

## PENYERAPAN GAS KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) DALAM BIOGAS DENGAN LARUTAN CALSIUM HIDROKSIDA (Ca(OH)<sub>2</sub>)

Paryanto\*, SunuHerwiPranolo

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami no. 36 A, Surakarta 57126 Telp/fax: 0271-632112

\*Email: paryanto\_ftuns@yahoo.com

**Abstract:** *Biogas is one of kinds of renewable alternative energy. It can used for partial substitute of unrennewable energy. Biogas is made from fermentation process organic waste (solid or liquid) from home industry, agricultural, animal. With the major compositon is methane gas, it can used for fuel and raw material of other chemicals, for example are hydrogen, ammonia etc. Although biogas has many of advantages, But it has a problem about the high carbon dioxide composition. So biogas need a process purification from carbon dioxide composition. One of The purification process of biogas is absorption process with absorbent. In the research Ca(OH)<sub>2</sub> solution is used for it's absorbent. The research study absorption carbon dioxide with Ca(OH)<sub>2</sub> in the absorber column with kinds of absorber fill material from chemical reaction. The variable is used in the research is space time of Ca(OH)<sub>2</sub> solution in the absorber column and the conversion of CO<sub>2</sub> absorp which can calculate from conversion of absorbent solution. For known conversion of Ca(OH)<sub>2</sub>, a solution Ca(OH)<sub>2</sub> from absorber column which absorp gas CO<sub>2</sub> is taken each 10 minute for 1 hour. Sample (Ca(OH)<sub>2</sub> solution) is analyzed with acidymetre-alkalymetre method. HCl 0.1 N Solution is used for analyze CaCO<sub>3</sub> product and HCl 0.1 N solution combine with BaCl 0.1 N to analyze remain Ca(OH)<sub>2</sub> for calculate conversion of CO<sub>2</sub>. Result of this research is reaction rate constant for absorber fill material marbles, plastic pipe, ceramic, wood, and roof-tile are (0.781), (0.464), (0.916), (0.637), dan (0.987) .*

**Keywords:** *Biogas, CO<sub>2</sub>, absorber, rate of reaction*

### PENDAHULUAN

Biogas dengan proses pembuatan yang mudah mempunyai potensi yang besar sebagai sumber energi alternatif. Biogas dapat diproduksi dari bahan baku limbah organik industri makanan, peternakan dan pertanian. Oleh karena itu, biogas merupakan sumber energi yang ramah lingkungan.

Biogas yang dihasilkan dari limbah cair tahu mempunyai komposisi sebagai berikut metana sebesar 65%, karbondioksida 30%, hidrogen disulfida sebanyak 1% dan gas-gas lain dalam jumlah yang sangat kecil. (<http://majalahenergi.com>)

Biogas masih mengandung CO<sub>2</sub> dalam kadar tinggi sehingga menyebabkan efisiensi panas berkurang dan menimbulkan noda hitam pada peralatan dapur yang digunakan untuk memasak. Berbeda dengan LNG yang bersih dari jelaga dan efisiensi panas tinggi. Hal ini menyebabkan biogas belum diminati secara meluas dan belum diproduksi secara komersial. Dari uraian diatas, biogas dapat digunakan sebagai energi alternatif sekaligus dapat mengurangi pencemaran terhadap lingkungan. Di samping itu, biogas juga dapat digunakan

sebagai bahan baku pembuatan bahan kimia yang lain. Yang menjadi permasalahan adalah biogas yang dihasilkan masih mengandung kadar CO<sub>2</sub> yang tinggi sehingga mengakibatkan performa biogas tidak optimal dan belum bisa digunakan secara langsung sebagai bahan baku pembuatan bahan kimia lain. Oleh karena itu, perlu diadakan penelitian untuk memurnikan biogas tersebut.

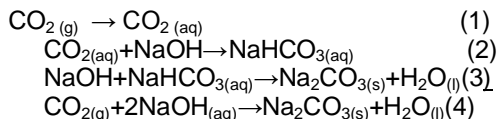
### LANDASAN TEORI

Absorpsi merupakan salah satu operasi pemisahan dalam industri kimia apabila suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan sebagai penyerap yang sesuai, sehingga satu atau lebih komponen dalam campuran gas terlarut ke dalam cairan penyerap. Absorpsi dapat berlangsung dalam dua macam proses, yaitu absorpsi fisik atau absorpsi kimia. Absorpsi fisik merupakan gas terlarut dalam cairan penyerap tanpa disertai dengan reaksi kimia. (Treybal, 1951)

