogas dilakukan dengan proses respirasi anaerob (fermentasi), dimana dalam proses tersebut hanya membutuhkan sedikit oksigen. Proses pembuatan dilakukan di dalam suatu *digester* dengan bantuan bakteri anaerob, seperti *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus*, dan *Methanosarcina*.

Reaksi pembentukan CH₄ dari fermentasi umumnya membutuhkan bantuan enzim atau bakteri untuk mendegradasikan bahan organik yang hendak digunakan sebagai bahan baku biogas. Reaksi pembentukan CH₄ antara lain sebagai berikut :

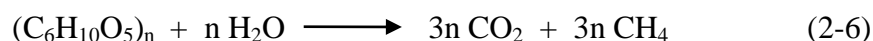


Secara umum, reaksi pembentukan CH₄ yaitu :



Sebagai contoh, pada pembuatan biogas dari bahan baku kotoran sapi atau kerbau yang banyak mengandung selulosa. Bahan baku dalam bentuk selulosa akan lebih mudah

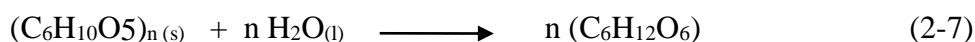
dicerna oleh bakteri anaerob. Reaksi pembentukan CH_4 adalah :



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

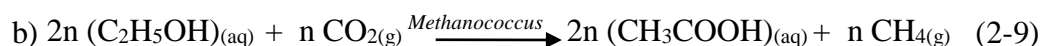
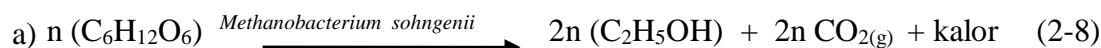
1. Reaksi Hidrolisis / Tahap pelarutan

Pada tahap hidrolisis, bahan-bahan organik pada sampah atau kotoran ternak dilarutkan, sehingga bahan-bahan organik tersebut menjadi senyawa kimia yang sederhana. Bahan organik ini diubah strukturnya menjadi bentuk monomer. Artinya senyawa seperti karbohidrat diubah menjadi gula sederhana. Reaksi pada hidrolisis adalah sebagai berikut:



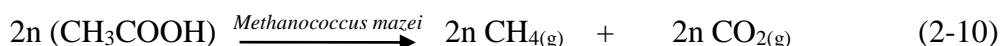
2. Reaksi Asidogenik / Tahap pengasaman

Pada tahap asidogenik, terjadinya reaksi anaerob, di mana pada reaksi ini, dihasilkan asam asetat. Reaksi asidogenik berlangsung pada suhu $\pm 25^\circ\text{C}$. Reaksi pada tahap asidogenik adalah sebagai berikut :



3. Reaksi Metanogenik / Tahap gasifikasi

Tahap ini merupakan lanjutan dari reaksi asidogenik. Pada akhir reaksi asidogenik, asam asetat yang telah terbentuk kemudian diuraikan menjadi metana dan karbon dioksida. Proses ini berlangsung secara anaerob selama ± 14 hari. Tahap ini merupakan tahap final dalam proses pembentukan biogas di mana dihasilkan CH_4 , CO_2 , sedikit H_2 dan H_2S . Reaksi pada tahap metanogenik adalah sebagai berikut :



2.2.3 Karakteristik gas penyusun biogas

a. Gas Metana (CH_4)

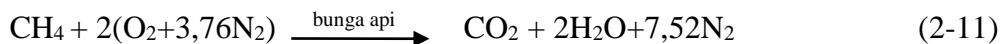
Sifat fisika metana sebagai berikut :

Berat molekul	: 16,04 gram/mol
Densitas	: $7,2 \times 10^{-4}$ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
Titik didih	: $-161,4^\circ\text{C}$
Titik leleh	: $-182,6^\circ\text{C}$
Nilai kalor CH_4	: 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 (CO₂)

Sifat fisika karbon dioksida sebagai berikut :

Berat molekul : 44,01 gram/mol

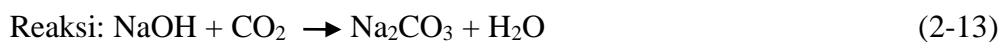
Densitas : $1,98 \times 10^{-3}$ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)

