

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai pemurnian biogas dengan menggunakan metode absorpsi baik dengan larutan, maupun padatan banyak yang telah dilakukan. Penelitian yang dilakukan oleh Andhika dkk (2012), menggunakan sistem purifikasi yang dilakukan secara kontinyu. Dalam penelitiannya, digunakan tabung purifikasi sebagai media tempat bertemunya biogas dengan absorben, absorben yang digunakan adalah NaOH dengan variasi konsentrasi 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, dan 50 %, dengan variasi waktu penyerapan 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Dari penelitian ini didapatkan jumlah CO₂ yang paling banyak diserap oleh absorben dari biogas adalah pada saat konsentrasi NaOH yang paling tinggi, yaitu sebesar 50 % dan pada 15 menit yang pertama.

Faruq dkk (2012) pada penelitiannya mengenai banyaknya lapisan zeolit dalam tabung purifikasi untuk penyerapan CO₂. Dengan bervariasi jumlah lapisan zeolit yang terdapat didalam tabung purifikasi sebanyak 1 lapisan, 2 lapisan, 3 lapisan, 4 lapisan, dan 5 lapisan, dan lama waktu penyerapan 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa dengan semakin lama waktu purifikasi, dan semakin banyak lapisan zeolit yang digunakan, maka akan dapat menurunkan kandungan CO₂ dalam biogas.

Pemurnian dengan menggunakan larutan kimia juga dilakukan oleh Kusuma dkk (2012). Dalam penelitian ini, memperlihatkan keuntungan - keuntungan menggunakan pemurnian dengan cara absorpsi kimia, yaitu efisiensi tinggi, laju reaksi cepat, dan efektif digunakan untuk laju alir gas rendah pada kondisi normal seperti biogas. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan larutan NaOH, CuSO₄, dan Fe₂(SO₄)₃ dengan konsentrasi masing – masing larutan 0,1 % untuk menyerap H₂S dari biogas. Dengan menggunakan *packed collum*, masing – masing larutan dikontakkan dengan bio gas yang kecepatannya dibuat konstan sebesar 1 liter/menit. Dengan bervariasi laju alirannya absorben sebesar 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, dan 0.12 liter/min, dan berlansung secara kontinyu. Hasil yang didapatkan bahwa absorpsi kimia sangat dipengaruhi oleh laju alir penyerapnya, dan rasio L/G, dengan larutan NaOH yang paling bersifat reaktif dibandingkan CuSO₄, dan Fe₂(SO₄)₃.

Endang dkk (2009). Dalam penelitian ini disusun model matematis numerik

proses absorpsi H_2S yang melibatkan transfer massa, disertai reaksi kimia, agar diperoleh data – data koefisien transfer massa, dan konstanta kecepatan reaksi pada absorpsi H_2S . Dalam penelitian tetap menggunakan tabung purifikasi yang dilengkapi dengan bak penampungan hasil endapan H_2S yang berhasil diikat oleh absorben, absorben yang digunakan pada penelitian ini adalah Fe – EDTA (besi bekas – ethylene diamina tetra acetic acid), dengan variasi konsentrasi) 0.1 M, dan 0.2 M. Dari penelitian didapati bahwa semakin besar konsentrasi absorben, maka transfer massa, dan konstanta kecepatan reaksi nya juga akan semakin besar pula.

Penelitian yang dilakukan oleh Srihari dkk (2009) juga untuk memperoleh data mengenai harga koefisien perpindahan massa *volumetric overall* fase gas terhadap variabel operasinya, dan nilai dari luas interfacial persatuan volume *packing*. Larutan pelarut yang digunakan sebagai absorbennya untuk mengikat CO_2 adalah monortanolamina (MEA), dengan variasi konsentrasi 0.028 N hingga 0.091 N, dan bervariasi laju alir dari absorbennya. Hasil yang didapat dari penelitian ini bahwa semakin tinggi konsentrasi MEA menyebabkan harga koefisien perpindahan massa *volumetric overall* fase gas akan ikut meningkat, akan tetapi bila laju alir dari MEA dibuat konstan, dan laju alir CO_2 ditingkatkan, maka akan menyebabkan koefisien perpindahan massa *volumetric overall* fase gasnya akan semakin menurun, sedangkan nilai dari luas interfacial persatuan volume *packing* tidak terpengaruh dengan perubahan laju alir gas, dan konsentrasi MEA.

Zhao dkk (2010), dalam penelitian ini digunakan metode absorpsi kimia untuk melarutkan CO_2 , setelah sebelumnya membandingkan kelebihan dan kekurangan metode – metode pemurnian yang lain, diantaranya yaitu metode absorpsi dengan padatan, kriogenik, dan penyaringan dengan menggunakan membran. Dalam penelitiannya digunakan larutan MDEA (monodietilamina) dengan variasi konsentrasi 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 %, dengan laju aliran maksimumnya 2.0 liter/min. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi MDEA 20 % dapat menyerap 100 % CO_2 dibandingkan dengan konsentrasi 40 %, ini disebabkan akibat panas yang timbul ketika reaksi kimia pengikatan MDEA dengan CO_2 yang terjadi dalam *packed collum*, sehingga mempengaruhi kemampuan serap dari absorben nya yaitu MDEA.

Lalu penelitian yang dilakukan oleh Firoz dkk (2010), mengenai pengembangan larutan amina baru yang dapat menyerap CO_2 lebih baik, dan lebih murah. Dalam penelitiannya dibandingkan karakteristik AMP (1-amino-2-methyl-1-

propanol), dengan MEA (monoethanolamina). 2 larutan amina tersebut dibandingkan karena memiliki daya serap yang sangat tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menekan panas yang timbul akibat reaksi antara absorben dengan CO₂, sehingga didapatkan larutan yang memiliki daya serap yang tinggi, dan panas yang relatif lebih. Dengan mengamati proses reaksi penangkapan CO₂, dan susunan senyawa antara AMP dan MEA yang digabungkan, diperoleh amino alkohol sebagai larutan yang dapat menekan panas berlebih dari reaksi penyerapan CO₂ oleh absorben.

