



## PEMURNIAN BIOGAS DARI KANDUNGAN HIDROGEN SULFIDA ( $H_2S$ ) DENGAN $NaOH$ , $CuSO_4$ , $Fe_2(SO_4)_3$ DALAM PACKED COLUMN SECARA KONTINYU

Kusuma Aditya, Pricilia Melisa, Agus Hadiyanto \*)

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 5039, Telp (024) 74600058

### Abstrak

Biogas sangatlah berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar karena memiliki kandungan Methane yang tinggi. Akan tetapi, kandungan hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) dalam biogas sangat merugikan karena dapat menyebabkan korosif pada alat dan dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemurnian biogas terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan bakar salah satunya dengan metode absorpsi. Banyak penelitian yang dilakukan untuk mengurangi kandungan  $H_2S$  dalam biogas secara fisik, salah satunya dengan membrane. Akan tetapi membrane membutuhkan biaya yang besar dan berteknologi tinggi sehingga sukar diterapkan kedalam masyarakat. Pemurnian biogas dari kandungan  $H_2S$  dengan metode absorpsi kimia memberikan berbagai keuntungan. Keuntungannya adalah efisiensi tinggi, laju reaksi cepat, dan efektif digunakan untuk laju alir gas rendah pada kondisi normal. Penyerap yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $NaOH$ ,  $CuSO_4$ , dan  $Fe_2(SO_4)_2$ . Larutan penyerap dialirkan kedalam packed column absorber, berkontak dengan biogas yang dialirkan secara counter current. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa ketiga penyerap yaitu  $NaOH$ ,  $CuSO_4$ , dan  $Fe_2(SO_4)_3$  dapat menyerap  $H_2S$ . Diketahui bahwa Absorpsi Kimia dipengaruhi oleh laju alir cairan dan rasio L/G. Dari penelitian ini didapatkan bahwa bertambahnya laju alir penyerap menyebabkan semakin besarnya jumlah  $H_2S$  yang terserap begitu juga dengan meningkatnya rasio L/G maka jumlah  $H_2S$  yang terserap akan semakin banyak pula. Walaupun ketiga penyerap dapat menyerap  $H_2S$ ,  $NaOH$  bersifat lebih reaktif dibandingkan  $CuSO_4$ , dan  $Fe_2(SO_4)_2$ .

**Kata Kunci** : biogas, pemurnian, hidrogen sulfide,  $NaOH$   $CuSO_4$ , dan  $Fe_2(SO_4)_2$ , kolom packing

### Abstract

Biogas is potential for use as a fuel because of high methane content. However, the content of hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) in the biogas is very harmful because it can cause corrosive to the equipment and can pollute the environment. Therefore, it is necessary to purify the Biogas first before being used as fuel either by absorption method. Much research is done to reduce the  $H_2S$  content in biogas physically, one with the membrane. However, membrane costly and so difficult to apply high-tech into society. Purification of biogas  $H_2S$  content of the chemical absorption method gives various advantages. The advantage is high efficiency, fast reaction rates, and effectively used for low gas flow rate at normal conditions. Absorbent used in this study were  $NaOH$ ,  $CuSO_4$ , dan  $Fe_2(SO_4)_3$ . Absorbent solution flowed into the packed column absorber, in contact with biogas flowing in counter current. The results indicate that the third absorbent  $NaOH$ ,  $CuSO_4$ , and  $Fe_2(SO_4)_3$  can absorb  $H_2S$ . It is known that chemical absorption is affected by the fluid flow rate and the ratio L / G. From this study it was found that increasing the flow rate of absorbent causing the growing number of  $H_2S$  is absorbed as well by increasing the ratio L / G is the amount of  $H_2S$  is absorbed more and more as well. Although all three absorber can absorb  $H_2S$ ,  $NaOH$  is more reactive than  $CuSO_4$ , and  $Fe_2(SO_4)_2$ .

