

ANALISA EFISIENSI *FLOWRATE* DALAM ABSORBER HIDROGEN SULFIDA (H₂S) PADA PT X

Akmal Ma'arif Al-Anshori^{1*}, Silvy Yusnica Agnesty¹

¹Teknik Pengolahan Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl.Gajah Mada No. 38 Cepu, Blora, 58315

*E-mail: akmalmaarif3@gmail.com

ABSTRAK

Absorber hidrogen sulfida (H₂S) memiliki fungsi sebagai tempat kontak antara *Lean Solution* natrium hidroksida (NaOH) dengan *Acid gas* yang berasal dari *Acid Gas Removal Unit*. Alat pengontaknya berupa packing dengan jenis Pall Rings 38 dengan bahan utama besi. Absorber hidrogen sulfida (H₂S) banyak digunakan pada proses pengolahan gas. Salah satu fungsi lain absorber hidrogen sulfida (H₂S) juga sebagai sistem kontrol terhadap senyawa sulfur. Proses yang berlangsung berupa absorpsi memiliki tujuan untuk meminimalisir kandungan hidrogen sulfida (H₂S) dari acid gas supaya tidak terjadi korosi pada peralatan, pemenuhan standar sesuai peraturan Kementerian Lingkungan Hidup (Kep/MenLH/129/2003), dan juga untuk meningkatkan nilai ekonomis sulfur dengan cara mengubahnya menjadi sulfur cake. Feed yang masuk tercatat sebesar 16,16 MMSCFD dengan kandungan hidrogen sulfida (H₂S) sebesar 2,274% dan karbon dioksida (CO₂) sebesar 93,73%. Kandungan hidrogen sulfida (H₂S) yang terabsorpsi oleh lean solution adalah 0,037% wt. Setelah diabsorpsi, kandungan hidrogen sulfida (H₂S) dan karbon dioksida (CO₂) pada treated gas akan berkurang. Kandungan hidrogen sulfida (H₂S) menjadi 0,3 kgmol/hr atau 721,32 mg/Nm³ dengan efisiensi absorber hidrogen sulfida (H₂S) adalah 98,35 % sudah memenuhi efisiensi design minimum 98%. Efisiensi absorber relatif konstan hingga pada titik konsentrasi hidrogen sulfida (H₂S) yang terkandung pada inlet senilai 32 kgmol/hr. Dengan penggunaan konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) yang konstan didapatkan efisiensi *flowrate* maksimum pada 7 m³/s dengan efisiensi 98%.

Kata kunci: H₂S, Sulfur, Absorber, Efisiensi

1. PENDAHULUAN

Absorpsi (penyerapan) adalah pengontakan absorbent dengan absorbat. Pada proses absorpsi terjadi perpindahan massa antara fluida dan penyerap (absorbent). Proses perpindahan massa yang terjadi mengakibatkan komponen didalam gas yang diserap akan berpindah dari fluida ke absorbent. Cairan penyerap (absorbent) yang digunakan untuk proses absorpsi harus mempunyai selektivitas pelarutan yang berbeda dari gas yang akan dipisahkannya [1]. Secara Umum, prinsip absorpsi adalah perpindahan massa suatu zat terlarut yang dilakukan dengan cara dikontakkan dengan suatu pelarut (solvent) pada alat absorber. Proses dilakukan secara counter-current dengan air dialirkan dari bagian atas absorber dan gas dari bagian bawah absorber. Gas bumi adalah bahan bakar fosil berupa campuran gas alam yang memiliki kandungan utama dari metana (CH₄) dan sedikit kandungan gas lain seperti etana, propane, dan butana [2]. Dalam penggunaannya, gas bumi perlu melalui tahap-tahap pengolahan untuk menghilangkan berbagai komposisi yang tidak diinginkan, seperti sulfur (H₂S), air, karbon dioksida, dan nitrogen. Gas bumi banyak digunakan dalam sektor pembangkit listrik, industri, transportasi, dan rumah tangga sebagai sumber bahan bakar utama [3].