2.2 Biogas

2.2.1 Pengertian Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari bahan – bahan organik seperti sampah organik, limbah rumah tangga, kotoran hewan, dan manusia yang difermentasikan oleh bakteri metana yang diperoleh dengan cara metanogen seperti *Methanobacterium sp.* Metanogen (penghasil bakteri metana) adalah proses terakhir dalam rantai mikro-organisme yang lebih rendah dekomposisi bahan organik dan kembali produk ke lingkungan. Dan dalam proses terjadinya, biogas berlangsung dalam keadaan tertutup. (<http://id.wikipedia.org/wiki/Biogas>).

Kandungan utama biogas adalah gas metana (CH₄) dengan konsentrasi sebesar 55 – 75 % vol. Kandungan lain dalam biogas yaitu gas karbon dioksida (CO₂), gas hidrogen (H₂), gas nitrogen (N₂), gas karbon monoksida (CO) dan gas hidrogen sulfida (H₂S). Gas dalam biogas yang dapat berperan sebagai bahan bakar yaitu gas metana (CH₄), gas hidrogen (H₂) dan gas CO (Price dan Cheremisinoff, 1981).

Biogas memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan udara. Suhu pembakaran biogas antara 650°C – 750°C. Apabila dibakar, akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Biogas umumnya dimanfaatkan untuk memasak, sumber energi untuk menyalakan lampu dan untuk berbagai aplikasi lainnya.

2.2.2 Komposisi Kandungan Biogas

Komposisi kandungan biogas yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Namun demikian, komposisi biogas yang utama adalah gas metana (CH₄) dan gas karbon dioksida (CO₂). Komponen lainnya yang ditemukan terdapat dalam kisaran konsentrasi yang kecil (*trace element*) antara lain gas hidrogen sulfide (H₂S), gas hidrogen (H₂), gas nitrogen (N₂), dan gas oksigen (O₂). Tetapi gas-

gas tersebut hanya berkisar dalam jumlah yang sangat kecil selain gas karbon dioksida CO₂. Oleh sebab itu gas karbon dioksida (CO₂) yang terdapat dalam biogas perlu dikurangi, karena dapat menghambat nilai kalor dari gas metana (CH₄), untuk lebih lengkapnya dapat dilihat dalam tabel 2.1 prosentase jumlah komposisi biogas mulai dari yang terbesar sampai yang terkecil.

Tabel 2.1 Komposisi biogas

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

Sumber : Faruk dkk (2012)

Metana (CH₄) dalam biogas bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Metana (CH₄) memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara yaitu sebesar 1,2 kg/m³, serta dapat mencair pada temperatur -164 °C dan mendidih pada temperatur 161,49 °C, sifat fisika dari gas metan yang lebih lengkap dapat dilihat dalam Tabel 2.2, yaitu sebagai berikut ;

Tabel 2.2. Sifat fisik dan kimia dari gas metan

BESARAN	HARGA BESARAN
Formula	CH ₄
Titik didih	161,49 °C
Titik Cair	- 164 °C
Tekanan Kritis	673 psi (47,363 kg/cm)
Temperatur Kritis	- 82,5 °C
Berat jenis (60% CH ₄)	1,2 kg/m ³
Titik nyala	650 °C
Stoichiometric udara/bahan bakar (kg/kg)	10,2 : 1

Sumber : Mitzlaff (1988)

Komponen terbesar biogas adalah gas metana (55-75 %). Gas metana merupakan komponen terpenting dalam biogas karena memiliki nilai kalor yang cukup tinggi diproduksi oleh bakteri pembusuk dengan cara menguraikan bahan-bahan organik. Semakin tinggi kandungan metana dalam bahan bakar, semakin besar kalori yang dihasilkan. Pada kisaran normal, biogas dengan kandungan 60 % metana memiliki nilai kalori sebesar 18000 (kJ/kg).

Dalam biogas gas karbon dioksida (CO₂) merupakan gas yang merugikan karena gas tersebut akan menurunkan nilai kalor dalam proses pembakaran biogas. Selain itu gas karbon dioksida (CO₂) juga merupakan salah satu penyebab terjadinya efek rumah kaca yang dinyatakan menjadi penyebab pemanasan global. Oleh sebab itu agar tidak terjadi dampak pencemaran lingkungan yang berlebihan maka gas karbon dioksida (CO₂) yang terdapat dalam kandungan biogas ini harus dikurangi. Dengan kata lain jika kandungan Metana (CH₄) dalam biogas semakin besar maka nilai kalor biogas yang ada akan semakin meningkat. Untuk memperbesar kandungan Metana (CH₄) dalam biogas maka jalan keluar yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi kandungan gas karbon dioksida (CO₂) yang terdapat dalam biogas tersebut.

Proses pengurangan kandungan karbon dioksida (CO₂) ini dilakukan dengan metode teknologi absorpsi menggunakan larutan air, kalsium hidroksida (CaOH), dan trietilamina (TEA), proses pemurnian dengan metode absorpsi larutan dipilih karena

reaksi nya yang berlangsung sangat cepat. Pada penelitian ini juga, akan dilihat pengaruh dari panjang *tubing* terhadap hasil penyerapan CO_2 didalam *packed collum*.

2.3 Teknologi Pemurnian

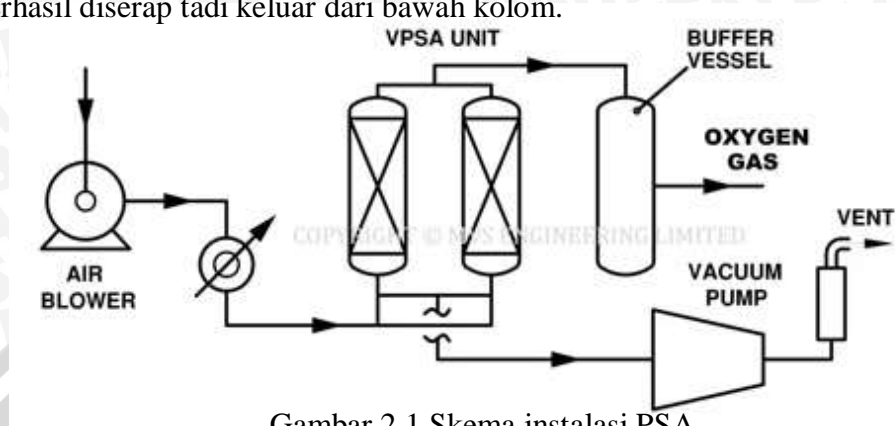
Pemurnian gas adalah sebuah proses pemisahan terhadap kandungan gas pengganggu, atau yang tidak dapat terbakar seperti CO_2 , H_2S , dan H_2O , dengan menggunakan bahan-bahan pengikat maupun bahan-bahan yang bereaksi dengan gas tersebut baik dalam bentuk gas, cair, maupun padat. Sistem atau peralatan yang digunakan sebagai alat tambahan pada instalasi yang berfungsi sebagai tempat pemurnian gas disebut tabung purifikasi. Cara kerjanya sebagai separator CH_4 dari produk dengan mengikat atau menyerap CO_2 , H_2S , dan H_2O , misalnya menggunakan larutan trietilamina (TEA) yang disemprotkan, dan dikontakkan dengan biogas untuk dapat melakukan penyerapan terhadap gas – gas pengganggu, dan kontak antar fasenya terjadi di dalam *packed collum*.