**Keywords** : biogas; hydrogen sulfide purification;  $NaOH$   $CuSO_4$ ; dan  $Fe_2(SO_4)_2$ ; packed column

### 1. Pendahuluan

Biogas merupakan salah satu bahan bakar non fossil yang bersifat *renewable* (dapat diperbaharui) yang dapat dijadikan bioenergi alternative. Biogas diperoleh dari proses fermentasi biomassa yang mengandung karbohidrat dengan bantuan mikroorganisme. Biogas sangat potensial sebagai bahan bakar karena kandungan metana yang tinggi yaitu sekitar 55-65% (Kismurtono, 2011). Kandungan biogas tidak hanya metana dan karbon dioksida, tetapi juga hidrogen sulfida.

Tingginya kandungan hidrogen sulfide dalam biogas yaitu 10-40 ppm menjadi masalah dalam menggunakan biogas secara langsung karena dapat merusak peralatan dan mencemari lingkungan (Mary Elisabeth, 2010). Untuk itu biogas perlu dimurnikan dari kandungan hidrogen sulfida sebelum digunakan sebagai bahan bakar.

\*) Penulis Penanggung Jawab (Email: [agushadi55@gmail.com](mailto:agushadi55@gmail.com))

Banyak cara untuk menghilangkan kandungan hidrogen sulfide dalam biogas (Peyruze, 2009) seperti dengan menggunakan mikroorganism (thiobacilus), penambahan besi (II) klorida dalam biodigester, adsorpsi, PSA, dan absorpsi. Metode absorpsi baik fisik maupun kimia sangat efektif digunakan untuk laju alir gas yang rendah dimana biogas dioperasikan pada keadaan normal. Pada absorpsi kimia, penyerapan terjadi lebih efisien karena terjadi reaksi yang cepat.

Kandungan yang terdapat biogas adalah gas metana (CH<sub>4</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), gas hidrogen (H<sub>2</sub>), gas nitrogen (N<sub>2</sub>), gas karbon monoksida (CO), dan gas hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S). gas dalam biogas yang dapat berperan sebagai bahan bakar yaitu gas metana (CH<sub>4</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), gas hidrogen (H<sub>2</sub>), dan gas karbon monoksida (CO) (Price dan Cheremisinoff, 1981). Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester. Tahap pertama adalah hidrolisa/pelarutan dimana selulosa diubah menjadi glukosa, selanjutnya tahap asidogenik/tahap pengasaman, dan tahap terakhir adalah reaksi metanogenik/tahap gasifikasi. Proses berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25°C didalam digester dan akan menghasilkan CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, sedikit H<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S.

Komposisi biogas yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan (Wellinger dan Lindenberg, 2000). Tetapi komposisi utama dalam biogas adalah CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S. komponen lainnya ditemukan dalam kisaran konsentrasi kecil. Komposisi utama biogas ditunjukkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Komponen Utama Biogas

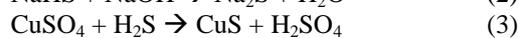
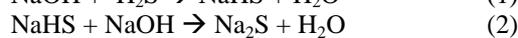
No.	Komponen	Satuan	Komposisi	
			(1)	(2)
1	CH <sub>4</sub>	%vol	50-75	54-70
2	CO <sub>2</sub>	%vol	24-40	27-45
3	N <sub>2</sub>	%vol	<2	0-1
4	H <sub>2</sub>	%vol	<1	0-1
5	CO	%vol		0,1
6	O <sub>2</sub>	Ppm	<2	0,1
7	H <sub>2</sub> S	Ppm	<2	sedikit

Sumber : (1) Hambali, 2007. (2) Widarto, 1997

Absorpsi adalah kontak antara gas dengan cairan dan transfer massa terjadi dari gas ke cairan. Perpindahan massa solut dari gas menuju cairan terjadi dalam tiga langkah perpindahan yaitu transfer massa dari badan utama gas ke suatu fase antarmuka, transfer massa melalui bidang antarmuka ke fase kedua dan transfer massa dari antarmuka ke badan utama cairan. Syarat terjadinya perpindahan massa, konsentrasi awal y<sub>A</sub> dan x<sub>A</sub> tidak berada dalam keadaan setimbang. Teori Lapisan Dua Film Perpindahan massa terlarut A dari gas ke cairan akan terjadi bila terdapat cukup kekuatan gerak (*driving force*) dari satu fasa ke fasa yang lain yang dikenal dengan nama koefisien perpindahan massa (*mass transfer coefficient*). Laju perpindahan massa ini juga bergantung pada luas permukaan kontak antar fasa.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses absorpsi (Henry dkk, 2008) yaitu tekanan operasi, suhu operasi, suhu dan humidity gas, rasio laju gas/cairan, tinggi packing. Syarat bahan yang dapat dijadikan sebagai penyerap yaitu memiliki daya melarutkan bahan yang besar, selektif, memiliki tekanan uap yang rendah, tidak korosif, viskositas rendah, stabil secara termis, dan murah.