Transfer massa dideskripsikan sebagai aliran molar, dikarenakan reaksi kimia yang mudah terjadi. Mekanika fluida diperlukan untuk menentukan area packing, sifat aliran packed tower. Mekanika fluida dalam packed tower didominasi oleh bahan inert. Bahan ini dapat berukuran kecil yang disebar secara acak dalam tower, ataupun berbentuk besar dan disusun dengan rapi dalam tower. Packing secara random lebih murah dan lebih umum digunakan, sedangkan

packing yang teratur lebih mahal tetapi lebih besar efisiensinya. Efisiensi biasanya mampu ditingkatkan hingga 30%, suatu kenaikan yang besar apabila memproduksi komoditas kimia pada margin rendah. Berikut ukuran packing yang biasa digunakan dalam tower [4].

Prinsip operasi kolom absorber yaitu suatu campuran gas diumpankan dari bagian bawah tower absorber, untuk dikontakkan dengan zat cair (absorben) dari atas bagian atas absorber. Komponen gas dengan kelarutan terbesar pada cairan tersebut akan larut bersama dengan adsorben (zat cair) dan menjadi bottom product, sedangkan komponen gas yang tidak terlarut dalam absorben akan mengalir ke atas sebagai top product. Dengan prinsip kerja absorber berdasarkan kelarutan gas dalam cairan, maka kondisi operasi absorber yaitu pada temperatur rendah, dan tekanan tinggi [5].

Sebagian besar absorpsi gas bertujuan untuk memisahkan pengotor asam dari aliran gas campuran. Pengotor asam ini termasuk karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), sulfur dioksida (SO₂), dan senyawa sulfur organik. Dengan komponen terpenting yang dihilangkan adalah CO₂ dan H₂S, yang terjadi pada konsentrasi 5 hingga 50% [6]. Alat yang digunakan dalam proses absorpsi disebut juga dengan absorber. Absorber berfungsi untuk memisahkan satu atau lebih komponen dari campurannya menggunakan prinsip perbedaan kelarutan fluida. Karena perbedaan kelarutan inilah, perpindahan massa absorber dapat digunakan untuk memisahkan suatu solute dari suatu arus gas [7]. Kolom Absorpsi adalah suatu kolom atau tabung tempat berlangsungnya proses absorpsi (penyerapan/penggumpalan) dari zat yang mengalir di kolom/tabung tersebut [8]. Di dalam absorber terjadi kontak antar dua fasa yaitu fasa gas dan fasa cair yang menyebabkan perpindahan massa difusional dalam umpan gas dari bagian bawah menara ke dalam pelarut air sprayer yang diumpankan dari bagian atas menara. Peristiwa absorpsi ini terjadi pada sebuah kolom yang berisi packing atau tray dengan tingkat sesuai kebutuhan [9].

Hydrogen Sulfide (H₂S) merupakan senyawa kimia yang tidak memiliki warna, memiliki densitas yang lebih tinggi dari udara, mudah terbakar, mudah meledak, dan mampu menyebabkan pengkaratan pada alat. Gas ini sangat berbahaya dan memiliki bau seperti telur busuk. Dapat ditemukan secara alami pada minyak mentah, gas alam, mata air panas, dan volcano gas serta beberapa tempat yang lain [10].

Absorpsi kimia merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan adanya reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas CO₂ ataupun H₂S dengan larutan MEA, NaOH, K₂CO₃ dan sebagainya. Aplikasi dari absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO₂ pada pabrik amoniak. Reaksi yang terjadi pada proses absorpsi antara CO₂/SO₂ dan NaOH adalah [11],