Titik leleh : -55,6 °C (pada tekanan 5,2 atm)

Titik didih : -8,5°C

Sifat kimia karbon dioksida sebagai berikut :

- Karbon dioksida bereaksi dengan natrium hidroksida membentuk natrium karbonat.



c. Nitrogen (N₂)

Sifat fisika nitrogen sebagai berikut :

Berat molekul : 28,02 gram/mol

Densitas : $1,25 \times 10^{-3}$ 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 diatomik.

d. Hidrogen (H₂)

Sifat fisik Hidrogen sebagai berikut :

Berat molekul : 2,016 gr/mol

Densitas : $8,97 \times 10^{-5}$ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)

Titik leleh : -259,1 °C

Titik didih : $-252,7^{\circ}\text{C}$

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 :

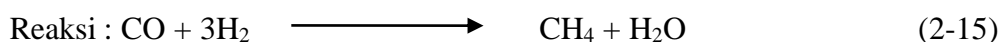
Berat molekul : 28,01 gr/mol

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 (O₂)

Sifat fisika oksigen sebagai berikut :

Berat molekul : 16 gr/mol

Temperatur kritis : -118°C

Tekanan kritis : 49,7 atm

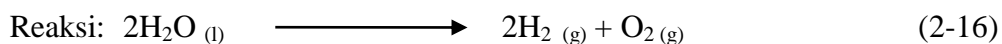
Titik didih : -183°C

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

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

Sifat kimia oksigen sebagai berikut :

-Oksigen (O₂) diperoleh dengan cara elektrolisis



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



g. Hidrogen sulfida (H₂S)

Sifat fisika hidrogen sulfida sebagai berikut :

Berat molekul : 34,08 gram/mol

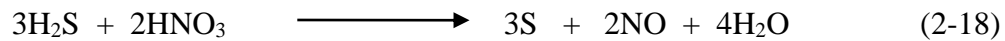
Titik didih : $-59,6^{\circ}\text{C}$

Titik leleh : -82,9 °C

Sifat kimia hidrogen sulfida adalah :

-Merupakan reduktor dalam reaksi redoks

-Reaksi antara H₂S dengan HNO₃ membentuk endapan belerang dan gas NO serta H₂O



2.3 Pemurnian pada biogas

Untuk memurnikan gas CO₂ dari biogas, telah banyak dilakukan penelitian-penelitian untuk mencari metode yang efektif. Gas CO₂ sendiri perlu dimurnikan karena gas CO₂ dapat menurunkan nilai kalor biogas. Penurunan yang dihasilkan pun juga cukup besar karena kandungannya yang cukup tinggi di dalam biogas. Penurunan ini berefek efisiensi pembakaran yang menurun sehingga gas CO₂ perlu dihilangkan.

Metode pemurnian terhadap gas CO₂ dapat dilakukan dengan proses penyerapan fisik atau kimia. Metode penyerapan CO₂ yang digunakan antara lain absorpsi kimia, adsorpsi padatan, separasi menggunakan membran, separasi kriogenik, dan konversi kimia.

a. Absorpsi kimia

Absorpsi kimia melibatkan pembentukan ikatan kimia yang bersifat reversibel antara larutan dan pelarut. Pembentukan zat pelarut, melibatkan pemutusan rantai ikatan kimia sehingga dihasilkan energi yang cukup besar. Zat pelarut umumnya melibatkan larutan yang mengandung gugus amina (seperti trietanolamina), dan larutan garam alkali (seperti natrium hidroksida).

Biswas *et al.* (1977) melakukan penelitian tentang pembentukan *bubble* biogas melalui larutan mono etanol amina 10%. Hasil dari penelitian ini, kandungan CO₂ dari biogas berkurang dari 40% volume, menjadi hanya tinggal 0,5 -1% volume.

b. Adsorpsi pada permukaan padat

Proses adsorpsi ini melibatkan perpindahan aliran gas pada permukaan material padat, di mana ikatan antara gas dengan padatan terjadi akibat adanya gaya Van der Waals. Material padat yang digunakan umumnya berupa butiran dengan luas permukaan yang tinggi per unit volume. Dengan pemilihan adsorben yang benar, maka proses ini akan menyerap gas CO₂ secara efisien. Proses ini umumnya hanya

dapat dilakukan pada suhu dan tekanan tinggi. Kemampuan menyerap kelembabannya baik dan prosesnya mudah dijalankan.