Proses absorpsi terdapat dua jenis, fisik dan kimia. Pada penelitian ini mengaplikasikan absorpsi kimia untuk memisahkan hidrogen sulfide. Penyerap yang digunakan adalah logam alkali NaOH, CuSO<sub>4</sub>, dan garam ferri Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Masing-masing dapat bereaksi dengan *Hidrogen Sulfide* seperti yang ditunjukkan pada reaksi dibawah ini.



## 2. Bahan, Alat dan Metode Penelitian

### Bahan :

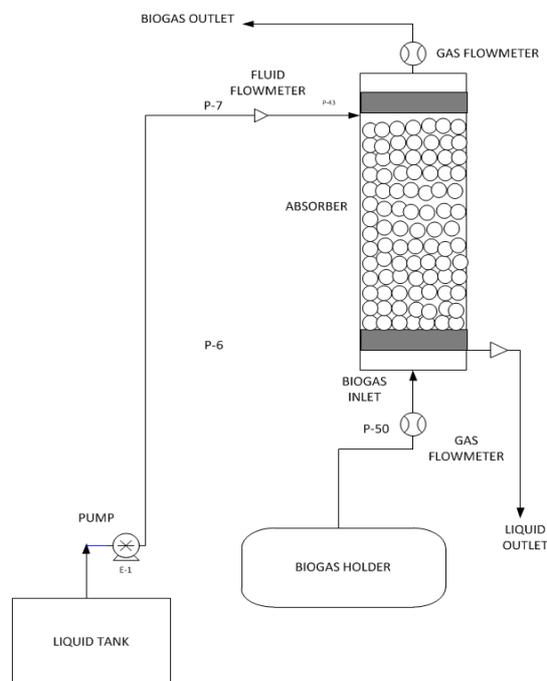
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah biogas yang dibuat dari limbah cair alkohol yang diperoleh di Desa Bekonang, Sukoharjo dengan bakteri rumen sapi sebagai biokatalis dalam Bioreaktor Anaerobik. Penyerap yang digunakan adalah NaOH, CuSO<sub>4</sub> dan FeSO<sub>4</sub> yang diperoleh dari Laboratorium Dasar Teknik Kimia, UNDIP Semarang.

### Variabel penelitian

Untuk variabel terikat, laju alir biogas yaitu 1 l/menit, konsentrasi penyerap masing masing 0,1 N, tekanan biogas 2 atm dan waktu operasi 3 menit. Operasi absorpsi dilakukan secara kontinyu. Penelitian ini menggunakan 3 jenis penyerap yaitu NaOH, CuSO<sub>4</sub> dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> dan laju alir penyerap yang berbeda yaitu 0,02, 0,04, 0,06, 0,08, 0,1, 0,12 L/min.

### Alat yang digunakan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah absorber berupa kolom akrilik dengan ketinggian 40 cm dan diameter 5 cm. Biogas baik umpan maupun yang keluar absorber ditampung dalam *biogas holder* dengan kapasitas 40 liter. Juga disertai alat alat pendukung seperti *flowmeter*, tangki penampung dan pompa (Spesifikasi ; Volts = 24VDC, Amp: 0,6A, P/F = 80 PSI/0,6 LPM). Berikut ini merupakan rangkaian alat yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Rangkaian alat absorpsi