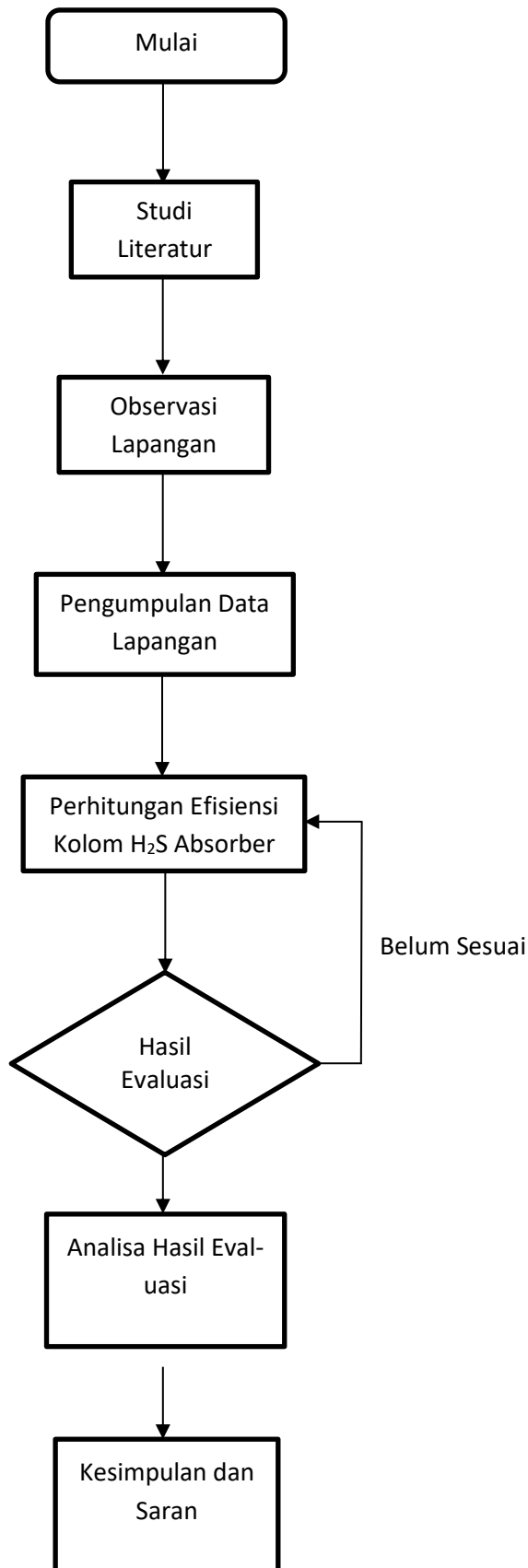


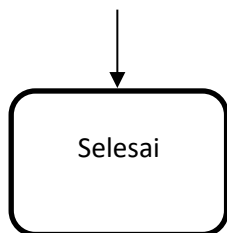
PT. X bergerak dalam bidang produksi *sales gas* untuk kebutuhan pembangkit listrik dan bahan bakar lainnya. Dengan acuan standarisasi dari Kementerian Lingkungan Hidup terkait limbah dan konsentrasi H₂S. Untuk mencapai keuntungan maksimum, maka PT.X memerlukan perhitungan efisiensi penggunaan NaOH dibandingkan dengan *flowrate feed gas*. Selama ini penggunaan *lean solution* hanya berpacu pada dasar efisiensi penyerapan absorber. Jika konsentrasi *lean solution* dapat dibandingkan dengan *flowrate inlet gas*, maka dapat memaksimalkan operasi pada PT.X .

2. METODE

Metode penelitian ilmiah yang dilakukan berdasarkan variabel tetap dan variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel tetap adalah konsentrasi NaOH dan efisiensi absorber. Variabel

bebas pada penelitian ini adalah *flowrate feed gas*, konsentrasi H₂S pada feed dan juga konsentrasi H₂S yang terserap. Perbedaan analisis data ini ditujukan agar pemrosesan data dapat dipusatkan pada variabel inti yang ingin dibahas. Adapun langkah-langkah metode ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut,





Gambar 1 Flowchart Metode Kerja

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan efisiensi adalah [12] :

- Rumus *total mass balance* dalam kolom absorber

$$L_a + V_b = L_b + V_a \tag{3}$$

- Rumus Fraksi Mol

$$L' \left(\frac{X_a}{1-X_a} \right) + V' \left(\frac{Y_b}{1-Y_b} \right) = L' \left(\frac{X_b}{1-X_b} \right) + V' \left(\frac{Y_a}{1-Y_a} \right) \tag{4}$$

- *Volumetric Flowrate*

$$\text{Volumetric Flowrate} \left(\frac{ft^3}{h} \right) = \frac{\text{Mass Flowrate} \left(\frac{lbmol}{hr} \right)}{\text{Mass Density} \left(\frac{lb}{ft^3} \right)} \tag{5}$$

- Efisiensi H₂S Absorber

$$\text{Efisiensi H}_2\text{S Absorber} = \frac{\text{H}_2\text{S dalam Rich Solution}}{\text{H}_2\text{S dalam feed}} \times 100\% \tag{6}$$

