

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Pengembangan Teknologi Biogas

Sejarah keberadaan biogas sendiri sebenarnya sudah ada sejak kebudayaan Mesir, China, dan Romawi Kuno. Masyarakat pada waktu itu diketahui telah memanfaatkan gas alam ini yang dibakar untuk menghasilkan panas. Namun, orang pertama yang mengaitkan gas bakar ini dengan proses pembusukan bahan sayuran adalah Alessandro Volta (1776), sedangkan Willam Henry pada tahun (1806) mengidentifikasi gas yang dapat terbakar tersebut sebagai metan. Becham (1868), murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882) memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan metan (Wahyono dan Sudarno,2012).

Perkembangan biogas pada akhir abad ke 19 tercatat Jerman dan Perancis memanfaatkan limbah pertanian menjadi beberapa unit pembangkit yang berasal dari biogas. Selama perang dunia II banyak petani di Inggris dan benua Eropa lainnya yang membuat digester kecil untuk menghasilkan biogas. Namun, dalam perkembangannya karena harga BBM semakin murah dan mudah diperoleh, pada tahun 1950-an pemakaian biogas di Eropa mulai ditinggalkan. Namun hal sebaliknya justru terjadi di negara-negara berkembang seperti India dan Cina yang membutuhkan energi murah dan selalu tersedia. Cina menggunakan teknologi biogas dengan skala rumah tangga yang telah dimanfaatkan oleh hampir sepertiga rumah tangga di daerah pinggiran Cina. Perkembangan biogas di Cina bisa dikatakan mengalami perkembangan yang signifikan, pada tahun 1992 sekitar lima juta rumah tangga menggunakan instalasi biogas sehingga biogas menjadi bahan bakar utama sebagian penduduk Cina.

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

Sedangkan di Indonesia, teknologi biogas masuk pada 1970-an yang perkembangannya diawali di daerah perdesaan. Dewasa ini biogas merupakan salah satu jenis energi baru terbarukan yang menjadi salah satu perhatian bagi Kementerian ESDM, seperti yang ditunjukkan oleh Darwin Zahedy Saleh, Menteri ESDM (2009-2011) yang menyempatkan untuk melakukan kunjungan kerja ke Desa Mandiri Energi di desa Haurngombang, Sumedang. Menteri ESDM menjanjikan akan memberikan bantuan untuk mengembangkan potensi energi yang walaupun terlihat kecil, namun dampaknya sangat besar bagi pemenuhan energi di Indonesia, khususnya bagi masyarakat desa Haurngombang.

2.2 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 (Hamida, 2011). Kandungan utama dalam biogas adalah gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) (Haryati, 2006). Gas metana dalam biogas, bila terbakar relatif lebih bersih dari pada batu bara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbondioksida yang lebih sedikit (Luthfianto et al., 2012). Kandungan biogas selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Biogas

No	Komponen	Satuan	Komposisi (%)		
			1*)	2**)	3***)
1	Metana (CH_4)	% Vol	40– 55	50 – 60	45 – 65
2	Karbondioksida (CO_2)	% Vol	25– 45	24 – 40	27 – 45
3	Nitrogen (N_2)	% Vol	0 – 0,3	< 2	0 – 1
4	Hidrogen (H_2)	% Vol	1– 5	< 1	0 – 1
5	Karbonmonoksida (CO)	% Vol	-	-	0,1
6	Oksigen (O_2)	% Vol	0,1– 0,5	< 2	0,1

Sumber : *) Setiawan, 2011, **) Hambali, 2007, ***) Hanif, 2000

Pemanfaatan biogas memegang peranan penting dalam manajemen limbah karena metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dalam pemanasan global bila dibandingkan dengan karbondioksida. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.

2.2.1 Sifat Biogas

Sifat fisik dan kimia dari biogas mempengaruhi pemilihan teknologi yang akan digunakan, dimana pengetahuan tentang sifat-sifat dari biogas bermanfaat untuk mengoptimalkan peralatan yang menggunakan gas ini, karena kandungan utama biogas terdiri dari metana dan karbondioksida maka sifat biogas difokuskan pada sifat-sifat dari masing-masing gas tersebut. Unsur-unsur seperti nitrogen (N_2). Hidrogen sulfida mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap material yaitu dapat menyebabkan korosi jika bereaksi dengan air (H_2O).