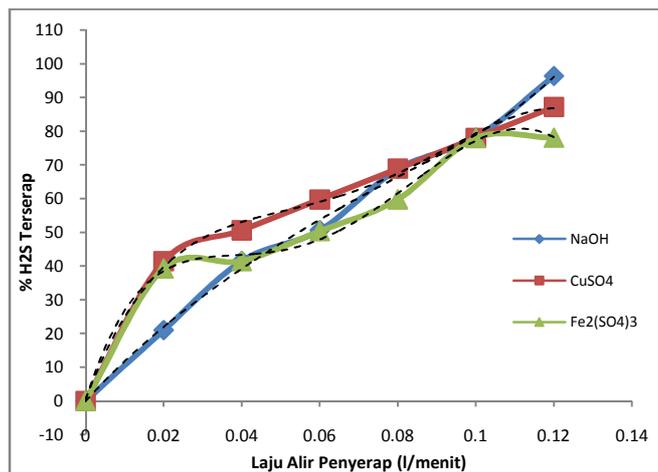
## 3. Hasil dan Pembahasan

NaOH, CuSO<sub>4</sub>, dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> digunakan sebagai penyerap untuk menunjukkan fungsi dari alat eksperimen dan kemampuan untuk menyerap H<sub>2</sub>S. Tabel 2 menunjukkan kadar H<sub>2</sub>S keluar absorber dan % H<sub>2</sub>S terserap pada kondisi kontinyu dengan variasi laju alir selama 3 menit. *Packed Column Absorber* dirancang untuk menghilangkan komposisi H<sub>2</sub>S dari biogas. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kadar H<sub>2</sub>S terserap semakin besar dengan semakin besarnya laju alir penyerap dan semakin besar rasio L/G maka H<sub>2</sub>S yang terserap semakin besar. Penjelasan mengenai hal tersebut akan dijelaskan lebih lanjut pada *section* berikutnya.

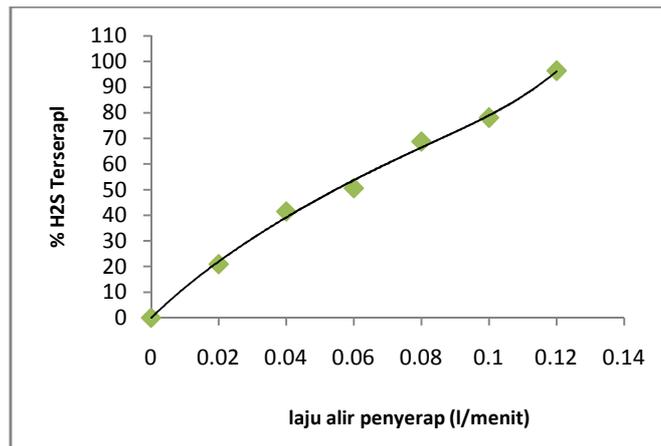
Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, diketahui bahwa terjadi kenaikan % terserap H<sub>2</sub>S untuk ketiga jenis penyerap pada konsentrasi yang sama. Terlihat bahwa semakin besar laju alir penyerap maka semakin besar pula % terserap H<sub>2</sub>S nya. Dapat dilihat dalam grafik untuk laju alir 0.12 liter/menit, pada ketiga jenis penyerap yaitu NaOH, CuSO<sub>4</sub> dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, didapatkan hasil % Terserap H<sub>2</sub>S tertinggi yaitu 96,32%; 87,19% dan 78,05% yang mana merupakan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan laju alir lainnya. Hal ini dikarenakan energi momentum yang masuk semakin besar dengan adanya penambahan kecepatan laju alir penyerap. Ketika dilakukan pencampuran antara fasa gas dan cair, terjadi tumbukan antara cairan yang masuk dengan cairan stagnan yang terdapat didalam kolom. Tumbukan tersebut akan membentuk celah/lubang yang mana gas akan terhisap dan terperangkap didalam celah celah tersebut (Setiadi, 2008). Secara teori, absorpsi gas merupakan proses perpindahan massa antar fasa dimana perpindahan massa dapat terjadi bila adanya kekuatan gerak (driving force) dari satu fasa ke fasa lainnya. Dalam hal ini, kekuatan gerak yang dimaksud adalah tumbukan antar molekul, sehingga dengan semakin besarnya tumbukan antar molekul maka perpindahan massa antar fasa akan semakin besar. Dengan semakin besar laju alir cairan, maka akan semakin besar pula tumbukan yang terjadi dan menyebabkan banyaknya perpindahan massa antar fasa sehingga banyak gas yang terserap pula. Dengan dengan semakin banyaknya gas H<sub>2</sub>S yang terserap, maka % terserapnya akan semakin besar.