- *Molar Flowrate*

$$\text{Molar Flowrate Komp. (lbmol/hr)} = \frac{\text{Mass Flowrate Komp.} \left(\frac{lb}{h} \right)}{\text{Molar Mass Komp.} \left(\frac{g}{mol} \right)} \tag{7}$$

3. PEMBAHASAN

A. Desain Kolom H₂S Absorber

Tabel 1 adalah data desain dalam H₂S absorber sebagai berikut:

Tabel 1. Data Desain Absorber

Design Condition		
Inside Diameter	Top	3300 mm
Length		30200 mm
Design Temperature (Max/Min)		250/67 °F
Control Range	LLLL	500 mm
	LLL	2720 mm
	HLL	7200 mm
	HHLL	7950 mm

Dalam desain absorber perlu digarisbawahi beberapa variabel seperti LLLL, LLL, HLL, dan HHLL. Beberapa variabel ini menentukan *control system* yang terdapat dalam absorber untuk berbagai tingkatan level. Hal ini diperlukan untuk menentukan *level* penting dalam absorber. Beberapa level yang diatur berupa LLLL (*low low liquid level*), LLL (*low liquid level*), HLL (*high liquid level*), dan HHLL (*high high liquid level*). *Low low liquid level* adalah batasan nilai kritis *level* terendah dalam absorber. Setiap ketinggian level ini menandakan level kritis untuk monitor level dalam absorber. *Low liquid level* biasanya digunakan sebagai *buffer* awal dalam monitoring level absorber. Hal ini disebabkan, LLLL biasanya terhubung langsung pada *trip alarm* sebagai media mitigasi terjadinya kejadian yang tidak diinginkan. Begitu juga untuk HLL dan HHLL.

B. Data Inlet dan Outlet Absorber

Tabel 2 adalah data kondisi inlet absorber pada *normal case* adalah:

Tabel 2. Data Inlet Absorber

Komponen	Y	%wt	Molar Flow Rate (lbmol/hr)	Mass Flow Rate (lb/hr)
C1	0,00193	0,07218	3,4278	54,84
C2	0,00011	0,0077	0,195	5,85
C3	0,00004	0,00411	0,071	3,12
i-C4	0,00002	0,00267	0,035	2,03
n-C4	0,00002	0,00267	0,035	2,03
i-C5	0,00001	0,00168	0,0177	1,27
n-C5	0,00001	0,00168	0,0177	1,27
C6+	0,0004	0,07288	0,71	55,38
H ₂ S	0.02272	1,80556	40,3878	1371,9786
CO ₂	0.93736	96,4013	1664,817	73251,95
H ₂ O	0,037	1,5566	65,714	1182,8520
N ₂	0,00002	0,00064	0,035	0,49
Na ⁺	-		-	-
HCO ₃ ⁻	-		-	-
CO ₃	-		-	-
SO ₄	-		-	-
S ₂ O ₂	-		-	-
NH ₄	-		-	-
Elemental Sulfur	-		-	-
Σ	1		1776,065	75986,47

Data kondisi outlet absorber pada normal case pada Tabel 3 adalah:

Tabel 3. Data Outlet Absorber

Komponen	Y	%wt	Molar Flow Rate (lbmol/hr)	Mass Flow Rate (lb/hr)
C1	-	-	-	-
C2	-	-	-	-
C3	-	-	-	-
i-C4	-	-	-	-
n-C4	-	-	-	-
i-C5	-	-	-	-
n-C5	-	-	-	-
C6+	-	-	-	-
H ₂ S	0,00021	0,03736	39,6859	1349,32
CO ₂	0,00033	0,07597	62,3635	2744
H ₂ O	0,95419	89,8671	180323,211	3245817,8
N ₂	-	-	-	-
Na ⁺	0,02321	2,79074	4386,23517	100795,68
HCO ₃ ⁻	0,01153	3,68064	2178,9441	132937,38
CO ₃	0,0001	0,03139	18,898	1133,88
SO ₄	0,00445	2,23664	840,968	80782,89
S ₂ O ₂	0,00042	0,34744	79,3718	12548,68
NH ₄	-	-	-	-
Elemental Sulfur	0,00556	0,93268	1050,731	33686,43
Σ	1	100	188980,40	3611796,06