Schomaker *et. Al* (2000) meneliti tentang penyerapan CO₂ dengan menggunakan tiga buah tabung berisi arang aktif. Biogas mula – mula dialirkan menuju tabung pertama pada tekanan 6 bar. Ketika arang aktif pada tabung pertama telah jenuh, maka pemurnian biogas dilanjutkan pada tabung kedua, dan setelah arang aktif pada tabung kedua jenuh, diteruskan menuju tabung ketiga. Efisiensi pada proses ini adalah 98 %.

Pandey dan Fabian (1989), menggunakan zeolit jenis NYT (Neopoliton Yellow Tu) dalam penelitiannya. Dari penelitian mereka, ditemukan bahwa kemampuan adsorpsi CO₂ nya sebesar 0,4 kg per kg zeolit. Proses ini dilakukan pada tekanan 1,5 bar dan suhu 22°C.

c. Pemisahan dengan membran

Prinsip pemisahan dengan membran adalah ketika gas dengan campuran tertentu dilewatkan pada membran tipis, maka molekul-molekul gas tertentu akan tertangkap, sedangkan molekul gas lainnya lolos. Proses pemurnian bisa menggunakan membran dengan ukuran *mesh* < 1 mm. Tingkat keefektifan metode ini dipengaruhi oleh peremabilitas dari material membran. Semakin tinggi kadar CH₄ yang diinginkan, maka permeabilitas membrannya juga semakin tinggi.

Rautenbach *et. Al* (1987) melakukan penelitian dengan mendesain sebuah instalasi alat pemurnian biogas yang berfungsi menyerap CO₂ dengan metode pemisahan menggunakan membran. Membran yang digunakan menggunakan campuran senyawa asetat, di mana membran ini permeabilitasnya lebih baik untuk digunakan pada CO₂ dibandingkan CH₄. Hasil terbaik didapatkan ketika instalasi dijalankan pada suhu 25°C dan tekanan 5,5 bar.

d. Pemisahan kriogenik

Metode pemisahan secara kriogenik melibatkan proses kondensasi dan distilasi pada suhu rendah. Pada proses ini, hasil akhir yang terbentuk adalah gas CH₄ dalam bentuk cair. Sayangnya, metode ini memiliki kekurangan. Efisiensi termalnya rendah dan biaya pembuatan instalasinya termasuk tinggi. Pada metode kriogenik, biogas dikompresikan pada tekanan 80 bar. Kompresi dibuat bertingkat pada beberapa tempat. Biogas kemudian dikeringkan untuk menghindari terjadi pembekuan selama proses pendinginan. Biogas didinginkan menggunakan *chiller*

dan *heat exchanger* sampai suhu -45°C . Gas CO_2 yang berubah menjadi cair kemudian dipindahkan. Proses ini menghasilkan sampai 97% CH_4 murni.

e. Konversi kimiawi

Metode konversi kimiawi merupakan salah satu jenis metode pemurnian CO_2 yang digunakan untuk menghasilkan CH_4 dalam persentase yang sangat besar. Contoh proses konversi kimia adalah metanasi, di mana menggunakan CO_2 dan H_2 yang kemudian direaksikan dengan menggunakan katalis untuk menghasilkan CH_4 dan H_2O . Kekurangan metode ini harganya sangat mahal, kalor yang dihasilkan sangat besar, serta membutuhkan hidrogen murni dalam jumlah tertentu sehingga metode ini tidak disarankan untuk proses pemurnian biogas.

2.4 Absorben

2.4.1 Larutan NaOH

NaOH / natrium hidroksida, merupakan salah satu jenis senyawa kimia basa berwarna putih yang banyak digunakan di pengujian laboratorium dan pada industri, serta digunakan pada pembuatan bahan seperti kertas, plastik, tekstil, dan bahan pembersih. NaOH juga digunakan sebagai salah satu komposisi zat aditif pada makanan. NaOH sendiri dapat dibuat dengan berbagai macam bentuk padatan, baik itu dalam bentuk serpihan, butiran, atau *coarse*. Larutan ini sangat mudah bereaksi dengan karbon dioksida. Reaksinya dengan air akan menghasilkan panas. Berikut ini adalah sifat fisik NaOH .