**Tabel 2.** Kadar H<sub>2</sub>S keluar dan % H<sub>2</sub>S terserap dengan variasi laju alir dan jenis penyerap secara kontinyu.

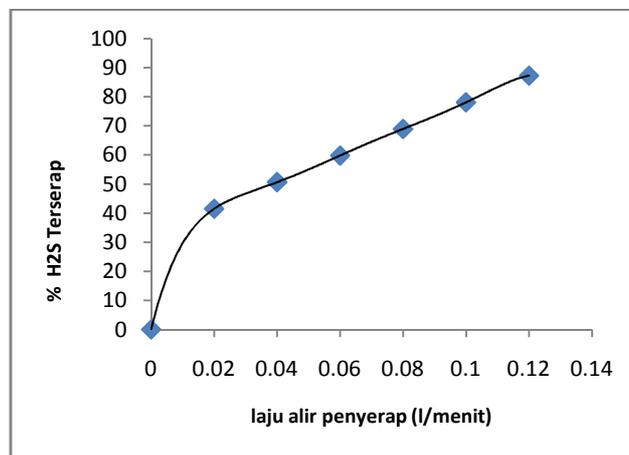
Laju Alir Penyerap (l/menit)	Rasio L/G	Jenis Penyerap					
		NaOH		CuSO <sub>4</sub>		Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	
		Kadar S <sub>2</sub> - (mg/L)	% Terserap	Kadar S <sub>2</sub> - (mg/L)	% Terserap	Kadar S <sub>2</sub> - (mg/L)	% Terserap
0	0	549.38	0	549.38	0	549.38	0
0.02	0.02	434.13	20.97	321.58	41.46	333.64	39.27
0.04	0.04	321.58	41.46	271.33	50.61	321.58	41.46
0.06	0.06	271.33	50.61	221.09	59.75	272.67	50.36
0.08	0.08	171.68	68.75	170.83	68.90	221.09	59.75
0.10	0.10	120.59	78.05	120.59	78.05	121.19	77.94
0.12	0.12	20.20	96.32	70.34	87.19	120.59	78.05



**Gambar 2.** Grafik % H<sub>2</sub>S Terserap dengan variasi laju alir penyerap pada kondisi kontinyu dimana laju alir biogas 1 l/menit dan T = 3menit.



**Gambar 3.** Grafik % H<sub>2</sub>S Terserap dengan rasio L/G yang berbeda beda saat laju alir biogas 1 l/menit selama 3 menit pada larutan penyerap NaOH 0,1 N



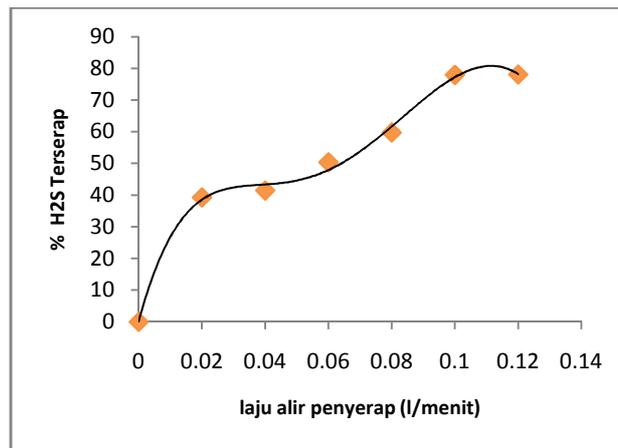
**Gambar 4.** Grafik % H<sub>2</sub>S Terserap dengan rasio L/G yang berbeda beda saat laju alir biogas 1 l/menit selama 3 menit pada larutan penyerap CuSO<sub>4</sub> 0,1 N