---

Untuk mengurangi kadar  $\text{CO}_2$  dari biogas, bisa dilakukan dengan melewati biogas ke dalam larutan  $\text{NaOH}$  sehingga terjadi proses absorpsi. Gas  $\text{CO}_2$  langsung bereaksi dengan

larutan NaOH sedangkan CH<sub>4</sub> tidak. Dengan berkurangnya konsentrasi CO<sub>2</sub> sebagai akibat reaksi dengan NaOH, maka perbandingan konsentrasi CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> menjadi lebih besar untuk konsentrasi CH<sub>4</sub>. Absorpsi CO<sub>2</sub> dari campuran biogas ke dalam larutan NaOH dapat dilukiskan sebagai berikut:

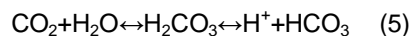


Dalam kondisi alkali atau basa, pembentukan bikarbonat dapat diabaikan karena bikarbonat bereaksi dengan OH<sup>-</sup> membentuk CO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Vas Bhat, 1999).

Pada penelitian absorpsi CO<sub>2</sub> menggunakan larutan NaOH secara kontinyu dalam suatu reactor (absorber). Variabel yang diteliti adalah pengaruh laju alir NaOH terhadap CO<sub>2</sub> yang terserap dan CH<sub>4</sub> yang dihasilkan. Absorpsi CO<sub>2</sub> dilakukan dengan mengumpalkan larutan NaOH secara kontinyu pada bagian atas menara, sedangkan biogas dialirkan pada bagian bawah menara. Gas dan cairan akan saling kontak dan terjadi reaksi kimia. Tiap interval waktu 3 menit, larutan NaOH setelah diabsorpsi diambil untuk dianalisis jumlah CO<sub>2</sub> terserap dengan metode acidialkalimetri. Dari hasil analisis dan perhitungan didapatkan jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap dan CH<sub>4</sub> yang dihasilkan semakin besar seiring berkurangnya laju alir NaOH serta %CO<sub>2</sub> yang terserap maksimum 58,11% dan kadar CH<sub>4</sub> yang dihasilkan sebesar 74,13% (Maarif, dkk., 2008).

Kontaktor membran serat berongga mula-mula banyak digunakan sebagai kontak gas-cair yang diantaranya adalah dalam proses penyerapan CO<sub>2</sub> dari aliran gas. Penelitian oleh departemen teknik kimia Universitas Indonesia ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kontak membran serat berongga untuk absorpsi CO<sub>2</sub> dari campurannya dengan CH<sub>4</sub> atau N<sub>2</sub> menggunakan pelarut air melalui uji perpindahan massa dan uji hidrodinamika air.

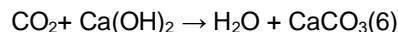
Metode ini adalah pengembangan dari penggunaan membran konvensional yang selama ini lebih sering digunakan untuk proses filtrasi serta osmosis balik pada pengolahan air (*water treatment*). Pada absorpsi gas CO<sub>2</sub> menggunakan pelarut air, CO<sub>2</sub> bereaksi dengan air melalui persamaan sebagai berikut:



Reaksi CO<sub>2</sub> dengan air tersebut merupakan reaksi kesetimbangan, di mana konstanta kesetimbangannya sangat kecil sehingga pembentukan H<sup>+</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> juga sangat kecil. Karenaitu, proses absorpsi CO<sub>2</sub> dengan air lebih dinyatakan sebagai absorpsi fisika, bukan absorpsi kimia.

Ada tiga buah modul membran yang digunakan pada penelitian ini yang berdiameter 1.9 cm, panjang 40 cm dengan jumlah serat masing-masing 10, 15 dan 20 buah dan diameter luarnya 2.7 mm. Variabel operasi yang digunakan pada penelitian ini adalah laju alir pelarut yang melalui kontak membran serat berongga. Hasil studi memperlihatkan bahwa koefisien perpindahan massa pada kontak membran berbanding lurus dengan laju alir pelarut dan berbanding terbalik dengan jumlah serat yang terdapat di dalam kontak membran. Dari hasil penelitian, didapat bahwa pada perpindahan massa yang terjadi, dinyatakan dengan fluks perpindahan CO<sub>2</sub> ke dalam air dapat mencapai sekitar 1,4 x 10<sup>-9</sup> mol CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>. det dan koefisien perpindahan massanya dapat mencapai 1,23 x 10<sup>-7</sup> m/det. Sementara itu, hasil uji hidrodinamika memperlihatkan bahwa penurutan tekanan air di dalam kontak berbanding lurus dengan jumlah seratan laju alir pelarut di dalam kontak (Kartohardjono, dkk., 2007).