Tabel 2. 2 Sifat-sifat Metana dan Karbon Dioksida

	Metana (CH_4)	Karbon dioksida (CO_2)
Berat molekul	16,04	44,1
Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)	0,554	1,52
Titik didih @ 14,7 psia	26,43 °C	42,99 °C
Titik beku @ 14,7 psia	182,53 °C	-56.60 °C
Volume jenis	4,2 ft ³ /lb	8,8 ft ³ /lb
Temperatur kritis	46,6 °C	31,10 °C
Tekanan kritis	673 psia	1072 psia
Perbandingan panas jenis	1,307	1,303

Sumber : Fadly, Suparjo dkk, 2012

Proses pembentukan biogas di dalam digester disebut dengan fermentasi *anaerob* (pembusukkan tanpa oksigen). Proses fermentasi *anaerob* di dalam digester dibagi dalam 3 tahapan, yaitu:

1. Hidrolisa merupakan perubahan zat organik menjadi bahan cairan mikroba oleh mikroba asam
2. Asidifikasi adalah perubahan organik cair menjadi asam – asamorganik oleh mikroba asam
3. Metanasi adalah perubahan asam organik menjadi metana, karbon dioksida, asam sulfida, nitrogen, dan sel-sel mikroba oleh mikroba metanasi.

2.2.2 Potensi kotoran sapi sebagai Biogas

Kotoran sapi merupakan limbah dari peternakan sapi yang jarang dimanfaatkan sehingga mengakibatkan pencemaran lingkungan. Sapi memiliki sistem pencernaan khusus yang menggunakan mikroorganisme berfungsi untuk mencerna selulosa dan lignin dari rumput berserat tinggi, oleh karena itu kotoran sapi memiliki kandungan selulosa yang tinggi dan sangat cocok untuk diolah menjadi biogas karena kandungannya yang tinggi. Dengan mengolah limbah sapi menjadi biogas maka kita telah mengurangi pencemaran limbah dan menjaga lingkungan. Kotoran sapi sangat cocok sebagai sumber penghasil biogas maupun sebagai biostarter dalam proses fermentasi, karena kotoran sapi tersebut mengandung bakteri penghasil gas metan yang terdapat dalam perut hewan.

Populasi hewan ternak sapi semakin meningkat setiap tahunnya, di Sumatera Selatan jumlah sapi sudah mencapai 216.277 ekor (Badan Pusat Statistik Sumatera Selatan, 2013). Produksi kotoran setiap ternak merupakan fungsi dari bobot badannya, ternak yang lebih besar memproduksi kotoran lebih banyak. Ternak dewasa yang makan hanya cukup untuk pemeliharaan tubuhnya akan mengeksresikan kotoran yang lebih sedikit secara proporsional.

Produksi limbah ternak diasumsikan dari proporsi bobot hidup ternak. Ternak sapi 9,4 % dari total bobot hidup. Gangguan yang disebabkan oleh limbah peternakan meliputi gangguan estetika, lalat, bau, debu, dan bulu

sehingga jika tidak dikelola dengan baik dapat mencemari perairan umum atau danau . Komposisi kotoran sapi yang umumnya telah diteliti dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Komposisi Kotoran Sapi

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

Sumber : Candra, 2012

2.2.3 Proses Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas pada kotoran sapi secara anaerob yang terjadi di dalam digester terdiri dari 3 tahap proses yaitu hidrolisis, asetogenesis, dan metanogenesis (Tuti Haryati, 2006).

