

## Proses Purifikasi untuk Penyisihan Kandungan Hidrogen Sulfida dan Karbon Dioksida di Dalam Biogas Menggunakan Mono Etanol Amin (MEA)

Adrianto Ahmad\*, David Andrio, Trio Yudha Putra, Ulva Seprizal

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau

Corresponding author: [adri@unri.ac.id](mailto:adri@unri.ac.id)

DOI: <https://dx.doi.org/10.20961/equilibrium.v5i2.58477>

### Article History

Received: 15-11-2021, Accepted: 08-12-2021, Published: 18-01-2022

### Kata kunci:

Absorpsi, Biogas,  
Hidrogen Sulfida,  
Monoethanolamine,  
POME

**ABSTRAK.** Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan, yang mampu dihasilkan dari limbah organik seperti limbah cair sawit (POME), melalui proses fermentasi anaerobik. Untuk menghindari terjadinya korosi pada peralatan, biogas hasil fermentasi diperlukan proses purifikasi untuk menyisihkan kandungan hidrogen sulfida ( $H_2S$ ). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan pengaruh penggunaan monoethanolamine (MEA) pada purifikasi biogas, menentukan kondisi terbaik dari variabel penelitian (konsentrasi MEA 30%, 25%, 20%, 15% 10%, 5% v/v) yang memiliki kandungan  $H_2S$  terendah, dan menentukan efisiensi proses purifikasi biogas. Purifikasi biogas dilakukan menggunakan bubble column absorber secara semi-batch, dimana biogas mentah dialirkan ke kolom yang berisi absorber MEA sebanyak 0,678 L. Biogas keluaran kolom dianalisa kandungannya menggunakan alat pengukur kandungan biogas (Biogas 5000 ©). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan MEA sebagai absorben mampu menurunkan kandungan gas  $H_2S$  dan menaikkan kandungan gas  $CH_4$  di dalam biogas hasil purifikasi, serta semakin tinggi variasi konsentrasi MEA yang digunakan, maka semakin rendah kandungan  $H_2S$  biogas dan semakin lama waktu absorpsi yang diperlukan untuk absorben mencapai titik jenuh. Kondisi terbaik absorpsi tercapai pada penggunaan variasi konsentrasi MEA 30% v/v, dengan kandungan  $H_2S$  pada biogas hasil purifikasi 0 ppm, dan efisiensi penyisihan  $H_2S$  sebesar 100%.

### Keywords:

Absorption,  
Biogas, Hydrogen  
Sulfide ( $H_2S$ ),  
Monoethanolamine,  
POME

**ABSTRACT.** Biogas is a renewable energy source, which can be produced from organic waste such as *palm oil mill effluent* (POME), through an anaerobic fermentation process. Biogas requires a purification process to remove the content of hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) and carbon dioxide ( $CO_2$ ). The purpose of this study is to review the effect of the biogas purification process of chemical absorption of  $H_2S$  and  $CO_2$  gases in raw biogas by monoethanolamine (MEA) absorbent. Biogas purification was carried out using a *bubble column absorber* in a *semi-batch*, where raw biogas was flowed into a column containing a MEA absorber of 0.678 L. The biogas content from the column was analyzed using a biogas content measuring device (Biogas 5000 ©). The result showed that removing the use of MEA as an absorbent can reduce the content of hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) and carbon dioxide ( $CO_2$ ) and improve the content of methane in biogas. Increasingly high variation concentration MEA, then the lower content of hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) and more time long to reach the point saturated absorbability.

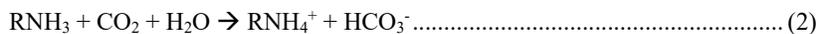
## 1. PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang saat ini cukup potensial diterapkan di Indonesia. Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan metana ( $CH_4$ ) yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi (4.800-6.700 kkal/ $m^3$ ). Biogas lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar berantai karbon panjang. Biogas dapat terbentuk dengan memanfaatkan kemampuan alami mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik. Salah satu limbah organik yang dapat dipakai untuk produksi biogas adalah limbah cair pabrik kelapa sawit (*palm oil mill effluent* (POME)) [1].