Dalam penelitian sebelumnya menggunakan nabsorben NaOH sedangkan pada penelitian ini menggunakan Ca(OH)<sub>2</sub> sebagai absorben CO<sub>2</sub> menurut reaksi berikut:



Pada kondisi percobaan absorpsi dengan Ca(OH)<sub>2</sub>, jumlah CO<sub>2</sub> yang terambil dari aliran biogas dapat dihitung dari jumlah Ca(OH)<sub>2</sub> dan CaCO<sub>3</sub> di dalam cairan sampel.

Berikut adalah persamaan reaksi non elementer yang dipengaruhi tahanan di fase cair dan gas

$$rA = \frac{c_L}{\frac{1}{K_G} + \left(\frac{1}{K_L} + \frac{1}{k_2 C_G}\right) xH} \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan (2), kecepatan reaksi keseluruhan ditentukan oleh dua tahanan difusi yaitu K<sub>G</sub><sup>-1</sup> dan K<sub>L</sub><sup>-1</sup> dan sebuah tahanan reaksi (k<sub>2</sub>C<sub>G</sub>)<sup>-1</sup>. Penambahan katalis merupakan usaha mempercepat

epatreaksifasecairusupayatahanandalamfasecair menjadilebihkecil.Hal inimenunjukkanbahwatahananfasecairjauhlebih esardaripadatananfase gas, atau  $H/K_L \gg 1/K_G$ .Dengandemikian,  $1/K_G$ dapatdiabaikan yang berartibahwatahananterhadap perpindahanmass aatau absorbs hampirseluruhnyaberadapadafasecair (Tatang,dkk,1989).

Karenapadapenelitianinidakmenggunakankatali s yang berfungsi mempercepatreaksifasecair makafaktor utama yang menentukankecepatanreaksiadalahreaksikimia. Makapersamaan (2) menjadi :

$$rA = \frac{k_2 x C_G x C_L}{H} \quad (8)$$

Denganasumsialiran gas sangatkecilsehingga  $(C_G/H)$  dapatdiabaikan.Sehinggadiperolehpersamaan :

$$rA = k_2 x C_L \quad (6)$$

Reaksi di atasmerupakanreaksi order satu.

Percobaandilakukandenganmenggunakan satuvariabel ,yaitubahanisian. Bahanisian yang digunakanadalimajenisdengantentukdanukuran yang berbeda. Setiapbahanisian yang dimasukkanpadakolom absorber padaketinggian yang samamenghasilkan volumcairandalamkolom absorber berbeda-beda. Setiap interval waktutertentudiambilcuplikanlarutan  $Ca(OH)_2$  dan dianalisisakadar

$CO_2$ nyadalamlarutan  $Ca(OH)_2$ sampaidiperolehnilai aitetapsehingganilai  $C_L$ dapatdiketahui. Sehingga persamaan (9) di atas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$-\ln(1-x_A) = kt + I \quad (10)$$

Dengan :  $x_A$  = konversilarutan  $Ca(OH)_2$

$K$  = konstantakekreasi

$t$  = waktutinggal (menit)

Persamaan di atas dapat di ubah dalambentuk :

$$y = ax + b \quad (11)$$

dimana :  $y = -\ln(1-x_A)$

$a = k$

$x = t$

## METODE PENELITIAN

Bahanbaku yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan  $Ca(OH)_2$  sebagaicairan penyerap yang dibuat dari batubakur (gamping) yang dilarutkan dalam air hingga jenuh. Sedangkan umpangannya adalah biogas yang

berasal dari limbah cair pembuatantahu. Biogas diserap larutan  $Ca(OH)_2$  dalam kolom absorber berisibahanisian.

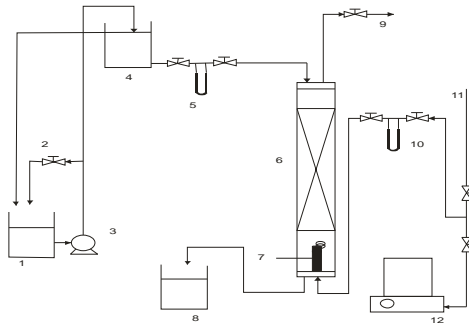
Alat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan rangkaia nyang terdiri atas absorber dari pipa PVC 100 dengan diameter 3,81 dan diberi penyanggabsesi. Tangki overflow dan tangki  $Ca(OH)_2$  umpansertapompa untuk menaikkan  $Ca(OH)_2$  umpa nketangki overflow.