1. Hidrolisis/Tahap Pelarutan

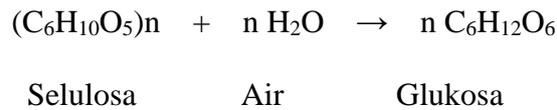
Pada tahap ini terjadi penguraian bahan – bahan organik mudah larut yang terdapat pada kotoran sapi dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer yang larut dalam air). Senyawa kompleks ini, antara lain protein,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

Protein → asam amino, dipecah oleh enzim protease

Selulosa → glukosa, dipecah oleh enzim selulase

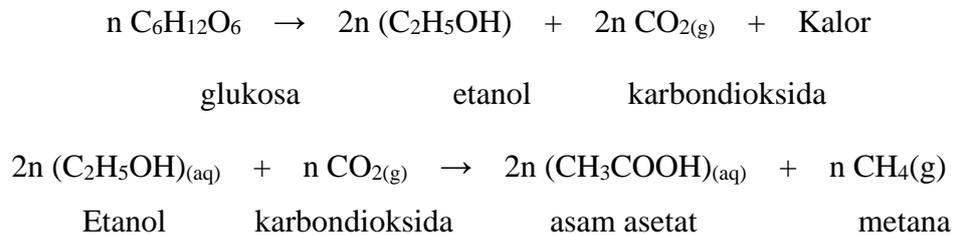
Lemak → asam lemak rantai panjang, dipecah oleh enzim lipase

Reaksi selulosa menjadi glukosa adalah sebagai berikut :



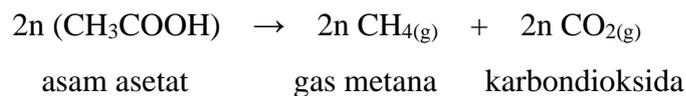
2. Pengasaman/Asetogenesis

Pada tahap pengasaman, komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Monomer yang dihasilkan dari tahap hidrolisis akan didegradasi pada tahap ini. Pembentukan asam-asam organik tersebut terjadi dengan bantuan bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* (Hambali et al., 2007). Asam organik rantai pendek yang dihasilkan dari tahap fermentasi dan asam lemak yang berasal dari hidrolisis lemak akan difermentasi menjadi asam asetat, H₂, dan CO₂ oleh bakteri asetogenik (Drapcho et al., 2008). Pada fase ini, mikroorganisme homoasetogenik akan mengurangi H₂ dan CO₂ untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein et al., 2008).



3. Metanogenesis

Pada tahap metanogenesis, terjadi pembentukan gas metan. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini yang akan mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi gas metana dan karbondioksida. Bakteri yang berperan dalam proses ini, antara lain *Methanococcus*, *Methanobacillus*, *Methanobacterium*. Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara anaerob.



2.3 Proses Pemurnian Biogas

Kemurnian biogas menjadi pertimbangan yang sangat penting karena berpengaruh terhadap nilai kalor atau panas yang dihasilkan, sehingga biogas yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian terhadap *impuritas-impuritas* yang lain. *Impuritas* yang berpengaruh terhadap nilai kalor/panas adalah CO₂, keberadaan CO₂ dalam biogas sangat tidak diinginkan karena semakin tinggi kadar CO₂ dalam CH₄ maka semakin rendah nilai kalor biogas dan akan mengganggu proses pembakaran (Hamidi, 2011, Harsono, 2013). Dalam pemisahan CO₂ dari biogas terdapat berbagai metode yang telah dikembangkan, yaitu :

2.3.1 Absorpsi

Metode absorpsi biogas adalah pemisahan suatu gas tertentu dari campuran gas-gas dengan cara pemindahan massa ke dalam suatu *liquid*. Hal ini dilakukan dengan cara mengantarkan aliran gas dengan *liquid* yang mempunyai *selektivitas* pelarut yang berbeda dari gas yang akan dipisahkannya baik secara fisika maupun kimia efektif untuk laju alir gas yang rendah dimana biogas dioperasikan pada kondisi normal. Salah satu metode yang sederhana dan murah yaitu menggunakan air bertekanan sebagai *absorben* (Shannon *et al.*, 2006, dalam Harsono, 2013). Pada absorpsi sendiri ada dua macam proses yaitu :