Teknologi pemisahan yang digunakan untuk pemurnian biogas tergantung pada komposisi dan tujuan penggunaannya. Pada umumnya pemurnian biogas bertujuan untuk meningkatkan nilai kalornya sehingga nyala api lebih maksimal, dengan cara menyingkirkan gas – gas pengganggu yang dapat menghambat nyala dari biogas. Sebagai contoh agar mempunyai nilai kalor yang tinggi maka dapat dilakukan dengan cara mengurangi konsentrasi karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Gas metan murni memiliki nilai kalor 9100 kkal/m^3 pada $15,5^\circ\text{C}$ dan 1 atm. Sedangkan nilai kalor biogas bervariasi 4800 sampai 6200 kkal/m^3 . Untuk mencapai komposisi standar maka perlu dilakukan adanya pemurnian. Pada umumnya, pemisahan karbon dioksida dapat dilakukan dengan beberapa teknologi, antara lain :

a. *Pressure Swing Absorbtion (PSA)*

Pressure Swing Adsorption (PSA) adalah teknologi yang digunakan untuk memisahkan beberapa jenis gas dari campuran gas utama, di bawah tekanan sesuai dengan karakteristik molekuler jenis, dan afinitas untuk bahan adsorbennya. Ini beroperasi pada suhu ambien, dan berbeda dari teknik destilasi kriogenik dalam pemisahan gas. Dengan menggunakan bahan adsorptif khusus misalnya, zeolit dan karbon aktif dapat digunakan sebagai saringan molekuler, dan menyerap gas pada tekanan tinggi. Pada gambar 2.1 dapat kita lihat skema instalasi PSA, *air blower* berfungsi untuk meningkatkan tekanan gas, yang kemudian dimasukkan kedalam kolom adsorben, didalam kolom ini akan terjadi penyerapan gas – gas pengganggu,

dan gas yang diinginkan yang tidak bereaksi dengan absorben akan keluar dari atas kolom. Ketika keadaan absorben mendekati keadaan jenuh, pompa vakum akan menyala sehingga menyebabkan tekanan didalam kolom menurun, dan gas – gas yang berhasil diserap tadi keluar dari bawah kolom.



Gambar 2.1 Skema instalasi PSA
Sumber : MVS Engineering (2012)

Prinsip PSA sangat bergantung pada tekanan kerjanya. Semakin tinggi tekanan, semakin banyak gas yang teradsorpsi, ketika tekanan berkurang maka gas akan dilepaskan, dapat dilihat pada gambar 2.2,

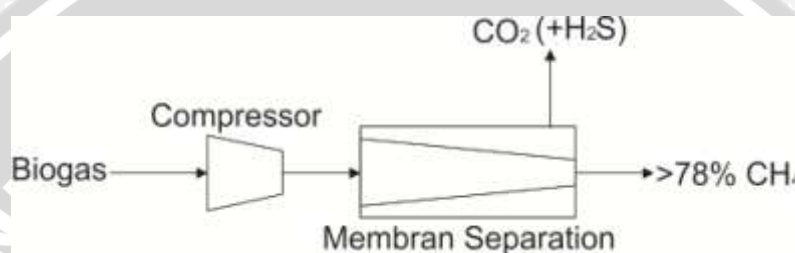


Gambar 2.2 Prinsip Kerja PSA
Sumber : Hullu dkk. 2008. *Comparing Diferent Biogas Upgrading Technique*. Edf.

PSA menggunakan zeolit atau karbon aktif pada tingkat tekanan yang berbeda merupakan metode yang efektif untuk pemisahan CO_2 dari gas metana. Karbon aktif diresapi dengan kalium iodida katalis dapat bereaksi dengan oksigen dan H_2S untuk membentuk air dan belerang.

b. Membran Separation

Prinsip pemisahan dengan menggunakan membran adalah, bahwa beberapa komponen dari gas baku dapat melewati membran yang tipis sementara yang lain tertahan oleh membran. Permeabilitas adalah fungsi langsung dari kelarutan kimia dari komponen yang ingin ditahan dalam membran. Membran padat dapat dibuat dari serat berongga atau struktur lain yang memberikan permukaan membran besar per volume dan unit sehingga sangat kompak. Prinsip dasar pemisahan membran menciptakan kemurnian gas metan yang semakin tinggi. Kemurnian gas dapat ditingkatkan dengan meningkatkan ukuran atau jumlah modul membran.