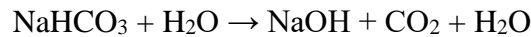
Berdasarkan tabel 3 dapat ditentukan beberapa hal, antara lain:

- Hasil dari H₂S yang telah diserap adalah 18,0012 kgmol/hr dengan H₂S yang terkandung dalam feed gas adalah 18,3196 kgmol/hr.
- Hasil dari CO₂ yang telah diserap adalah kgmol/hr dengan CO₂ yang terkandung dalam feed gas adalah kgmol/hr.
- Perhitungan Efisiensi (Normal Case):

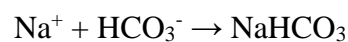
$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi H}_2\text{S Absorber} &= \frac{\text{H}_2\text{S dalam Rich Solution}}{\text{H}_2\text{S dalam feed}} \times 100\% \\
 &= \frac{18,0012}{18,3196} \text{ kgmol/hr} \times 100\% \\
 &= 98,26197 \%
 \end{aligned}$$

C. Hubungan Flowrate Feed dan Efisiensi

Dalam penentuan secara teoritis efisiensi dalam setiap flowrate diperlukan beberapa data, yaitu konsentrasi lean solution, konsentrasi H₂S dalam feed, konsentrasi H₂S yang terserap, efisiensi NaOH, dan efisiensi absorber. Untuk mengetahui perbandingan konsentrasi NaOH dengan H₂S yang terabsorpsi. Perlu diketahui jumlah NaOH yang terbentuk dalam absorber. Selain itu, perlu juga diketahui jumlah H₂S yang terserap oleh NaOH yang terbentuk. Dalam penentuan jumlah NaOH yang terbentuk digunakan stokiometri pembentukan NaOH dalam absorber sebagai berikut;



Dalam absorber terdapat senyawa Na⁺ dan HCO₃⁻, sehingga dapat membentuk NaHCO₃,



Senyawa NaHCO₃ kemudian akan bereaksi dengan air untuk membentuk NaOH, CO₂, dan H₂O sesuai dengan stokiometri diatas. Dapat disimpulkan bahwa 1 mol NaHCO₃ akan bereaksi dengan 1 mol H₂O membentuk 1 mol NaOH, 1 mol CO₂, dan 1 mol H₂O. Jumlah mol NaHCO₃ yang terbentuk sama dengan jumlah mol bikarbonat (HCO₃⁻) dalam larutan. Apabila dalam larutan terdapat mol HCO₃⁻ sebesar 34,81 lbmol/hr, maka didapatkan perhitungan;

$$\begin{aligned} \text{Mol NaHCO}_3 &= \% \text{mol HCO}_3^- \times 3134,58 \text{ lbmol/hr} \\ \text{Mol NaHCO}_3 &= \frac{1,11}{100} \times 3134,58 \text{ lbmol/hr} \\ \text{Mol NaHCO}_3 &= 34,81 \text{ lbmol/hr} \end{aligned}$$

Dengan demikian, didapatkan nilai mol NaHCO₃ senilai 34,81 lbmol/hr. Dapat disimpulkan juga bahwa konsentrasi NaOH dalam larutan senilai 34,81 lbmol/hr. Namun, dalam larutan masih terdapat sisa 38 lbmol/hr Na⁺. Apabila diasumsikan bahwa Na⁺ akan seluruhnya terkonversikan menjadi NaHS melalui stoikiometri;



Maka dapat disimpulkan bahwa 2 mol Na⁺ dapat menghasilkan 2 mol NaHS dan memiliki nilai yang setara dengan 2 mol NaOH. Sehingga 1 mol N⁺ diasumsikan sama dengan 1 mol NaOH. Sehingga total NaOH dalam larutan menjadi 72,82 lbmol/hr. Konsentrasi dalam lbmol/hr dapat dikonversikan menjadi N (normalitas) dengan cara;

- lbmol/hr = 453,59 mol/hr
- Diubah menjadi mol/s dengan dibagi 3600
- Dikalikan dengan Mr NaOH
- Dibagi dengan volume larutan senilai 0,2494 ft³ atau sekitar 7,069 liter
- Hasil berupa g/L kemudian dibagi Mr NaOH