1. Absorpsi fisik

Absorpsi fisik adalah proses absorpsi atau perpindahan gas (difusi) ke dalam absorben tanpa disertai reaksi kimia. Dalam absorpsi fisika, jumlah gas yang terlarut pada keadaan kesetimbangan akan meningkat seiring dengan penurunan temperatur, sehingga proses yang dihasilkan lebih efisien. Keuntungan dari proses fisika ini adalah panas yang dibutuhkan untuk regenerasi relatif kecil, kurang dari 5 kkal/mol (20kJ/mol), jauh lebih rendah dari proses kimia yang membutuhkan panas lebih dari 25 kkal/mol (100 kJ/mol), keuntungan lainnya adalah semua *solvent* fisika relatif stabil dan tahan degradasi. Kerugian dari proses fisika adalah jumlah *solvent* yang digunakan dalam sirkulasi proses relatif banyak, sehingga energi yang dibutuhkan untuk sirkulasi

tinggi Proses fisika cenderung lebih selektif untuk H₂S sedangkan untuk pemisahan CO₂ lebih bagus proses kimia, sehingga tidak begitu cocok untuk desain CO₂ *removal* (Fuqoha,2012).

2. Absorpsi kimia

Berbeda dengan absorpsi fisik, absorpsi kimia pada proses perpindahan gas (difusi) ke dalam absorben bukan tanpa disertai reaksi kimia, melainkan disertai reaksi kimia. Reaksi kimia dapat terjadi secara *reversible* atau *irreversible* dengan reaksi orde satu, orde dua, dan seterusnya tergantung dari jumlah molekul yang bereaksi yang konsentrasinya berubah sebagai hasil dari reaksi kimia (Donsius, 2017). Proses absorpsi kimia memiliki beberapa keuntungan, yaitu dapat meningkatkan *yield* reaksi dan *selectivity*, mengatasi hambatan termodinamika seperti reduksi dalam konsumsi energi, air, dan pelarut karena adanya interaksi antara reaksi kimia dan perpindahan massa dan panas yang cukup kompleks (Donsius.2017).

Secara luas, absorpsi merupakan kategori operasi teknik kimia yang merujuk pada *equilibrium operation*. Pada kategori ini termasuk pula distilasi, ekstraksi serta operasi lainnya yang pada umumnya tergambarkan melalui dua asumsi, yaitu :

1. bahwa proses dilakukan pada sebuah rangkaian kontak atau tahap.
2. bahwa aliran keluar pada tiap tahap berada pada keadaan setimbang satu sama lain (Maddox,1982)

Pada tahap kesetimbangan, gas dan cairan yang keluar dipengaruhi oleh nilai konstanta pada tekanan dan temperatur tahap tersebut. Neraca massa dan energi pada masing-masing tahap harus dituliskan. Ini merupakan *trial-and-error process* yang biasa dikerjakan dengan komputer. Neraca tersebut diperoleh hingga nilainya mendekati nilai tahap kesetimbangan yang dibutuhkan untuk disesuaikan dengan kondisi eksternal pada perhitungan. Jumlah tahap kesetimbangan akan dipengaruhi oleh:

1. komposisi, fasa, dan laju alir umpan
2. tekanan, temperatur, komposisi, dan laju aliran masuk gas.
3. tekanan, temperatur, komposisi, dan laju aliran masuk cairan

4. spesifikasi aliran gas keluar
5. spesifikasi aliran cairan keluar (Campbell, 1992).

2.3.2 Absorben

Absorben adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi pada permukaannya, baik secara fisik maupun secara reaksi kimia. Absorben sering juga disebut sebagai cairan pencuci. Persyaratan absorben :

1. Memiliki daya melarutkan bahan yang akan diabsorpsi yang sebesar mungkin (kebutuhan akan cairan lebih sedikit, volume alat lebih kecil).
2. Selektif
3. Memiliki tekanan uap yang rendah
4. Tidak korosif.
5. Mempunyai viskositas yang rendah
6. Stabil secara termis dan murah. (Bernasconi, 1995).

Jenis-jenis bahan yang dapat digunakan sebagai absorben adalah air (untuk gas-gas yang dapat larut, atau untuk pemisahan partikel debu dan tetesan cairan), Natrium Hidroksida (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti asam) dan Asam Sulfat (untuk gas-gas yang dapat bereaksi seperti basa).

Karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Pada keadaan STP, rapatan karbon dioksida berkisar sekitar $1,98 \text{ kg/m}^3$, kira-kira 1,5 kali lebih berat dari udara. Molekul karbon dioksida ($\text{O}=\text{C}=\text{O}$) mengandung dua ikatan rangkap yang berbentuk linear. Ia tidak bersifat dipol. Senyawa ini tidak begitu reaktif dan tidak mudah terbakar. Cairan karbon dioksida terbentuk hanya pada tekanan di atas 5,1 atm; titik tripel karbon dioksida kira-kira 518 kPa pada $-56,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Titik kritis karbon dioksida adalah 7,38 MPa pada $31,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Karbon dioksida larut dalam air dan secara spontan membentuk H_2CO_3 dalam kesetimbangan dengan CO_2 . Konsentrasi relatif antara CO_2 , H_2CO_3 , dan

HCO_3^- (bikarbonat) dan CO_3^{2-} (karbonat) bergantung pada kondisi pH larutan. (id.wikipedia.org.)

Karbondioksida dalam kandungan gas cenderung bersifat asam, maka salah satu cara untuk menghilangkan CO_2 adalah mereaksikannya dengan basa. (Roni Maryana,dkk,2015). Basa yang digunakan dalam penelitian ini adalah NaOH.

1. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida (NaOH), juga dikenal sebagai soda kaustik, soda api, atau sodium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Ia digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen.

a. Sifat fisik Natrium Hidroksida (NaOH)

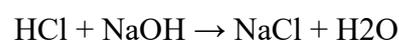
Tabel 2.4 Sifat fisik Natrium Hidroksida (NaOH)

Sifat Fisika	Nilai
Fase	Padat
Densitas	2,1 g/cm ³
Titik Didih	1390°C
Titik Leleh	318°C

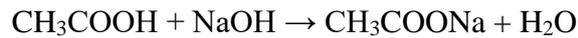
(sumber :Roni Maryana,dkk,2015)

b. Reaksi yang terjadi oleh senyawa NaOH

Senyawa NaOH mungkin juga bisa dikatakan sebagai salah satu senyawa yang paling umum dan paling kita kenal dalam reaksi asam basa seperti misalnya reaksi penetralan. Senyawa ini bisa bereaksi dengan asam kuat dan asam lemah untuk membentuk garam, seperti ditunjukkan oleh reaksi dibawah ini :

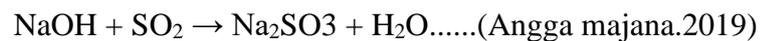
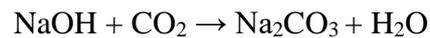


(Reaksi dengan Asam Kuat)



(Reaksi dengan Asam Lemah)

Selain bisa bereaksi dengan asam kuat maupun asam lemah, senyawa natrium hidroksida juga bisa bereaksi dengan oksida-oksida pembentuk asam seperti gas CO₂ maupun SO₂, berikut ialah persamaan reaksinya :

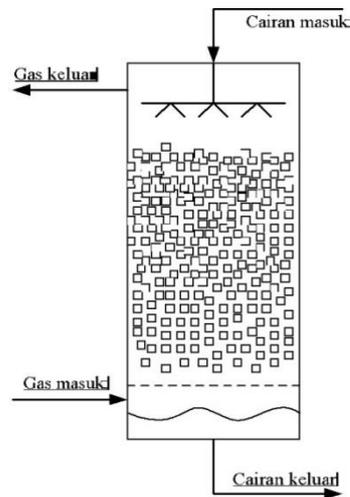


2.3.3 Absorber

Absorber merupakan peralatan untuk mengalirkan cairan (*absorbent*) secara *countercurrent* terhadap aliran gas dengan tujuan menghilangkan salah satu atau beberapa konstituen (*absorbate*) pada gas tersebut. Pada umumnya, absorber berbentuk vertikal dengan aliran cairan masuk dari bagian atas dan gas masuk dari bagian bawah (Campbell,1992).