Biogas dapat diproduksi dari limbah cair pabrik kelapa sawit melalui proses fermentasi anaerob, dimana limbah organik mengalami degradasi oleh mikroorganisme, sehingga dihasilkan biogas. Namun, biogas diperkirakan masih perlu dilakukan purifikasi, terutama terhadap kandungan  $CO_2$  dan  $H_2S$ . Kandungan  $CO_2$  yang tinggi (25-45 %) dapat menurunkan energi/power dari biogas. Sementara itu, kandungan  $H_2S$  yang cukup tinggi (2,2%) menghasilkan pembakaran biogas yang mengandung  $SO_2$  dan  $SO_3$  yang bersifat korosif dan dapat

menimbulkan hujan asam [2], Jumlah CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S diharapkan dibawah 1 % keberadaannya di dalam biogas. Kondisi tersebut bisa diperoleh melalui proses purifikasi biogas [3].

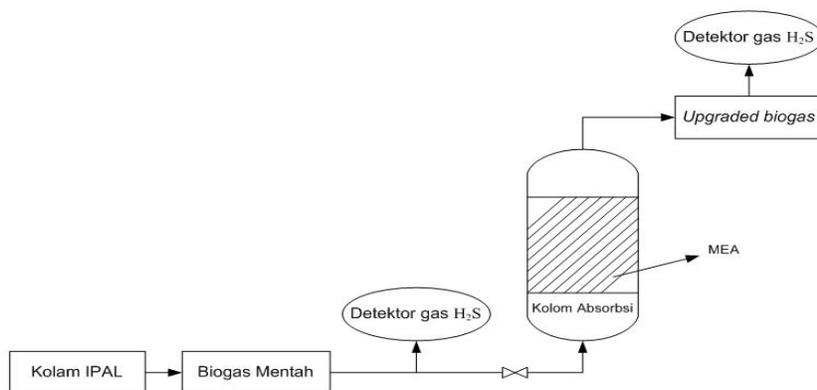
Proses purifikasi biogas untuk menurunkan gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dapat dilakukan melalui proses absorpsi. Bahan yang dapat digunakan untuk mengabsorpsi adalah *monoetanolamine* (MEA), dimana bahan tersebut dapat meningkatkan konsentrasi CH<sub>4</sub> dalam biogas mencapai >99% [4]. Senyawa MEA merupakan senyawa amina primer, dimana senyawa hanya mengandung 1 gugus amina. Larutan amina mampu mengabsorpsi gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S secara fisika dan kimia, sehingga transfer massa dari fasa gas ke fasa *liquid* dari kedua gas meningkat dikarenakan adanya reaksi kimia tersebut [5]. Reaksi antara senyawa MEA dengan gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> pada proses absorpsi kimia terjadi melalui persamaan (1), (2), dan (3).



Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk purifikasi biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit berasal dari proses fermentasi anaerob dengan menggunakan proses absorpsi berbasis *amine scrubber*.

## 2. METODE PENELITIAN

Biogas yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) PTPN V Tandun, yang mengolah POME melalui proses fermentasi anaerob. Senyawa MEA yang berasal dari Sigma Aldrich dengan kemurnian 99% (v/v), diencerkan menjadi konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% (v/v). Proses purifikasi biogas dilakukan menggunakan prototipe *bubble column absorber* berbahan dasar *fiber glass* dengan diameter kolom 2,5 in dan tinggi kolom 35 cm. Biogas dialirkan secara kontiniu ke dalam kolom absorpsi yang berisi absorben MEA dengan volume 0,678 L. Gambar 1 ditampilkan rangkaian alat yang digunakan pada proses purifikasi biogas.