Rasio L/G adalah parameter terpenting untuk desain kolom absorpsi (Rattana, 2008). Pada penelitian ini, laju alir penyerap dibuat bervariasi yaitu 0,02 ;0,04 ;0,06 ;0,08 ;0,10 ;0,12 l/menit sedangkan laju alir biogas dibuat konstan yaitu 1 l/menit. Pada gambar 3, 4 dan 5 menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya rasio L/G maka % H<sub>2</sub>S terserapnya cenderung semakin besar. Akan tetapi ketiga grafik menunjukkan hasil % H<sub>2</sub>S terserap yang berbeda. Pada Gambar 3, 4 dan 5 menunjukkan bahwa setelah 3 menit, NaOH hanya menyerap 20,97 %, CuSO<sub>4</sub> menyerap 41,46 % dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> menyerap 39,27 % H<sub>2</sub>S untuk rasio L/G 0,02. Sedangkan pada rasio L/G terbesar yaitu 0,12, NaOH mampu menyerap 96,32 %, CuSO<sub>4</sub> menyerap 87,19 % dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> menyerap 78,05 % H<sub>2</sub>S. Hal ini dikarenakan semakin kecil rasio L/G maka laju alir penyerap yang masuk absorber akan semakin kecil sehingga memungkinkan terjadinya deaktivasi penyerap. Sedangkan semakin besarnya rasio L/G maka laju alir penyerap masuk absorber akan semakin besar. Dengan semakin besarnya laju alir penyerap, maka volume penyerap akan semakin banyak sehingga meminimalisasi deaktivasi penyerap (L.M. Frare, 2010). Fenomena ini terjadi pada ketiga jenis penyerap walaupun menunjukkan hasil % H<sub>2</sub>S terserap yang berbeda beda. Gambar 3 menunjukkan rasio L/G optimum adalah 0,12 dikarenakan pada saat itu NaOH mampu menyerap 96,32 % H<sub>2</sub>S. Sedangkan rasio L/G optimum untuk CuSO<sub>4</sub> dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> adalah antara 0,12 – 0,15 dikarenakan pada rasio L/G 0,12, CuSO<sub>4</sub> hanya mampu menyerap 87,19 % dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> mampu menyerap 78,05 % H<sub>2</sub>S. Semakin besar rasio L/G memang dapat menyerap H<sub>2</sub>S secara efektif akan tetapi hal tersebut dapat meningkatkan biaya operasi terutama dalam perihal ukuran alat.

Penyerap merupakan bagian terpenting dalam absorpsi kimia sehingga penggunaan jenis penyerap sangat mempengaruhi hasil penyerapan yang didapatkan. Pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa pada setiap kenaikan laju alir, nilai % H<sub>2</sub>S terserap untuk setiap jenis penyerap tidaklah jauh berbeda. Hal ini bisa dilihat ketika laju alir penyerap 0,08 l/menit, NaOH mampu menyerap 68,75 % H<sub>2</sub>S, CuSO<sub>4</sub> mampu menyerap 68,90 % H<sub>2</sub>S sedangkan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> mampu menyerap 59,75 % H<sub>2</sub>S. Data tersebut menyatakan bahwa ketiga jenis penyerap dapat menyerap H<sub>2</sub>S dengan nilai % H<sub>2</sub>S terserap yang tidak jauh berbeda. Dengan perbedaan yang tidak signifikan tersebut, tidak dapat ditentukan mana penyerap yang mampu menyerap lebih baik dibandingkan penyerap lainnya. Semakin reaktif suatu penyerap maka penyerap tersebut akan mampu menyerap lebih baik. Untuk mengetahui kereaktifan suatu penyerap dapat dilihat dari deret volta dibawah ini:

**Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au**

(Perry, 8<sup>th</sup> edition)



**Gambar 5.** Grafik % H<sub>2</sub>S Terserap dengan rasio L/G yang berbeda beda saat laju alir biogas 1 l/menit selama 3 menit pada larutan penyerap Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 0,1 N

Pada Deret Volta, unsur logam dengan potensial elektrode lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektrode yang lebih positif ditempatkan di bagian kanan. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka Logam tersebut akan semakin reaktif sehingga semakin mudah melepas elektron. Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin kurang reaktif sehingga semakin sulit melepas elektron. Pada Deret Volta diatas, Na berada di posisi paling kiri, dilanjutkan dengan Fe pada posisi tengah dan Cu pada posisi paling kanan. Hal ini menunjukkan bahwa Na paling reaktif sedangkan Cu paling tidak reaktif dibandingkan 2 logam lainnya. Dengan melihat pertimbangan diatas dapat disimpulkan bahwa NaOH lebih reaktif dibandingkan CuSO<sub>4</sub> dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.