- a. Penampilan : zat padat putih
- b. Densitas : $2,1 \text{ gr/cm}^3$ (padat)
- c. Titik lebur : 318°C (591 K)
- d. Titik didih : 1390°C (1663 K)
- e. Kelarutan dalam air : 111 g/100 ml (20°C)

Penyerapan kandungan CO_2 di dalam biogas bisa dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH . Reaksi absorpsi gas CO_2 pada biogas dengan larutan NaOH dapat dituliskan pada reaksi sebagai berikut:





Gambar 2.1 Natrium Hidroksida

Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Natrium_hidroksida

2.4.2 Zeolit

Zeolit merupakan jenis mineral yang strukturnya mudah diatur. Zeolit berasal dari kata “zeinlithos” yang berarti batuan berbuih. Dalam reaksi kimianya, umumnya zeolit digunakan sebagai adsorben atau penukar ion. Zeolit sendiri memiliki variasi jenis mineral bermacam – macam sehingga zeolit memiliki rumus kimia yang bervariasi. Umumnya senyawa dalam zeolit memiliki kandungan Al_2O_3 , Na_2O , Fe_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO , dan MgO . Kandungan senyawa tersebut dapat diidentifikasi tergantung dari komponen penyusun serta kondisi lingkungannya. Selain itu kandungan unsur seperti Si dan Al dapat disubstitusikan dengan unsur lain seperti Fe dan Na. Berikut ini dicantumkan nama mineral zeolit beserta rumus kimianya, yang dicantumkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nama mineral zeolit dan rumus empirisnya

No	Nama Mineral	Rumus kimia unit sel
1	Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{16}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
2.	Kabasit	$(\text{Na}_2\text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
3	Klinoptilloit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
4	Erionit	$(\text{Na}_7\text{Ca}_5\text{K})_9(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
5	Paujasit	$(\text{Na}_{58}(\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384})) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
6	Perrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
7	Wairakit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
8	Yugawaralit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
9	Pillipsit	$(\text{Na},\text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
10	Epistilbit	$(\text{Ca},\text{Na}_2)_3(\text{Al}_6\text{Si}_{18}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
11	Gismondin	$(\text{Na},\text{Ca}_2,\text{K}_2)_4(\text{Al}_8,\text{Si}_8\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
12	Connardit	$(\text{Na}_2\text{Ca})(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
13	Harmotom	$(\text{Ba},\text{Na}_2)_2(\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
14	Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
15	Scolecit	$\text{Ca}_2(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

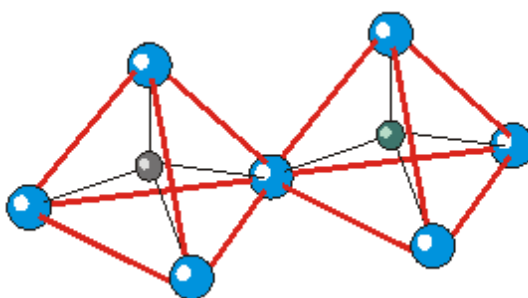
Sumber : (Krauss 1959)

Mineral zeolit umumnya terdapat di dalam batuan sedimen, umumnya untuk mineral zeolit jenis klinoptilloit dan analsim. Sifat-sifat yang dapat diidentifikasi dari zeolit antara lain struktur kristal, daya serap, dan kapasitas pertukaran ion.

Aplikasi zeolit secara nyata dapat dilihat pada bidang tertentu. Pada bidang industri misalnya, zeolit digunakan untuk mengurangi kandungan limbah yang dihasilkan oleh pabrik. Limbah pabrik yang begitu meresahkan masyarakat, diserap dengan menggunakan zeolit. Zeolit menyerap kandungan limbah pabrik dengan menggunakan metode adsorpsi.