**Gambar 1.** Rangkaian Alat Proses Purifikasi Biogas

Kandungan biogas sebelum dan setelah absorpsi dianalisis menggunakan *biogas analyzer* (Geotech Biogas 5000). Kandungan CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O diukur dalam satuan persen (%), sedangkan kandungan H<sub>2</sub>S diukur dalam satuan ppm. Proses purifikasi dilakukan pada temperatur dan tekanan ruang (30 °C, 1 atm) selama 80 menit, dengan laju alir biogas sebesar 40 mL/menit. Setiap 4 menit, kandungan biogas hasil purifikasi diukur menggunakan *biogas analyzer*.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Komposisi Biogas

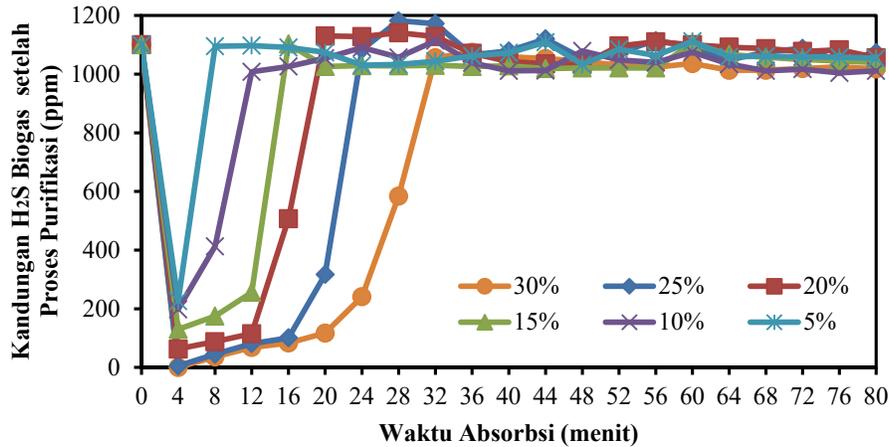
Komposisi gas-gas yang terdapat dalam biogas sangat bergantung pada bahan baku zat organik yang diolah dan parameter-parameter yang ditetapkan selama proses degradasi anaerobik berlangsung. Tabel 1 menampilkan kandungan biogas awal yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik POME di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Tandun PTPN V.

Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan H<sub>2</sub>S di dalam biogas cukup tinggi, dikarenakan biogas yang dihasilkan akan digunakan lebih lanjut oleh PT. Karya Mas Energi (KME) sebagai bahan bakar untuk *internal combustion engine* pada Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) di PKS Tandun PTPN V. Kandungan H<sub>2</sub>S didalam biogas perlu diturunkan hingga kurang dari 500 ppm untuk dapat dimanfaatkan pada *internal combustion engine*.

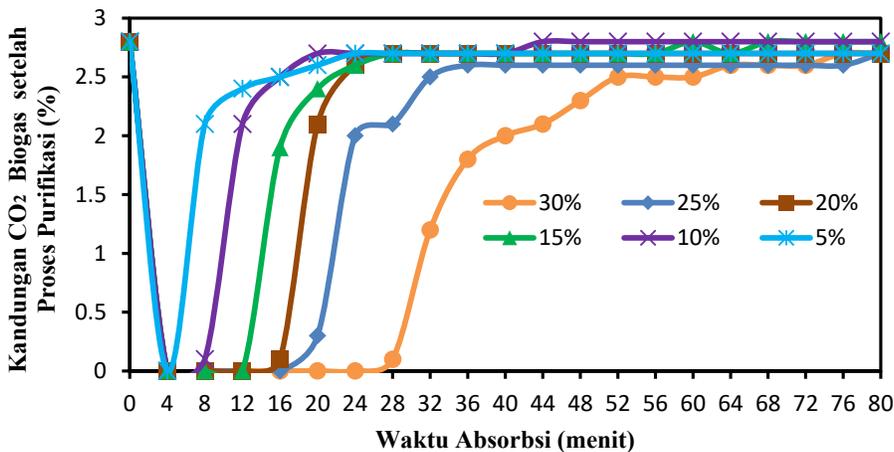
**Tabel 1. Kandungan Biogas Awal**

Komponen	Kandungan Gas (v/v)
CH <sub>4</sub>	41,2 %
CO <sub>2</sub>	2,8 %
O <sub>2</sub>	0,5 %
H <sub>2</sub> S	0,0011 %
Gas lainnya	55,5 %

Setelah dilakukan proses purifikasi, kandungan H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> di dalam biogas hasil purifikasi kembali diukur. Pengukuran dilakukan pada setiap penggunaan variasi konsentrasi MEA yang digunakan dalam proses absorpsi. Gambar 2 dan 3 menunjukkan hubungan kandungan H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> setelah proses purifikasi dan waktu absorpsi pada masing-masing variasi konsentrasi MEA.