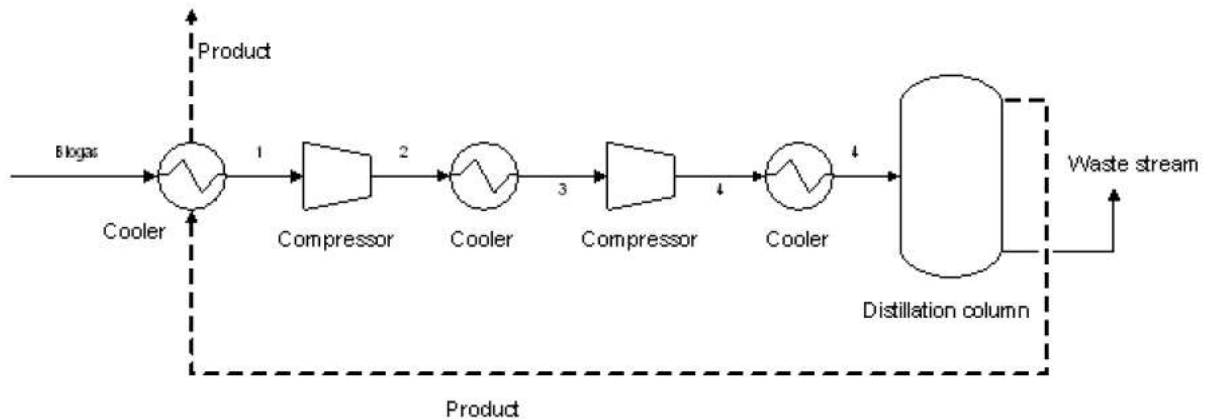
Gambar 2.3 Pemurnian Biogas Dengan Menggunakan Membran.
Sumber : Hullu dkk. 2008. *Comparing Diferent Biogas Upgrading Technique*. Edf.

Pada gambar 2.3 dapat kita lihat pemurnian dengan menggunakan membrane, dalam gambar tersebut kompresor berfungsi untuk meningkatkan tekanan dari biogas, kemudian gas masuk kedalam separator, didalam separator terdapat membrane yang berfungsi untuk menahan gas – gas pengganggu, terutama CO₂, ukuran CO₂ lebih besar dibandingkan CH₄, sehingga gas yang keluar dari separator konsentrasi CO₂ nya menurun karena banyak tertahan oleh membrane, sedangkan prosentase CH₄ nya tetap, dan lebih murni.

c. Cryogenic Separation

Pemisahan kriogenik biogas ini didasarkan pada kenyataan bahwa CO₂, H₂S dan semua kontaminan lainnya yang terdapat dalam biogas dapat dipisahkan dari CH₄, berdasarkan pada kenyataan bahwa setiap kontaminan mencair pada tekanan suhu yang berbeda, CO₂ pada tekanan atmosfer akan mencair ketika berada pada temperatur -78,5 °C, sedangkan CH₄ akan mencair pada suhu -161 °C pada tekanan atmosfer. Sehingga proses pemisahan ini akan beroperasi pada temperatur yang rendah, mendekati -100°C, dan pada tekanan tinggi, hampir 40 bar. Persyaratan

operasi ini dipertahankan dengan menggunakan rangkaian linier kompresor dan pengubah panas, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ;



Gambar 2.4 Alur Pemisahan Kriogenik

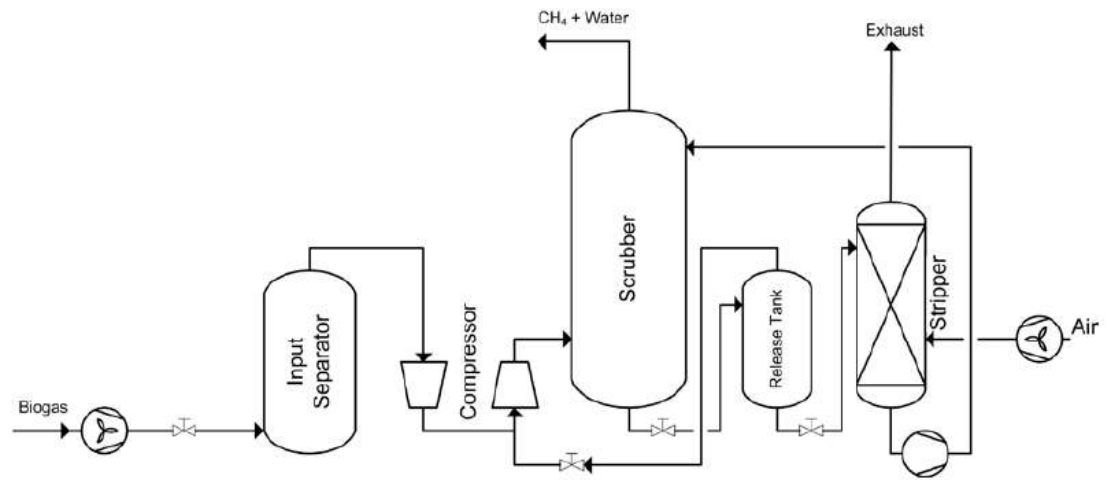
Sumber : Hullu dkk. 2008. *Comparing Diferent Biogas Upgrading Technique*. Edf.

Pada gambar 2.4 dapat dilihat instalasi pemisahan kriogenik, didalam skema instalasi tersebut, untuk dapat mencairkan suatu gas, diperlukan beberapa tahapan dengan menggunakan kombinasi dari penukar panas, dan kompresor. Kombinasi penukar panas, dan kompresor digunakan untuk mendinginkan gas sehingga temperatur menjadi sekitar $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. CO_2 kemudian menjadi cair, dan dapat dengan mudah dihapus. Pemisahan kriogenik cukup mahal, karena investasi yang tinggi dalam peralatan dan operasional (energi), dan biaya tinggi untuk pendinginan gas.

d. High Pressure Water

Air digunakan untuk menghilangkan CO_2 dan H_2S dari biogas karena gas ini lebih mudah larut dalam air dibandingkan gas metana. Proses ini merupakan proses penyerapan fisika murni. Dalam pelaksanaannya biogas yang bertekanan, akan dikeluarkan melalui bagian bawah kolom, dan pada saat yang bersamaan air disemprotkan dari atas kolom, sehingga proses penyerapan berlansung saat gas dan air berkontak langsung, seperti yang ditunjukkan gambar 2.5. Pemurnian dengan air juga dapat digunakan untuk menghilangkan H_2S karena lebih cepat larut dari karbon dioksida didalam air. Air yang keluar dari kolom, membawa CO_2 hasil penyerapan, dan untuk H_2S dapat diregenerasi kembali sebelum beredar kembali ke dalam kolom absorpsi. Regenerasi dilakukan dengan stripping udara dalam kolom yang sama. Stripping dengan udara tidak dianjurkan ketika tingkat tinggi

H₂S tinggi, karena air cepat menjadi terkontaminasi dengan sulfur dasar sehingga dapat menyebabkan masalah operasional. (J.de Hullu. 2008)



Gambar 2.5 Flowchart High Pressure Water

Sumber : Hullu dkk. 2008. *Comparing Diferent Biogas Upgrading Technique*. Edf.