1. *Packed Tower* (Menara isian)

Menara isian (*packed towers*) biasa digunakan pada operasi *countercurrent* kontinyu antara gas dan cairan pada absorpsi (Geankoplis, 1978). Berdasarkan Gambar 2.1 menara tersebut terdiri dari kolom silinder yang berisi aliran gas masuk dan *distributing space* pada bagian bawah, aliran masuk cairan dan *distributing device* pada bagian atas, aliran gas keluar pada bagian atas, aliran cairan keluar pada bagian bawah dan *packing* sebagai isian menara. Aliran gas yang masuk melewati *distributing space* pada bagian bawah isian dan naik melalui celah-celah *packing* dan mengalami kontak dengan cairan yang mengalir turun melewati celah yang sama. Area kontak yang luas antara gas dan liquid ini diperoleh dari *packing*



Gambar 2. 1 Menara Absorpsi Packing

Bagian – bagian kolom absorpsi

- a. Bagian atas : input cairan sebagai tempat masuknya absorben ke dalam reaktor
- b. Bagian tengah : *Packed tower* untuk memperluas permukaan sentuh sehingga mudah untuk di absorpsi dan juga agar penyerapan CO₂ lebih baik.
- c. Bagian bawah : Input gas sebagai tempat masuknya gas kedalam reaktor.

Berbagai macam tipe menara isian telah dikembangkan dan hanya beberapa tipe yang sering digunakan. Tipe isian yang sering digunakan yang ditemukan melimpah secara *random* pada menara isian ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada umumnya menara isian terbuat dari bahan inert dan material yang murah seperti tanah liat, *porcelain* , grafit atau plastik (Geankoplis,1978). Menara isian pada umumnya lebih suka digunakan pada instalasi skala kecil, peralatan korosif, liquid dengan kecenderungan membentuk *foam*, rasio liquid/ gas yang tinggi serta pada penggunaan pada *pressure drop* yang rendah (Kohl, 1960).

Adapun syarat-syarat bahan isian yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Tidak bereaksi dengan fluida dalam *absorber*
- b. Kuat tetapi tidak berat
- c. Memberikan luas kontak yang besar
- d. Murah
- e. Tahan korosi (Geankoplis, 1978).

Dari beberapa syarat itulah maka dipilih kerikil merah (ditunjukkan pada gambar 2.2) sebagai bahan isian dari *absorber* dan juga kerikil merah ini mudah didapat sehingga dapat dijadikan alternatif isian dari *absorber*.



Gambar 2.2 kerikil merah

2. *Flooding*

Pada menara isian dengan tipe serta ukuran *packing* dengan laju alir cairan tertentu, terdapat batas atas laju alir gas yang dinamakan *flooding velocity*. Di bawah laju alir gas tersebut maka menara absorpsi tidak dapat beroperasi. Pada kecepatan gas yang rendah, aliran cairan yang mengalir dari atas melewati *packing* tidak terpengaruh oleh aliran gas. Pada laju alir gas yang dinamakan *loading point*, gas mulai menghalangi aliran cairan yang masuk sehingga mulai terjadi akumulasi cairan pada *packing*. *Pressure drop* pada gas mulai meningkat pada laju alir yang semakin cepat. Seiring dengan meningkatnya laju alir gas, maka akumulasi pada cairan juga ikut meningkat. Pada *flooding point*, cairan tidak dapat mengalir melalui *packing* dan terjadi luapan. Pada

kenyataannya, dalam mengoperasikan menara absorpsi kecepatan gas harus di bawah *flooding*. *Flooding* merupakan efek yang terjadi pada kenaikan *pressure drop* dan mempengaruhi pengoperasian kolom (Ajibola,2010).

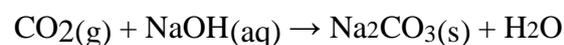
Flooding dapat diidentifikasi dari perubahan beda tekan pada kolom. Berdasarkan pengamatan, kondisi *flooding* juga mempengaruhi level pada kolom. Level pada kolom mengalami perubahan yang cukup drastis ketika *pressure drop* meningkat. Pada kondisi optimum, absorpsi CO₂ mengalami peningkatan yang mengindikasikan bahwa terjadi peningkatan efisiensi pada kolom. Kondisi optimum absorpsi CO₂ dicapai pada kondisi operasi mendekati *flooding* (Ajibola, 2010).