Mineral zeolit memiliki struktur kristal tetrahedral silikat. Pada strukturnya, terdapat unsur silikon yang netral atau unsur aluminium yang bermuatan listrik, sehingga menyebabkan zeolit memiliki muatan listrik. Kelebihan muatan listrik ini dinetralkan dengan penambahan kation dari golongan alkali, seperti Na dan K. Kation ini kemudian menduduki tempat yang tersebar dalam struktur zeolit yang bersangkutan.

Di dalam zeolit, terdapat ruang hampa dengan ukuran tertentu, tergantung dari jenis zeolit yang bersangkutan. Ruang hampa ini yang kemudian menjadi dasar dari penggunaan zeolit. Molekul zat yang hendak disaring tidak dapat melewati ruang hampa pada struktur kristal zeolit, jika ukuran molekulnya lebih besar daripada ruang hampa. Dan sebaliknya, jika ukuran molekul zat yang hendak disaring lebih kecil, maka molekul tersebut dapat melewati ruang hampa. Semakin besar dan luas ruang hampa yang dimiliki zeolit, maka semakin tinggi kemampuan penyerapan dari zeolit tersebut.



Gambar 2.2 Struktur Kristal zeolit

Sumber : www.uspaintchem.com/product_details.php?session_id=f09883b57b33d3d33c39bbc8dd3b2be2&product_id=44

Pada aplikasi penggunaannya, perlu adanya aktivasi dari zeolit yang bertujuan untuk mengubah kondisi struktur kristal pada zeolit yang bertujuan memperbaiki kemampuan adsorpsi dari zeolit itu sendiri. Untuk memperbaiki daya serap yang digunakan oleh zeolit itu sendiri, maka zat pengotor yang berada dari zeolit harus dibersihkan. Menghilangkan komponen pengotor pada zeolit berarti memperbesar-pori-pori zeolit, atau menghilangkan kation logam tertentu dan molekul airnya. Aktivasi dari zeolit dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu : 1) memanaskan zeolit dalam jangka waktu dan suhu tertentu, 2) Penggunaan larutan asam untuk membersihkan pori-pori zeolit.

2.4.3 Arang aktif

Arang aktif merupakan padatan yang dihasilkan melalui pemanasan dengan suhu tinggi, di mana dari hasil pemanasan tersebut didapat hasil akhir berupa kandungan karbon 85-95%. Arang aktif umumnya digunakan juga sebagai adsorben, di samping kegunaannya sebagai bahan bakar. Dalam proses pemanasan arang aktif, dikondisikan supaya tidak ada udara masuk. Hal ini bertujuan untuk menjaga supaya arang yang telah

dibakar tadi tidak teroksidasi dan hanya terkarbonasi. Kemampuan penyerapan dari arang aktif biasanya ditentukan oleh luas permukaan partikelnya. Semakin luas arang aktif, maka semakin baik performa penyerapan arang aktif. Performa penyerapan dari arang aktif dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan-bahan kimia atau pemanasan pada suhu tinggi.

Kisaran luas permukaan arang aktif yaitu antara 300-3500 m²/g. Kemampuan penyerapan arang aktif berhubungan dengan struktur pori yang mengakibatkan arang aktif memiliki sifat sebagai adsorben. Arang aktif dapat mengadsorpsi gas tertentu, tergantung dari besar molekul gas dan volume pori-pori arang aktif. Arang aktif memiliki daya serap sekitar 25% beratnya.

Arang aktif dibagi 2 jenis, yaitu sebagai penyerap uap dan sebagai penyerap gas. Arang aktif yang digunakan untuk menyerap uap, biasanya berbentuk granular sangat keras, dan ukuran porinya berkisar antara 10-200 Å. Untuk pori-pori arang yang lebih halus, digunakan untuk menyerap gas. Diperoleh dari tempurung kelapa, tulang, batu bata, atau bahan-bahan lain yang sifat materialnya keras.