Berdasarkan langkah diatas didapatkan perhitungan sebagai berikut;

$$\begin{aligned} \text{NaOH} &= 72,82 \text{ lbmol/hr} = 33.030 \text{ mol/hr} = 9,17 \text{ mol/s} \\ \text{NaOH} &= 9,17 \text{ mol/s} \times 40 \text{ gram/mol} \\ \text{NaOH} &= 367 \text{ gram/s} \end{aligned}$$

$$NaOH = \frac{367 \text{ gram/s}}{7,089 \text{ L}}$$

$$NaOH = 51,77 \text{ gram/L}$$

$$NaOH = \frac{51,77 \text{ gram/L}}{40}$$

$$NaOH = 1,29 \text{ gram/L}$$

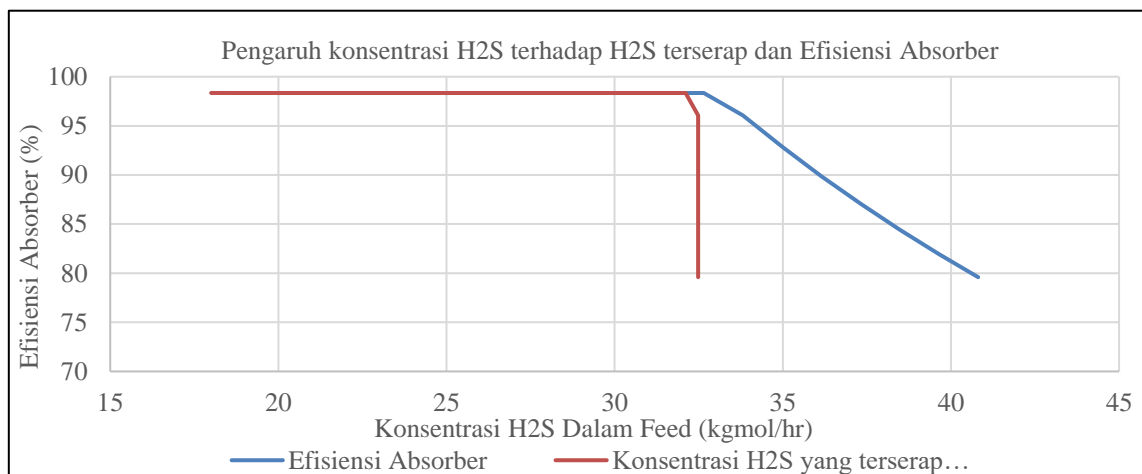
$$NaOH = 1,29 \text{ N}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa dengan konsentrasi NaOH 1,29 N didapatkan efisiensi 98,2619% dan H₂S yang terabsorpsi sebesar 18,0012 lbmol/hr. Dengan pertimbangan variabel bebas berupa efisiensi absorber, *flowrate feed*, dan konsentrasi H₂S pada feed dan yang terserap. Maka dengan menggunakan sistem perhitungan perbandingan pada excel, didapatkan data seperti Tabel 4 dan Gambar 2 sebagai berikut.