2.3.4 Aplikasi Absorpsi

Absorpsi dalam dunia industri digunakan untuk meningkatkan nilai guna dari suatu zat dengan cara merubah fasenya.

1. Proses Pemurnian Biogas

Proses absorpsi dapat digunakan untuk memurnikan gas yang dihasilkan dari fermentasi kotoran sapi (Biogas). Gas CO₂ langsung bereaksi dengan larutan NaOH sedangkan CH₄ tidak. Dengan berkurangnya konsentrasi CO₂ sebagai akibat reaksi dengan NaOH, maka perbandingan konsentrasi CH₄ dengan CO₂ menjadi lebih besar untuk konsentrasi CH₄. Absorpsi CO₂ dari campuran biogas ke dalam larutan NaOH dapat dituliskan sebagai berikut.



Dalam kondisi alkali atau basa, pembentukan bikarbonat dapat diabaikan karena bikarbonat bereaksi dengan OH⁻ membentuk CO₃²⁻.

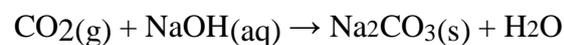
2. Prinsip Absorpsi

Udara yang mengandung komponen terlarut (misalnya CO₂) dialirkan ke dalam kolom pada bagian bawah. Dari atas dialirkan alir. Pada saat udara dan air bertemu dalam kolom isian, akan terjadi perpindahan massa. Dengan menganggap udara tidak larut dalam air (sangat sedikit larut), maka hanya gas CO₂ saja yang berpindah ke dalam fase air (terserap). Semakin ke bawah, aliran cairan absorben semakin kaya CO₂. Semakin ke atas, aliran udara semakin miskin CO₂. Faktor-faktor yang berpengaruh pada operasi absorpsi adalah sebagai berikut:

- a. Bila laju alir absorben semakin besar maka penyerapan akan semakin baik.
- b. Komposisi dalam aliran air jika terdapat senyawa yang mampu beraksi dengan CO₂ (misalnya NaOH) maka penyerapan lebih baik.
- c. Bila laju alir gas semakin besar maka penyerapan akan semakin baik. (Geankoplis, 1978).

2.3.5 Proses Absorpsi Karbondioksida (CO₂)

Bila pelarut yang digunakan adalah NaOH maka absorpsi yang terjadi akan secara kimia, dikarenakan terjadinya reaksi kimia secara langsung antara CO₂ dengan NaOH. Pada proses absorpsi atau pemisahan gas CO₂ oleh NaOH dapat dilihat pada reaksi berikut ini :



Absorpsi di atas merupakan reaksi yang terjadi secara kimia, dikarenakan terjadinya reaksi secara langsung antara CO₂ dengan larutan NaOH. Reaksi dianggap merupakan reaksi satu arah dan derorde 2 (Kumoro, 2014). Pada proses ini, kondisi pada fase gas serupa dengan absorpsi fisik. Tetapi pada fase cair, selain terdapat lapisan tipis cairan juga terdapat zona reaksi. Reaksi kimia yang terjadi adalah *ineversible*, dimana CO₂ pada fase gas

akan diabsorpsi oleh larutan NaOH pada fase cair. Pada saat gas mendekati interfase cair, gas CO₂ akan larut dan langsung bereaksi dengan larutan NaOH.

2.3.6 Pengaruh laju alir terhadap penyerapan CO₂

Penyerapan yang baik juga terjadi saat laju alir yang digunakan besar. Hal ini disebabkan laju alir penyerap yang semakin besar akan membuat peningkatan pada luas interfacial volume packing di dalam kolom (Srihari dkk, 2012).

Kurniati dkk (2011) menggunakan persamaan berikut ini untuk mencari koefisien perpindahan massa (K_{Ga}) pada absorpsi CO₂ menggunakan NaOH:

$$K_{Ga} = \frac{N_A}{H \times \pi D^2 / 4 \times \varepsilon}$$

Dari persamaan tersebut didapatkan bahwa kenaikan laju alir penyerap (NaOH) dapat meningkatkan koefisien perpindahan massa anta fase gas-cair. Hal ini dapat terjadi, karena dengan semakin tinggi laju alir cairan maka kontak antara gas dengan cairan semakin baik. Dengan demikian, maka jumlah gas yang didapat berpindah dari fase gas menuju fase cairan juga semakin besar (Kurniati dkk, 2011).