**Gambar 2.** Hubungan Kandungan H<sub>2</sub>S setelah Proses Purifikasi dan Waktu Absorpsi pada masing-masing Variasi Konsentrasi MEA



**Gambar 3.** Hubungan Kandungan CO<sub>2</sub> setelah Proses Purifikasi dan Waktu Absorpsi pada masing-masing Variasi Konsentrasi MEA

Gambar 2 dan 3 menunjukkan bahwa konsentrasi absorben MEA dan waktu absorpsi memiliki pengaruh terhadap kandungan H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub>. Peningkatan konsentrasi MEA yang digunakan mampu meningkatkan jumlah gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> yang terabsorpsi oleh MEA. Hal ini ditunjukkan oleh kandungan gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> setelah proses purifikasi yang semakin rendah.

Meningkatnya konsentrasi MEA menyebabkan laju reaksi dari reaksi absorben MEA dan gas terlarut yang telah terabsorpsi meningkat, sehingga jumlah gas terlarut yang bereaksi meningkat dan kandungan gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> dalam biogas hasil purifikasi menurun. Hasil penelitian ini, kadar H<sub>2</sub>S dapat diturunkan dari kadar gas awal 1100 ppm menjadi 0 – 500 ppm, bergantung kepada konsentrasi MEA yang digunakan. Hasil ini juga menunjukkan bahwa penggunaan MEA sebagai absorben kimia mampu menghasilkan biogas yang memenuhi kriteria sebagai bahan bakar *internal combustion engine* pada PLTBg, dimana diperlukan biogas dengan kadar H<sub>2</sub>S kurang dari 500 ppm (<500 ppm) agar dapat dimanfaatkan ke proses pembakaran tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh [6] membuktikan hal yang sama, dimana pada penelitian tersebut, proses purifikasi gas H<sub>2</sub>S dari biogas mampu mengurangi kandungan H<sub>2</sub>S dari 790 ppm ke 90 ppm, dengan menggunakan konsentrasi MEA sebesar 10% (v/v).

### 3.2 Efisiensi Penyisihan Gas H<sub>2</sub>S

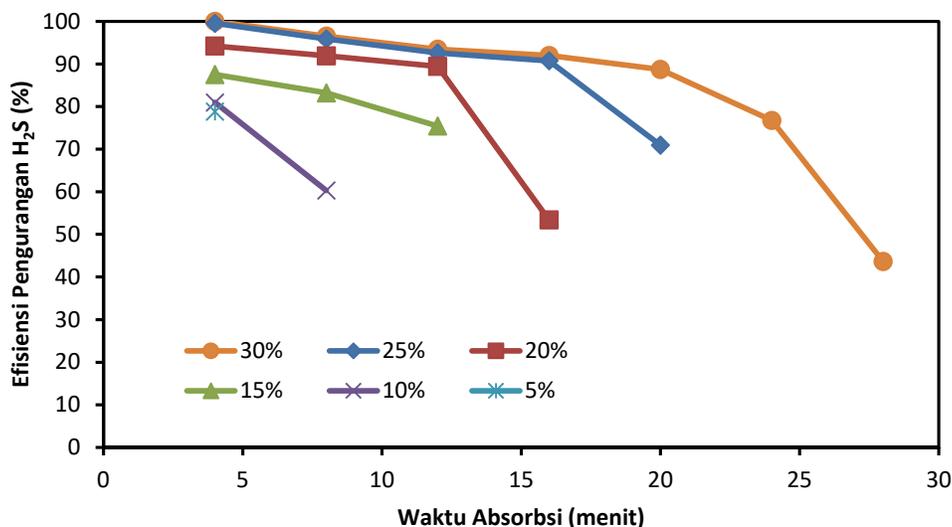
Pada penelitian ini, absorpsi dilakukan hingga mencapai titik jenuh dari absorben. Data waktu jenuh dari masing-masing konsentrasi ini dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai penentuan waktu tinggal pada perancangan *scale-up* dari kolom absorpsi gas H<sub>2</sub>S dari biogas POME.