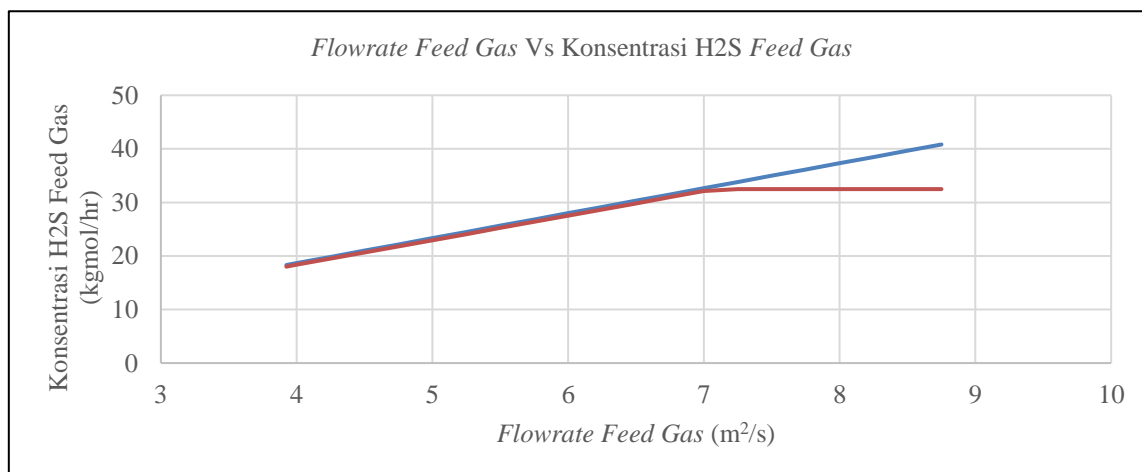
Tabel 4. Data Efisiensi Absorber

<i>Flowrate Feed</i> (m ³ /s)	Konsentrasi NaOH (Terpakai) (kgmol/hr)	Konsentrasi H ₂ S dalam feed (kgmol/hr)	Konsentrasi H ₂ S yang terserap (kgmol/hr)	Efisiensi NaOH	Efisiensi Absorber (%)
3,9244	32,4827	18,3035	18,0012	98,34%	98
4	32,4827	18,6559	18,346	98,34%	98
4,25	32,4827	19,8219	19,493	98,34%	98
4,5	32,4827	20,9879	20,639	98,34%	98
4,75	32,4827	22,1539	21,786	98,34%	98
5	32,4827	23,3199	22,933	98,34%	98
5,25	32,4827	24,4858	24,079	98,34%	98
5,5	32,4827	25,6518	25,226	98,34%	98
5,75	32,4827	26,8178	26,373	98,34%	98
6	32,4827	27,9838	27,519	98,34%	98
6,25	32,4827	29,1498	28,666	98,34%	98
6,5	32,4827	30,3158	29,813	98,34%	98
6,75	32,4827	31,4818	30,959	98,34%	98
7	32,4827	32,6478	32,106	98,34%	98
7,25	32,4827	33,8138	32,4827	98,34%	96
7,5	32,4827	34,9798	32,4827	98,34%	93
7,75	32,4827	36,1458	32,4827	98,34%	90
8	32,4827	37,3118	32,4827	98,34%	87

8,25	32,4827	38,4778	32,4827	98,34%	84
8,5	32,4827	39,6437	32,4827	98,34%	82
8,75	32,4827	40,8097	32,4827	98,34%	80



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi H₂S, H₂S Terserap dan Efisiensi Absorber



Gambar 3. Pengaruh Flowrate terhadap Konsentrasi H₂S

Dari gambar grafik 2 dan 3, maka dapat disimpulkan bahwa kenaikan H₂S pada feed gas berbanding lurus dengan kenaikan *flowrate* volumetric feed gas. Semakin tinggi *flowrate*, semakin tinggi juga konsentrasi H₂S. Hal ini disebabkan, dengan peningkatan *flowrate*, maka jumlah massa keseluruhan larutan akan bertambah dan pada akhirnya berpengaruh pada jumlah mol seluruh komponen. Dalam proses absorpsi NaOH, diasumsikan bahwa keseluruhan Na⁺ akan mampu bereaksi dengan H₂S membentuk NaHS. Dengan catatan bahwa dalam rich solution masih tersisa 0,0012 N NaOH, maka didapatkan nilai total NaOH terpakai 32,4827 kgmol/hr.

Berdasarkan grafik, didapatkan juga bahwa kenaikan konsentrasi pada H₂S absorber akan mengakibatkan efisiensi semakin menurun. Namun, sebelum efisiensi menurun ada plateu atau fase stagnasi yang dialami oleh H₂S absorber. Dimana pada fase ini efisiensi berupa standar 98,32 % sesuai dengan kemampuan NaOH. Namun, pada saat konsentrasi H₂S pada feed gas

sudah melewati titik 33,8138 kgmol/hr didapatkan penurunan pada efisiensi dan juga pada H₂S yang terserap. Penurunan ini disebabkan oleh kejenuhan dari NaOH. Dikarenakan keseluruhan NaOH sudah bereaksi dengan H₂S dan membentuk NaHS. Maka, NaOH sudah mencapai titik kejenuhan dan tidak dapat mengikat lagi H₂S. Inilah mengapa pada konsentrasi H₂S yang lebih dari 33,8138 kgmol/hr, jumlah H₂S yang terserap konstan pada titik maksimum konsentrasi NaOH senilai 32,4827 kgmol/hr. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *flowrate feed gas* maksimum dimana H₂S masih dapat beroperasi secara optimum adalah 7 m³/s.