Pada gambar 2.5 dapat dilihat gas dari biogas dikompresi terlebih dahulu dengan menggunakan kompresor, gas akan masuk kedalam kolom melalui bagian bawah kolom, dan pada saat yang bersamaan air disemprotkan dari atas kolom. Ketika gas dan larutan berkontak secara langsung, proses penyerapan akan terjadi. Kolom ini diisi dengan paket untuk meningkatkan luas permukaan antarmuka air dan gas. Air yang hampir jenuh dengan CO₂ juga akan mengandung sejumlah kecil CH₄. Air yang jenuh dapat digunakan kembali setelah dilakukan regenerasi atau pelepasan CO₂ di dalam kolom stripper dimana CO₂.

Selain dengan bantuan teknologi seperti yang dijelaskan di atas, beberapa bahan dan cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kemurnian biogas adalah dengan cara melakukan ;

- a. Pengurangan kandungan uap air (H₂O)

Di dalam biogas terkandung juga sejumlah uap air. Bila terjadi penurunan suhu lingkungan maka uap air akan mengalami kondensasi yang terjadi pada sistem perpipaannya. Bila kandungan uap air tidak dikendalikan maka akan menyebabkan terganggunya sistem perpipaan karena sistem perpipaan dipenuhi dengan air. Selain itu juga akan menyebabkan sistem perpipaan rapuh akibat korosi apabila pipa yang digunakan terbuat dari pipa logam. Teknik pemisahan

uap air yang telah berkembang saat ini antara lain adalah teknik pemisahan secara grafitasi dengan menggunakan *in-line gravity outflow*, penyaringan, *triethylene glycol system* (TEG), *molecular sieves*, pemanasan, pendinginan udara, dan pendinginan refrigerasi. Teknologi *molecular sieves* relatif mahal dan sangat efisien. Kapasitas penyerapannya lebih besar dari semua bahan penyerap lainnya. *Molecular sieves* terdiri dari kristal aluminosilikat yang memiliki struktur sarang lebah yang diinterkoneksi oleh pori, dengan kisaran diameter 3 sampai 100 Angstrom. Karena karakteristik muatan polar *molecular sieves*, senyawa-senyawa polar atau yang dapat terpolarisasi sangat mudah diserap oleh *molecular sieves*.

b. Pengurangan kandungan H₂S

Hidrogen sulfida di dalam biogas berasal dari degradasi anaerobik protein dan senyawa organik lainnya yang mengandung senyawa sulfur. Konsentrasi H₂S dalam biogas bervariasi antara 0,1 sampai 3 %. Pada umumnya, biogas yang dihasilkan dari kotoran ternak limbah industri yang kaya akan protein mengandung kadar hidrogen sulfida yang lebih tinggi. H₂S merupakan suatu zat yang korosif pada peralatan yang menggunakan bahan bakar biogas. Apabila jumlahnya terlalu besar dalam biogas maka H₂S perlu dihilangkan. Untuk menghilangkan H₂S dapat menggunakan larutan NaOH, CuSO₄, Fe₂(SO₄)₃, dan Fe-EDTA, seperti yang telah dilakukan oleh Kusuma Aditya dkk (2012), dan Endang Kwartiningsih dkk (2009).

c. Pengurangan CO₂

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk pemisahan gas CO₂ pada aliran gas secara umum. Berbagai teknologi yang dikembangkan bisa diklasifikasikan berdasarkan jumlah CO₂ yang terkandung di dalamnya. Dalam biogas karbon dioksida merupakan zat pengotor yang perlu dihilangkan, karena karbon dioksida merupakan gas yang dapat menurunkan nilai kalor biogas, dengan menurunnya nilai kalor tersebut maka energi yang dihasilkan biogas akan lebih kecil sehingga efisiensi yang dihasilkan dari pembakaran biogas akan menurun. Selain itu karbon dioksida merupakan salah satu gas pemicu rumah kaca yang berakibat pada pemanasan global. Oleh sebab itu gas karbon dioksida merupakan gas yang perlu dikurangi jumlahnya dengan jalan di serap oleh zat penyerap. Untuk menghilangkan CO₂ dapat menggunakan larutan amina, NaOH, Ca(OH)₂, KOH, larutan glikol, air, selain menggunakan larutan juga dapat

menggunakan padatan seperti tembaga murni, zeolit, dll.

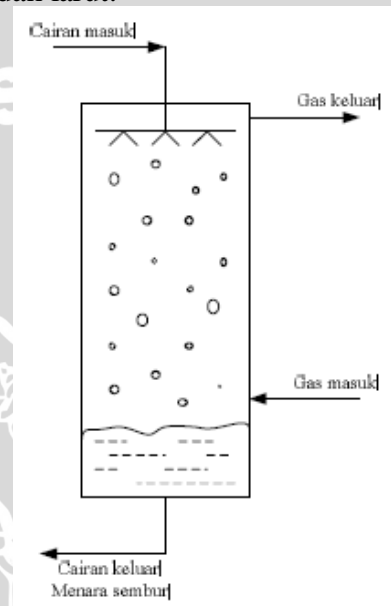
2.4 Absorpsi

Absorpsi merupakan suatu proses pemisahan suatu komponen fluida dari campurannya dengan menggunakan fluida lain. Sesuai dengan jenis ikatan yang terdapat antara bahan yang diadsorpsi dan adsorbennya, maka adsorpsi dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika atau sering disebut adsorpsi Van Der Waals terjadi karena adanya gaya interaksi antara molekul yang lemah sehingga bersifat *reversible*. Kesetimbangan yang dicapai adsorpsi fisik berlangsung dengan cepat. Sifat adsorpsi kimia lebih spesifik daripada adsorpsi fisika karena adsorpsi kimia membutuhkan energi aktivasi untuk membentuk ikatan antara adsorbat dan adsorben. Adsorpsi kimia relatif lambat, tidak mudah balik dan hanya membentuk lapisan pada permukaan. Dalam keadaan nyata fenomena adsorpsi merupakan kombinasi dari adsorpsi kimia dan fisika. Banyaknya zat yang terabsorpsi tergantung pada sifat khas zat tersebut. Besar kecilnya absorpsi dipengaruhi oleh jenis adsorben yang digunakan, zat yang terabsorpsi, konsentrasi adsorben dan zat, luas permukaan, temperatur dan tekanan zat yang terabsorpsi. Adsorpsi digunakan untuk menyatakan bahwa ada zat lain yang terserap pada zat itu, misalnya karbon aktif dapat menyerap molekul-molekul asam asetat dalam larutannya. Tiap partikel adsorben dikelilingi oleh molekul yang diserap karena terjadi interaksi tarik-menarik. Karbon lebih baik menyerap non elektrolit. Zat anorganik lebih baik menyerap elektrolit. Adanya pemilihan zat yang diserap menyebabkan timbulnya adsorpsi negatif.