Gas dialirkan melalui selang yang dihubungkan dengan absorber. Kecepatanaliran gas diukur dengan manometer pipa U yang telah diteraterlebih dahulu. Umpa n gas dialirkan dari bagian dasar absorber dan  $Ca(OH)_2$  umpandialirkan dari tangki overflow. Kecepatanaliran  $Ca(OH)_2$  umpandiukur dengan manometer pipa U yang telah diteraterlebih dahulu.

## Cara penelitian

Percobaandilakukandengan memvariasilaj ualirlarutan penyerap yang mengalir secara kontinyu ke dalam kolom absorber dengan bahanisian kelereng, pipaplastik, keramik, kayu, dangenting dengan menjaga volume tinggal  $Ca(OH)_2$  dalam kolom absorber sesuaibahanisian masing-masing adalah 600 ml, 950 ml, 700 ml, 850 ml, dan 800 ml serta debit biogas yang dijagatetap.

Memasukkan kelereng dengan diameter 1,5 cm ke dalam kolom absorber sebagai bahan isian denganketinggian tertentu. Mengalirkan Larutan  $Ca(OH)_2$  ke dalam kolom absor ber dengan laju alir tertentu secara kontinyu dan menjaganya dalam keadaan konstan sampai seluru hbahanisian terendam oleh larutan  $Ca(OH)_2$  terseb ut. Mengalirkan umpa n gas dengan membuka kran gas yang dihubungkan ke sumber biogas. Biogas mengalir melalui kolom absorber yang berisi  $Ca(OH)_2$  dan bahan isian. Gas  $CO_2$  akan terserap oleh larutan  $Ca(OH)_2$ . Untuk mengetahui kadar  $CO_2$  terserap, larutan  $Ca(OH)_2$  dalam kolom absorber diambil tiap selang waktu 10 menit sebanyak 6 kali. Sampeldianalisis dengan metode acidimetric-alkalimetridengan larutan HCL 0,1 N untuk menganalisis jumlah  $CaCO_3$  terbentuk dan larutan HCL 0,1 N ditambah BaCl 0,1 N untukanalisa  $Ca(OH)_2$  tersisa untuk mendekatiperhi tungankonversi  $CO_2$ . Hal yang samadilakukan untuk laju alir larutan  $Ca(OH)_2$  yang lain. Untuk bahanisian yang lain diperlakukan samadengan bahanisian kelerengter sebut.



**Gambar Rangkaian Alat Penelitian**

Keterangan :

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 1. Tangki penampung                    | 7. Sparger           |
| 2. Keran overflow                      | 8. Tangki outlet     |
| 3. Pompa                               | Ca(OH) <sub>2</sub>  |
| 4. Tangki overflow                     | 9. Outlet biogas     |
| 5. Manometer Ca(OH) <sub>2</sub> umpan | 10. Manometer biogas |
| 6. Absorber                            | 11. Inlet biogas     |
|  | 12. Kompor           |

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian ini diperoleh suatu hasil yang menunjukkan bahwa jumlah CO<sub>2</sub> terserap oleh larutan Ca(OH)<sub>2</sub> untuk masing-masing laju alir larutan penyerap akan konstan. Pada waktu jumlah CO<sub>2</sub> terserap konstan tersebut, yang mana didekati dengan konversi jumlah larutan penyerap dihubungkan dengan waktu larutan penyerap dalam kolom absorber sesuai dengan reaksi kimia order satu sesuai persamaan (11) :  
Hasilnya disajikan dalam table dan grafik sebagai berikut :

1. Bahan isian kelereng

**Tabel 1 Waktu tinggal dan konversi larutan Ca(OH)<sub>2</sub> absorber dengan bahan isian Kelereng**

Δh (cm)	Waktu tinggal (V/F, menit)	Konversi Ca(OH) <sub>2</sub> (x <sub>A</sub> )	-ln (1-x <sub>A</sub> ) (y)
1,0	0,64935	0,56228	0,82617
1,5	0,62500	0,54463	0,78664
2,0	0,60241	0,53949	0,77543
2,5	0,58140	0,53796	0,77210

2. Bahan isian pipa plastic

**Tabel 2 Waktu tinggal dan konversi larutan Ca(OH)<sub>2</sub> absorber dengan bahan isian pipa plastik**

Δh (cm)	Waktu tinggal	Konversi Ca(OH) <sub>2</sub>	-ln (1-x <sub>A</sub> ) (y)