#### 4. Kesimpulan

Pemurnian Biogas dari kandungan H<sub>2</sub>S dengan metode Absorpsi kimia telah dilakukan. Hasil dari penelitian mengindikasikan bahwa ketiga penyerap yaitu NaOH, CuSO<sub>4</sub>, dan Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> dapat menyerap H<sub>2</sub>S. Dari penelitian diketahui bahwa Absorpsi Kimia dipengaruhi laju alir penyerap dan rasio L/G. Dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin besarnya laju alir maka jumlah H<sub>2</sub>S yang terserap akan semakin banyak pula dan dengan meningkatnya rasio L/G maka % H<sub>2</sub>S yang terserap akan semakin besar. Disarankan agar variable laju alir ditambahkan lagi agar fenomena yang terlihat lebih jelas dan akurat. Pada Penggunaan NaOH dan CuSO<sub>4</sub> tidak disarankan bila digunakan dalam skala besar karena tidak bisa di regenerasi sehingga dapat mencemari lingkungan. Tidak seperti 2 penyerap lainnya, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> dapat diregenerasi akan tetapi belum dilaksanakan pada penelitian ini. Oleh karena itu perlu diadakannya penelitian lebih lanjut untuk mengkaji permasalahan tersebut.

#### Daftar Pustaka

Fuad Maarif, Januar Arif, 2008. *Absorpsi Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dalam Biogas dengan Larutan NaOH secara kontinyu*. Universitas Diponegoro: Semarang.

Henry Z. Kister, dkk, 2008. *Equipment for Distillation, Gas Absorption, Phase Dispersion, and Phase Separation*. McGraw-Hill : New York.

H. ter Maat, M. Al-Tarazi, J.A. Hogendoorn, J.P.M. Niederer dan G.F. Versteeg, 2006. *Theoretical and Experimental Study of The Absorption Rate of H<sub>2</sub>S in CuSO<sub>4</sub> Solutions: The Effect of Enhancement of Mass Transfer by A Precipitation Reaction*. Department of Chemical Engineering, University of Twente : Netherlands.

Kismurtono M, Satrio K.W, Roni M, Khoirun N, Crescentiana D.P, 2009. *Pengembangan Bahan Bakar Metana Kadar Tinggi Dari Biogas*. BPPTK-LIPI : Yogyakarta.

Luke Chen, James Huang, Chen Lu Yang, 2001. *Absorption of H<sub>2</sub>S in NaOCl Caustic Aqueous Solutions*. Tamkang University: Taiwan

Elisabeth Mary, 2010. *Biogas Purification : H<sub>2</sub>S Removal using Biofiltration*. A thesis presented to the University of Waterloo : Canada.

N.Tippayawong,P. Thanompongchart.2010. *Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in a packed column reactor*. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University : Thailand.

Peyruze Ozmen, Solmaz Aslanzadeh, 2009. *Biogas Production from municipal waste mixed with different proportion of orange peel*. University of Boras : Sweden.

Price, E.C and Cheremisinoff, P.N, 1981. *Biogas Production and Utilization*. Ann Arbor Science Publishers, Inc : United States of America

Setiadi, Nita Tania H., Hantizen, Dijan Supramono, 2008. *Studi Absorpsi CO<sub>2</sub> menggunakan Kolom Gelembung Berpancaran Jet (Jet Bubble Column)*. Universitas Indonesia:Jakarta.

S. Ebrahimi, R. Kleerebezem, M. C. M. van Loosdrecht, J. J. Heijnen, 2003. *Kinetics of the Reactive Absorption of Hydrogen Sulfide into Aqueous Ferric Sulfate Solutions*. Kluwer Laboratory: Netherland.

Wellinger, A. and A. Lindeberg, 2000. *Biogas Upgrading and Utilization – IEA Bioenergy, Task 24*, International Energy Association France, pp.20.

Z. Gholami, M, Torabi Angaji, F. Gholami, S. A. Razavi Alavi,2009. *Reactive Absorption of Hydrogen sulfide in Aqueous Ferric Sulfate Solution*. Department of Engineering Islamic Azad University : Iran.