Dalam proses absorpsi dengan menggunakan larutan kimia, yang harus diperhatikan adalah temperatur saat proses penyerapan dan pelepasan berlangsung, adsorben akan lebih maksimal bila temperatur penyerapannya lebih rendah dari temperatur ambien, dan temperatur maksimalnya sama dengan temperatur ambien, dan dalam pelepasan, adsorben akan lebih maksimal melepaskan ketika temperatur dinaikan sampai mendekati titik didih nya adsorben tersebut. Peristiwa absorpsi adalah salah satu peristiwa perpindahan massa yang besar peranannya dalam proses industri, dan dalam prosesnya ini dikendalikan oleh besar kontak antara kedua fasa terserbut. Pada umumnya proses penyerapan dilakukan dalam suatu menara, baik yang tersusun dari jumlah lapisan – lapisan plat (*tray tower*), ataupun yang berisi sejumlah bahan isian dengan ketinggian dan jumlah lapisan tertentu (*packed tower*). Berikut 4 golongan menara absorpsi :

a. Menara Sembur

Menara sembur terdiri dari sebuah menara, dimana dari puncak menara cairan disemurkan dengan menggunakan nosel semburan. Tetes - tetes cairan akan bergerak ke bawah karena gravitasi, dan akan berkontak dengan arus gas yang naik ke atas, seperti yang dilihat pada gambar 2.6. Nosel semburan dirancang untuk membagi cairan kecil - kecil. Makin kecil ukuran tetes cairan, makin besar kecepatan kontakannya. Tetapi apabila ukuran tetes cairan terlalu kecil, tetes cairan dapat terikut arus gas keluar. Menara sembur biasanya digunakan untuk transfer massa gas yang sangat mudah larut.

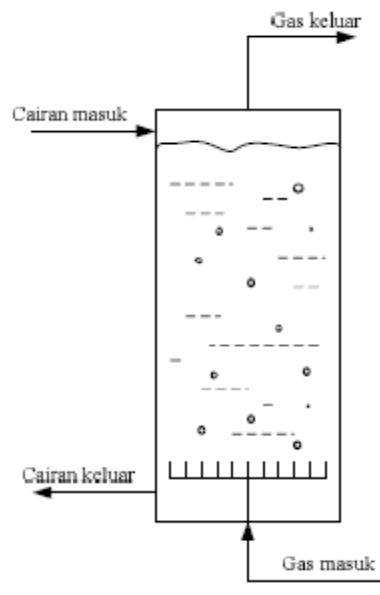


Gambar 2.6 Menara Sembur

Sumber : Modul Operasi Laboratrium Teknik Kimia

b. Menara Gelebung

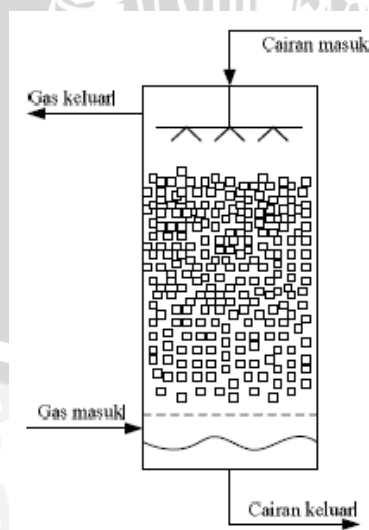
Menara gelebung terdiri dari sebuah menara, dimana di dalam menara tersebut gas didispersikan dalam fase cair dalam bentuk gelebung. Kontak fase terjadi pada waktu gelebung terbentuk dan pada waktu gelebung naik ke atas melalui cairan, seperti yang dilihat pada gambar 2.7. Menara gelebung digunakan untuk gas - gas yang relatif sukar larut. Gelebung dapat dibuat misalnya dengan pertolongan distributor pipa, yang ditempatkan mendatar pada dasar menara.



Gambar 2.7 Menara Gelembung
Sumber : Modul Operasi Laboratrium Teknik Kimia

c. Menara *Packing*

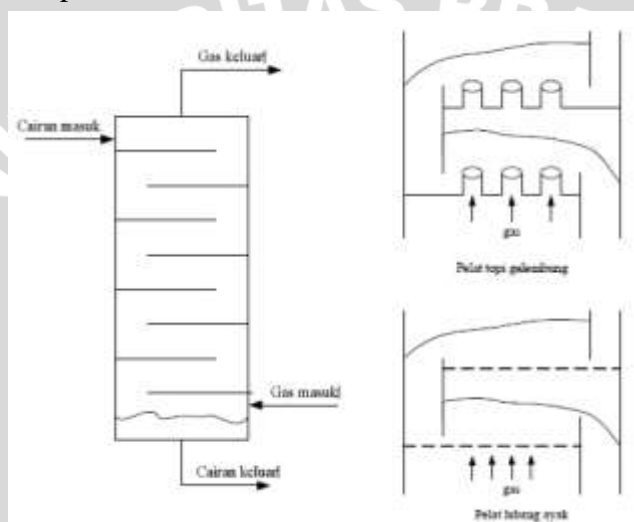
Menara *packing* adalah menara yang diisi dengan bahan pengisi, seperti yang dilihat pada gambar 2.8. Adapun fungsi bahan pengisi ialah untuk memperluas bidang kontak antara kedua fase. Bahan pengisi yang banyak digunakan antara lain : cincin *rasching*, cincin *lessing*, cincin partisi, *sadel bell*, *sadel intalox* dan cincin pall. Di dalam menara ini, cairan akan mengalir ke bawah melalui permukaan bawah pengisi, sedangkan cairan akan mengalir ke atas secara arus berlawanan, melalui ruang kosong yang ada diantara bahan pengisi.