(V/F, menit)	(x <sub>A</sub> )		
0,5	1,056	0,545	0,78526
1,0	1,028	0,553	0,8052
1,5	0,98958	0,5308	0,75686
2,0	0,95382	0,5185	0,73089
2,5	0,92054	0,5438	0,78495

3. Bahan isian keramik

**Tabel 3 Waktu tinggal dan konversi larutan Ca(OH)<sub>2</sub> absorber dengan bahan isian Keramik**

Δh (cm)	Waktu tinggal (V/F, menit)	Konversi Ca(OH) <sub>2</sub> (x <sub>A</sub> )	-ln (1-x <sub>A</sub> ) (y)
0,5	0,77778	0,5424	0,78176
1,0	0,75758	0,5723	0,84933
1,5	0,72917	0,5628	0,82736
2,0	0,70281	0,5395	0,77544
2,5	0,6783	0,5078	0,70887

4. Bahan isian kayu

**Tabel 4 Waktu tinggal dan konversi larutan Ca(OH)<sub>2</sub> absorber dengan bahan isian kayu**

5. Bahan isian genting

**Tabel 5 Waktu tinggal dan konversi larutan Ca(OH)<sub>2</sub> absorber dengan bahan isian genting**

Δh (cm)	Waktu tinggal (V/F, menit)	Konversi Ca(OH) <sub>2</sub> (x <sub>A</sub> )	-ln (1-x <sub>A</sub> ) (y)
0,5	0,8333	0,6045	0,9277
1,0	0,8117	0,5623	0,8262
1,5	0,7813	0,5446	0,7867
2,0	0,7530	0,5395	0,7754
2,5	0,7267	0,5280	0,7507

Kemudian dari data-data di atas dibuat suatu grafik hubungan antara waktu tinggal (V/F) dengan -ln(1-x<sub>A</sub>) yang mana dengan grafik tersebut dapat diketahui nilai k untuk persamaan kimia order satu di atas. Kemudian dari persamaan tersebut dihitung nilai -ln(1-x<sub>A</sub>) untuk dibandingkan dengan nilai -ln(1-x<sub>A</sub>) hasil perhitungan sebelumnya kemudian dihitung persen kesalahannya.

Nilai k dari grafik hasil linierisasi dan persen kesalahan rata-rata antara hasil perhitungan dengan grafik untuk -ln(1-x<sub>A</sub>) untuk masing-masing bahan isian adalah :

**Tabel 6** Nilai k untuk masing –masing bahan isian absorber

Bahan isian	k(menit <sup>-1</sup> )	Persen kesalahan(%)
Kelereng	0,781	1,06
Pipa plastik	0,464	2,95
Keramik	0,916	4,18
Kayu	0,637	7,18
Genting	0,987	2,97

### KESIMPULAN

Dari pengolahan data diperoleh nilai konstanta kecepatan reaksi (k) untuk bahan isian kelereng, pipa plastik, keramik, kayu, dan genting masing-masing adalah (0,781), (0,464), (0,916), (0,637), dan (0,987) dengan persen kesalahan tiap bahan isian secara berurutan adalah 1,06 %, 2,95 %, 4,18 %, 7,18 %, 2,97 %.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan pada keluarga Bapak Widodo di Boyolali yang telah memberikan izindan menyediakan tempat untuk melakukan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- H, Tatang, dkk, 1989, *Absorpsi Karbondioksida*, Departemen Teknologi Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Kartohardjono, Sutrasno, dkk., 2007, *Absorpsi CO<sub>2</sub> Dari Campurannya Dengan CH<sub>4</sub> Atau N<sub>2</sub> Melalui Kontakor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelarut Air*, MAKARA, TEKNOLOGI, VOL. 11, NO. 2, 97-102.
- Maarif, Fuad, dan F., Januar Arif, 2008, *Absorpsi Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dalam Biogas dengan Larutan NaOH secara Kontinyu*, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, Semarang.
- Treybal, R. E., 1980, *Mass Transfer Operation*, 3<sup>rd</sup> edition, p.275, Mc Graw Hill Book Co. Ltd, New York.
- Vas Bhat, R. D., Kuipers, J. A. M., Versteeg, G. F., 2000, *Mass Transfer with complex chemical reactions in gas-liquid system: two-step reversible reactions with unit stoichiometric and kinetic orders*, Chemical Engineering Journal, vol 76, jilid 2, p: 127-152 Vicitra, D., <http://majalahenergi.com/forum/energi-baru-dan-terbarukan/bioenergy/pengolahan-limbah-tahu-menjadi-biogas>