Proses aktivasi merupakan hal yang penting diperhatikan di samping bahan baku yang digunakan. Yang dimaksud dengan aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Metode aktivasi yang umum digunakan dalam pembuatan arang aktif adalah:

- a. Aktivasi Kimia: proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia.
- b. Aktivasi Fisika: proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO₂. Untuk aktivasi kimia, aktivator yang digunakan adalah bahan-bahan kimia seperti: hidroksida logam alkali garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah, dan khususnya ZnCl₂ asam-asam anorganik seperti H₂SO₄ dan H₃PO₄. Arang aktif sebagai pemucat, dapat dibuat dengan aktivasi kimia. Bahan baku dicampur dengan bahan-bahan kimia, kemudian campuran tersebut dipanaskan pada temperatur 500-900°C. Selanjutnya didinginkan, dicuci untuk menghilangkan dan memperoleh kembali sisa-sisa zat kimia yang digunakan. Akhirnya, disaring dan dikeringkan. Bahan baku dapat dihaluskan sebelum atau

setelah aktivasi. Cheremisinoff dan A. C. Moressi (1978), mengemukakan bahwa proses pembuatan arang aktif terdiri dari tiga tahap yaitu:

- a. Dehidrasi: proses penghilangan air. Bahan baku dipanaskan sampai temperatur 170 °C.
- b. Karbonisasi: pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon. Temperatur di atas 170°C akan menghasilkan CO, CO₂ dan asam asetat. Pada temperatur 275°C, dekomposisi menghasilkan tar, metanol dan hasil sampingan lainnya. Pembentukan karbon terjadi pada temperatur 400-600°C.
- c. Aktivasi: dekomposisi tar dan perluasan pori-pori. Dapat dilakukan dengan uap atau CO₂ sebagai aktivator.

Sifat arang aktif yang paling penting adalah daya serap. Dalam hal ini, faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi adalah sifat adsorben. Arang aktif yang merupakan adsorben adalah suatu padatan berpori, yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen. Dengan demikian, permukaan arang aktif bersifat non polar. Selain komposisi dan polaritas, struktur pori juga merupakan faktor yang penting diperhatikan. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori arang aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Dengan demikian kecepatan adsorpsi bertambah. Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi, dianjurkan agar menggunakan arang aktif yang telah dihaluskan. Jumlah atau dosis arang aktif yang digunakan, juga diperhatikan.

Adsorpsi adalah proses pengumpulan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan oleh permukaan benda penyerap di mana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dan penyerapnya. Proses adsorpsi digambarkan sebagai proses molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat penyerap akibat ikatan fisika dan kimia. Adsorpsi dalam air limbah sering mengikuti proses biologis untuk menyisihkan bahan-bahan yang tidak tersisihkan oleh proses biologis, misalnya bahan organik non-biodegradabel. Oleh karena itu adsorpsi sering dikelompokkan sebagai pengolahan tersier (Sawyer et. al., 1994 dalam Masduqi dan Slamet, 2000). Permukaan padatan yang kontak dengan suatu larutan cenderung untuk menghimpun lapisan dari molekul-molekul zat terlarut pada permukaannya akibat ketidakseimbangan gaya-gaya pada permukaan. Adsorpsi kimia menghasilkan pembentukan lapisan monomolekular adsorbat pada permukaan melalui gaya-gaya dari valensi sisa dari molekul-molekul pada permukaan. Adsorpsi fisika diakibatkan kondensasi molekular dalam kapiler-

kapiler dari padatan. Secara umum, unsur-unsur dengan berat molekul yang lebih besar akan lebih mudah diadsorpsi.

2.5 Bubble generator

Bubble generator di sini merupakan alat yang digunakan untuk membuat gelembung gas. *Bubble generator* dibuat dengan cara melubangi silinder dengan diameter yang sudah ditentukan. *Bubble generator* kemudian dimasukkan ke dalam fluida kerja, misalnya air dan kemudian dialiri gas. Gas yang mengalir melalui *bubble generator* kemudian akan mengalami kontak dengan fluida kerja sehingga membentuk gelembung.

2.6 Hipotesis

Dengan menggunakan larutan NaOH, zeolit, dan arang aktif, maka konsentrasi CO₂ yang berada pada biogas akan berkurang sehingga menyebabkan tekanan antar tiap manometer semakin rendah. Semakin tinggi konsentrasi NaOH dan semakin banyak jumlah lubang *bubble generator*, maka konsentrasi CO₂ yang berada pada gas menurun sehingga menyebabkan tekanan antar tiap manometer semakin rendah.