Gambar 2.8 Menara *Packing*
Sumber : Modul Operasi Laboratrium Teknik Kimia

d. Menara Pelat

Menara pelat adalah menara yang secara luas telah digunakan dalam industri. Menara ini mempunyai sejumlah pelat dan fasilitas yang ada pada setiap pelat, maka akan diperoleh kontak yang sebaik-baiknya antara fase cair dengan fase gas, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.9. Fasilitas ini dapat berupa topi gelembung (*bubble caps*) atau lubang ayak (*sieve*), seperti pada gambar 2.9. Pada pelat topi gelembung dan lubang ayak, gelembung - gelembung gas akan terbentuk. Kontak antar fase akan terjadi pada waktu gelembung gas terbentuk dan pada waktu gelembung gas naik ke atas pada setiap pelat. Cairan akan mengalir dari atas ke bawah melintasi pelat di dalam kolom.



Gambar 2.9 Menara Pelat

Sumber : Modul Operasi Laboratrium Teknik Kimia

Dan dalam penelitian kali ini akan digunakan menara *paking* sebagai wadah tempat absorpsi berlansung yang berisikan *tube – tube* kecil yang bertujuan untuk memperlambat laju aliran dari biogas, dan absorben, sehingga kontak antara absorben dan biogas nya lebih lama, dan luas.

2.5 Absorben

Absorben merupakan larutan yang dapat melarutkan bahan / fluida yang akan di absorpsi, baik secara fisik maupun kimia. Dalam penelitian kali ini, akan digunakan tiga macam absorben, yaitu ;

2.5.1 Air

Air merupakan salah satu senyawa yang penting bagi kehidupan makhluk hidup di Bumi. Sebagian besar Bumi di kelilingi oleh air. Air merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia H_2O . Air terdapat dalam berbagai bentuk, misalnya uap air, es, cairan, dan salju. Air di daratan terdapat di sungai, danau, air tanah (*ground water*), dan gunung es (*glacier*). Semua badan air di daratan dihubungkan dengan laut dan atmosfer melalui siklus hidrologi yang berlangsung secara kontinu.

Air merupakan pelarut yang baik. Air mampu melarutkan berbagai jenis senyawa kimia, dan memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lain, seperti pada suhu dan tekanan standar fase air adalah cair, perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik, sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau dingin dalam seketika, dan memerlukan panas yang tinggi untuk dapat menguap. (Anonymous_a, 2013)

Air memiliki ciri – ciri tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau pada tekanan dan temperatur normal. Sifat air yang dapat melarutkan berbagai jenis senyawa kimia, memungkinkan air untuk digunakan sebagai pencuci yang baik, dan pengencer bahan pencemar (polutan) yang terdapat di udara bebas, seperti karbon dioksida (CO_2). Sifat fisik air berubah – ubah tergantung pada temperatur air saat itu, seperti masa jenis air pada temperatur $0^{\circ}C$ dengan $100^{\circ}C$, sebesar 0,99987, dengan 0,9584, adapun sifat fisika air pada berbagai temperatur dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2.3 Sifat Fisik Air Pada Temperature Tertentu

	0°	20°	50°	100°
Massa Jenis (g/cm^3)	0,99987	0,99823	0,9981	0,9584
Panas Jenis ($kal/g.^{\circ}C$)	1,0074	0,9988	0,9985	1,0069
Kalor Uap (kal/g)	597,3	586,0	569,0	539,0
Konduktivitas termal ($kal/cm.s.^{\circ}C$)	$1,39 \times 10^{-3}$	$1,40 \times 10^{-3}$	$1,52 \times 10^{-3}$	$1,63 \times 10^{-3}$
Tegangan Permukaan ($dyne/cm$)	75,64	72,75	67,91	58,80
Laju Viskositas ($g/cm.s$)	$178,34 \times 10^{-4}$	$178,34 \times 10^{-4}$	$178,34 \times 10^{-4}$	$178,34 \times 10^{-4}$
Tetapan Dielektrik	87,825	80,8	69,725	55,355

Sumber : Wikipedia Foundation Inc. 2013.

Untuk mengurangi kadar karbon dioksida (CO_2) yang terdapat dalam biogas, dapat dilakukan dengan melewati biogas kedalam air sehingga terjadi proses absorpsi. Gas karbon dioksida (CO_2) akan terikat oleh air, sedangkan gas metana (CH_4) tidak terikat dengan air. Dengan berkurangnya konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) dalam biogas, maka konsentrasi gas metana (CH_4) akan semakin besar. Reaksi gas karbon dioksida (CO_2) dengan air dapat dituliskan sebagai berikut ;



Reaksi air dan CO_2 menghasilkan asam karbonat, reaksi tersebut merupakan suatu reaksi *reversible* eksotermis. Dengan mengatur suhu reaksi, maka reaksi di atas dapat dibalik menjadi reaksi pelepasan CO_2 dari molekul air yang merupakan suatu reaksi endotermis.

2.5.2 CaOH

Air kapur atau yang lebih dikenal dalam rumus kimia sebagai kalsium hidroksida (CaOH) adalah suatu campuran antara air dan senyawa kimia tak berwarna atau berupa bubuk putih CaO . Selain itu *air kapur* CaOH juga dapat dihasilkan oleh campuran antara larutan kalsium klorida dan larutan natrium hidroksida. Air kapur ini merupakan larutan yang memiliki tingkat kekuatan basa cukup kuat. Larutan ini dapat bereaksi dengan sangat baik dengan larutan asam juga dengan beberapa logam dengan bantuan air tentunya. Air kapur dapat berupa kristal tak berwarna atau bubuk putih. Dalam kesehariannya air kapur sering digunakan sebagai salah satu bahan dalam pengolahan limbah, sebagai bahan alkali untuk menggantikan natrium hidroksida, dan sebagai reaktan dalam reaksi kimia. Air kapur dapat mengikat karbon dioksida (CO_2) yang ditunjukkan dengan terjadinya perubahan warna larutan dari jernih menjadi cukup keruh. Hal ini dapat dikarenakan air kapur yang diberi aliran gas karbon dioksida akan menghasilkan endapan kalsium karbonat yang menjadikan larutan ini menjadi berwarna keruh. Adapun sifat fisika kalsium hidroksida sebagai berikut ;

Tabel 2.4 Sifat Fisik CaOH

Berat Molekul :	74.10 gr/mol
Densitas :	2.24 gr/cm ³
Titik Lebur :	580 °C
pH :	14
Kelarutan (g/100 g H ₂ O)	0.185 g (0°C) 0.173 g (20°C)

Sumber : Wikipedia Foundation Inc. 2013.