Sementara itu, efisiensi penyisihan gas H<sub>2</sub>S dari biogas digunakan untuk mengevaluasi seberapa besar kemampuan absorben MEA dalam mengabsorpsi gas H<sub>2</sub>S. Efisiensi penyisihan dilakukan berdasarkan kandungan H<sub>2</sub>S di dalam biogas sebelum dan sesudah dilakukan proses penyisihan gas H<sub>2</sub>S menggunakan metode absorpsi dengan variabel konsentrasi absorben MEA. Persamaan yang digunakan untuk penentuan efisiensi penyisihan gas H<sub>2</sub>S adalah persamaan 4.

$$\eta_{H_2S} = \frac{y_{H_2S,in} - y_{H_2S,out}}{y_{H_2S,in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

Dimana  $\eta_{H_2S}$  merupakan efisiensi penyisihan gas H<sub>2</sub>S,  $y_{H_2S,in}$  merupakan kadar H<sub>2</sub>S di dalam biogas sebelum proses purifikasi, dan  $y_{H_2S,out}$  merupakan kadar H<sub>2</sub>S di dalam biogas setelah proses purifikasi.

Hubungan antara efisiensi penyisihan gas H<sub>2</sub>S dan waktu purifikasi hingga absorben mencapai titik jenuh pada setiap variabel konsentrasi MEA ditampilkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Hubungan Efisiensi Pengurangan Gas H<sub>2</sub>S dan Waktu Absorpsi pada masing-masing Variasi Konsentrasi MEA

Gambar 4 menunjukkan bahwa tingkat efisiensi penyisihan gas H<sub>2</sub>S dari biogas yang dilakukan dengan menggunakan metode absorpsi cukup beragam (53,4 – 100%). Tingkat efisiensi tertinggi (100%) mampu dicapai pada proses absorpsi dengan variasi konsentrasi MEA 25% dan waktu purifikasi 4 menit. Efisiensi penyisihan juga meningkat seiring dengan meningkatnya variasi konsentrasi MEA.

Hasil penelitian yang didapat selanjutnya dibandingkan dengan penelitian-penelitian terkait penggunaan MEA pada proses penyisihan gas H<sub>2</sub>S yang telah dilakukan sebelumnya, dan juga dengan laporan Akkarawatkhoosith dkk. (2019) yang menggunakan sumber biogas yang sama dari limbah POME di PT. Karya Mas Energi tetapi menggunakan absorben yang berbeda [3]. Studi banding ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Studi Banding Penelitian