Laju alir juga terbukti mempengaruhi persen penyerapan CO₂ pada penelitian yang dilakukan oleh Hardiyanto dkk (2014). Semakin tinggi laju alir absorben yang digunakan, berarti akan memperbesar mol K₂CO₃ dan H₂O. Dengan semakin besarnya mol K₂CO₃ dan mol H₂O, maka gas CO₂ juga akan semakin banyak yang bereaksi. Sehingga akan memperbesar % removal gas CO₂ tersebut dari fasa gas ke dalam fasa liquid.

Penelitian yang dilakukan Said dkk (2014) juga menunjukkan peningkatan kadar CO₂ yang terserap semakin besar dengan adanya peningkatan laju alir penyerap. Penyerapan paling banyak terjadi pada laju alir penyerap sebesar 6 ml/menit.

2.3.7 Pengaruh konsentrasi terhadap penyerapan CO₂

Secara teori semakin tinggi konsentrasi NaOH maka semakin besar jumlah CO₂ terserap. Hal ini disebabkan karena semakin banyak molekul NaOH yang dikontakkan dengan gas CO₂. Jumlah CO₂ yang terserap pada suatu waktu tertentu akan menuju nilai konstan, karena untuk mencapai jumlah tertinggi CO₂ terserap ada batas konsentrasi sorben tertentu dimana dengan menambah waktu tinggal jumlah CO₂ yang terserap sudah tidak berubah lagi. (Kartohardjono dkk., 2011).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kumoro dan Hadiyanto (2014) juga menunjukkan peningkatan kadar CO₂ yang terserap semakin besar dengan adanya peningkatan konsentrasi penyerap. Penyerapan paling banyak terjadi pada konsentrasi penyerap sebesar 0,75 M.

2.4. Karbondioksida (CO₂)

Karbon dioksida (CO₂) adalah senyawa kimia berupa gas pada keadaan atmosferik yang terdiri dari satu atom karbon dan dua atom oksigen. Karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Karbon dioksida adalah oksida asam, sehingga dalam bentuk larutannya dapat mengubah warna lakmus biru menjadi merah. Gas CO₂ diproduksi hampir 97% dari hasil pembakaran bahan bakar fosil (Donsius, 2017). Adanya CO₂ di atmosfer yang berlebihan dapat melubangi lapisan ozon, menyebabkan efek rumah kaca, dan pemanasan global. Gas CO₂ yang keluar (ke atmosfer) harus memenuhi spesifikasi batas gas CO₂ yang disajikan pada tabel 2.5 pada halaman 22 :

Tabel 2.5 spesifikasi batas konsentrasi gas CO₂ sebagai emisi gas buang dalam proses industri

PROSES	BATAS KOSENTRASI GAS CO ₂
Industri manufaktur	< 1% CO ₂
Industrian amoniak	< 16 ppm CO ₂
Pemurnian gas alam	
Pipa gas	< 1% CO ₂
Bahan baku LNG	< 50 ppm CO ₂
Sintesa gas untuk produksi kimia	< 500 ppm CO ₂
Gasifikasi batubara	~ 500 ppm CO ₂
Industri etilen	~ 1 ppm CO ₂
Pembangkit tenaga listrik	
Pembangkit tenaga listrik NGCC	< 0,5 % CO ₂
Pembangkit tenaga listrik batubara	< 1,5 % CO ₂

(sumber: Donsius 2017)

Karbon dioksida tidak diinginkan keberadaannya di dalam bahan bakar gas, sebab keberadaan gas CO₂ dapat menurunkan nilai heating value. Menurut PERTAMINA EP Assets 3 Field Subang (2016), “Kandungan gas CO₂ dalam gas yang diproduksi dari lapangan subang cukup tinggi, mencapai 23% sehingga perlu dikurangi menjadi 5% agar memenuhi standar gas yang akan dijual ke konsumen”. Teknik pemisahan gas CO₂ dapat dilakukan menggunakan proses absorpsi.