Untuk mengurangi kadar karbon dioksida (CO₂) yang terdapat dalam biogas, dapat dilakukan dengan melewati biogas kedalam air kapur sehingga terjadi proses absorpsi. Gas karbon dioksida (CO₂) akan terikat oleh air kapur, sedangkan gas metana (CH₄) tidak terikat dengan air kapur. Dengan berkurangnya konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) dalam biogas, maka konsentrasi gas metana (CH₄) akan semakin besar. Reaksi gas karbon dioksida (CO₂) dengan air kapur dapat dituliskan sebagai berikut ;



Dalam kondisi alkali atau basa, pembentukan karbonat dapat diabaikan karena karbonat bereaksi dengan OH⁻ membentuk CO₃.

2.5.3 Tri Etil Amina (TEA)

Salah satu larutan amina yang dapat digunakan sebagai absorben dalam penyerapan CO₂ adalah Tri Etil Amina (TEA), dengan rumus kimia N(CH₂CH₃)₃. Larutan TEA terbentuk dari sintesa organik etilamina, atau yang biasa disebut monoetilamina (MEA), yang disintesa dengan menambahkan larutan sebanyak 3 kali. Adapun susunan proses terjadinya TEA, dimulai dari MEA yang disintesis menjadi dietilamina (DEA), yang kemudian disintesis lagi sehingga akhirnya menjadi TEA. Ketiga larutan ini biasa dijumpai di industri – industri pemurnian dalam skala yang besar. TEA merupakan larutan yang mudah menguap, dengan bau amis yang kuat, mengingat TEA merupakan salah satu larutan amina, atau bahkan berbau tanaman hawthorn dari inggris. Larutan TEA bewarna bening jernih, viskositasnya tinggi, menyerap CO₂, dan TEA yang sudah rusak akan berubah warna menjadi bening kekuningan, TEA dapat rusak bila terlalu lama dibiarkan menguap atau terletak di ruang

terbuka terlalu lama. Sifat fisis dari TEA dapat dilihat dari tabel berikut ;

Tabel 2.5 Sifat Fisik Tri Etil Amina (TEA)

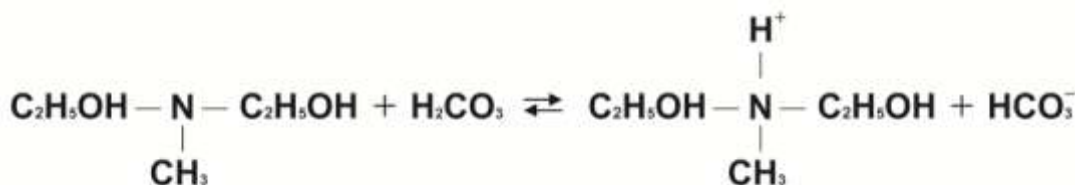
Properties	
Molecular Formula	C ₅ H ₁₅ N
Molar Mass	101.19 g/mol
Appearance	Colourless liquid
Odor	Fishy, ammoniacal
Density	0.7255 g/mL
Melting Point	-115°C, 158.45 K, -174°F
Boiling Point	89-90°C, 361.7 – 362.9 K, 191-194°F
Log P	1.647
Vapor Pressure	6.899 – 8.506 kPa
K _h	66 μmol Pa ⁻¹ kg ⁻¹
Refractive index	1.401

Sumber : Wikipedia Foundation Inc. 2013.

Dalam proses mengurangi kadar CO₂ tersebut, bisa dilakukan dengan menyemprotkan larutan TEA kedalam *packed collum* dari atas, dan disaat yang bersamaan biogas dilewatkan dari bawah *collum*. Ketika gas dan TEA berkontak langsung, TEA akan langsung bereaksi untuk menyerap CO₂, sedangkan CH₄ tidak akan menyebabkan reaksi pada TEA. Dengan berkurangnya kadar CO₂ dalam biogas maka perbandingan konsentrasi CH₄ dengan CO₂ akan semakin besar CH₄. Proses penyerapan CO₂ dimulai dengan terbentuknya H₂CO₃. Reaksi pelarutan CO₂ dalam air adalah sebagai berikut:



Kemudian TEA akan bereaksi dengan H₂CO₃ yang akan membentuk ion karbonat ;



Reaksi tersebut suatu reaksi *reversible* eksotermis. Dengan mengatur suhu reaksi, maka reaksi di atas dapat dibalik menjadi reaksi pelepasan CO₂ dari molekul TEA yang merupakan suatu reaksi endotermis. Dengan meningkatkan suhu pada TEA dengan menggunakan bantuan *heater* maka TEA akan dapat melepas CO₂, kemudian TEA akan dilewatkan kedalam *condensor* untuk menurunkan suhu TEA kembali jadi normal, dan TEA akan dapat digunakan kembali dalam penyerapan CO₂ didalam *packed collum*, sehingga proses regenerasi berjalan.

2.6 Hipotesa

Dengan menggunakan tiga macam absorben maka gas CO₂ yang terdapat dalam biogas akan berkurang karena diabsorpsi oleh masing – masing absorben. Sehingga konsentrasi CO₂ dalam biogas akan semakin berkurang. Berkurangnya konsentrasi CO₂ dalam biogas maka konsentrasi CH₄ dalam biogas akan bertambah. Semakin tinggi tubing, maka CO₂ yang diserap akan semakin banyak, karena kontak antar fase semakin lama, dan luas.