4. SIMPULAN

Konsentrasi H₂S dalam feed gas sebesar 18,3035 kgmol/hr dan yang diserap oleh lean solution sebesar 18,0012 kgmol/hr. Dengan perhitungan efisiensi H₂S absorber sebesar 98,34%, sesuai dengan Kep/MenLH/129/2003 yang menyebutkan bahwa sulfur recovery untuk CPP Gundih minimum 95%. Dalam penentuan hubungan flowrate feed gas dengan efisiensi H₂S Absorber didapatkan bahwa dengan meningkatnya flowrate feed gas, nilai efisiensi H₂S absorber akan mengalami stagnasi sebelum akhirnya menurun. Penurunan disebabkan oleh kejenuhan NaOH yang keseluruhan sudah bereaksi dengan H₂S. Berdasarkan perhitungan, didapatkan *flowrate* maksimum agar H₂S tetap dalam kondisi optimum adalah 7 m³/s.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Belitskii, "Absorbers: Definitions, properties and applications," *Discret. Dyn. Nat. Soc.*, vol. 1, Jan. 1996, doi: 10.1155/S1026022697000290.
- [2] C. Garison, "Design and construction of a gas absorber/stripper for the unit operations laboratory," *Arthur lakes Libr.*, 2003.
- [3] G. Bernasconi, *Teknologi Kimia*, vol. Bagian 2. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1995.
- [4] R. F. Strigle, "Random Packings and Packed Towers," *Houst. Gulf Publ.*, 1987.
- [5] E. M. Samsudin, L. H. Ismail, and A. . Kadir, "A Review On Physical Factors Influencing Absorption Performance Offibrous Sound Absorption Material From Natural Fibers," *Arpn J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 6, pp. 3703–3711, 2013.
- [6] R. H. Perry and D. W. Green, *Perry's Chemical Engineers Handbook*, no. 7th edition. New York: McGraw-Hill Book Company, 1996.
- [7] S. Adha, "Pengaruh Konsentrasi Larutan HNO₃ dan Waktu Kontak Terhadap Desorpsi Kadmium (II) yang Terikat Pada Biomassa Azolla Micropylla-Sitrat," *Kim. Student J.*, vol. 1, no. (1), pp. 636–642, 2015.
- [8] H. Santosa., *Diktat Kuliah Perancangan Tray Tower*. Semarang: Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UNDIP, 2004.
- [9] S. Redjeki, *Bahan Ajar Materi Absorpsi Gas*. Universitas Pembangunan Negara, 2013.
- [10] J. . Gudmundsson, "Calculation in Natural Gas Course," *Phys. Rev. E* 84, no. 3, 2012.
- [11] K. Aditya, "Pemurnian biogas dari kandungan hidrogen sulfida (H₂S) dengan NaOH, CuSO₄, Fe(SO₄)₃ dalam colum secara kontinyu," *Tekmol. Kim. dan Ind.*, vol. 1, no. 4, pp. 389 – 395, 2012.
- [12] N. Chohey, *Handbook Of Chemical Engineering Calculations*. USA: McGraw-Hill Co., 2004.

Daftar Simbol

MMSCFD	=	Million Standard Cubic Feet per Day
%wt	=	Mass Fraction, Persen (%)
γ	=	Fraksi mol
L _a	=	Mol Lean Solution, lbmol/hr
V _b	=	Mol Gas Umpan, lbmol/hr
L _b	=	Mol Rich Solution, lbmol/hr
V _a	=	Mol Treated Gas, lbmol/hr
L'	=	Mol Solvent, lbmol/hr
V'	=	Mol Gas tanpa Solute, lbmol/hr

- Xa = Fraksi Mol CO₂ pada *lean solution*
- Yb = Fraksi Mol CO₂ pada gas umpan
- Xb = Fraksi Mol CO₂ pada *rich solution*
- Ya = Fraksi Mol CO₂ pada *treated gas*