Referensi	[7]	[9]	[6]	[8]	[3]	Penelitian ini
Absorben / Adsorben	MEA 0,1 M, NaOH 0,1 M, Ca(OH) <sub>2</sub> 0,1 M	MEA (5 %, 10%, 25 %, 50%, 75 %, 100 %)	MEA 10 % v/v , NaOH 1,5 M, Ca(OH) <sub>2</sub> 1 M	Iron Rust, MEA (1 M, 1,5 M, 2 M, 2,5 M, 3 M), Silica Gel.	ZnO (10 %, 20 %, 30 % w/w)	MEA (5 %, 10%, 15 %, 20%, 25 %, 30 % v/v)
Apparatus	Kolom Packing berbahan Pyrex Glass (H = 1 m, D 0,07 m)	Gas Bubbler (V = 0,5 L)	Kolom Packing (V = 1,2 L),	Kolom Packing	Fixed Bed Reactor berbahan PVC (ID = 1,5 in , H = 0,12 m)	Bubble Column berbahan (ID 2,5 in, H = 30 cm)
Tipe Proses	Kontinu	Semi-batch	Semi-batch	Semi-batch	Semi-batch	Semi-batch
Kondisi	T : 30°C	Laju alir gas : 0,1 L/min	Laju alir gas : 2 L /min	Laju alir gas : 0,04 kg/s	Laju alir gas : 0,025 L/s	Laju alir gas : 40 L/min
Operasi	P : 0,987 atm	T : 25 °C P : 1 atm	Temperatur Ruang P : 1,033 bar	Temperatur dan Tekanan Ruang	Temperatur & Tekanan Ruang	
Komposisi Gas Umpan	CH <sub>4</sub> : 53,1 % CO <sub>2</sub> : 46,8 % H <sub>2</sub> S : 2150 ppm	CH <sub>4</sub> : 68 % CO <sub>2</sub> : 31,5 % H <sub>2</sub> S : 5000 ppm	CH <sub>4</sub> : 56,85 % CO <sub>2</sub> : 24,41 % H <sub>2</sub> S : 790 ppm	CH <sub>4</sub> : 59,9 – 62 % CO <sub>2</sub> : 36,1 – 37,9 % H <sub>2</sub> S : 0,8 – 0,9 %	H <sub>2</sub> S : 800 ppm	CH <sub>4</sub> : 41,2 % CO <sub>2</sub> : 2,8 % H <sub>2</sub> S : 1100 ppm
Kemurnian Gas Hasil Purifikasi (H <sub>2</sub> S terendah, CH <sub>4</sub> tertinggi)	H <sub>2</sub> S : 0 ppm CH <sub>4</sub> : 98 %	H <sub>2</sub> S : 0 ppm	H <sub>2</sub> S : 90 ppm CH <sub>4</sub> : 70,89 %	H <sub>2</sub> S : 0,04 – 0,07 % CH <sub>4</sub> : 90,4 – 92,1%	H <sub>2</sub> S : 0 ppm	H <sub>2</sub> S : 0 ppm CH <sub>4</sub> : 83,7 %
Regenerasi / Recycle	Recycle tanpa dan dengan regenerasi absorben	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
Hasil Analisis	Waktu jenuh MEA lebih lama dibandingkan absorben	Peningkatan konsentrasi MEA menghasilkan	Penggunaan MEA menghasilkan gas dengan kandungan H <sub>2</sub> S	Peningkatan konsentrasi MEA menghasilkan	Penggunaan ZnO 20% menghasilkan proses adsorbsi	Peningkatan variasi konsentrasi MEA

lain dengan konsentrasi yang sama. Penambahan adsorben baru menghasilkan gas dengan kandungan CH <sub>4</sub> yang lebih tinggi.	gas dengan kandungan H <sub>2</sub> S lebih rendah. Waktu jenuh dari adsorben meningkat dengan peningkatan konsentrasi MEA.	tertinggi, namun memiliki kandungan CH <sub>4</sub> tertinggi	gas dengan kandungan H <sub>2</sub> S lebih rendah. Waktu jenuh dari adsorben tidak berpengaruh dengan peningkatan konsentrasi MEA.	yang lebih baik (ditinjau dari kandungan H <sub>2</sub> S akhir gas dan waktu jenuh adsorben).	menghasilkan gas dengan kandungan H <sub>2</sub> S lebih rendah dan waktu jenuh dari adsorben yang lebih lama.
--	---	---	---	--	--

---

Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil penelitian ini sejalan atau bahkan lebih baik dibandingkan dengan hasil penelitian lainnya yang menggunakan MEA dalam proses absorpsi kandungan H<sub>2</sub>S dari biogas. Namun, jika dilakukan tinjauan terhadap kandungan CH<sub>4</sub> setelah proses purifikasi menunjukkan bahwa hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pramuang (2020) dan Srichat dkk. (2017) [7-8]. Hal ini terjadi dikarenakan kedua penelitian tersebut melakukan proses purifikasi yang sedikit berbeda dari penelitian ini, seperti proses absorpsi yang dilakukan secara kontinu, penambahan *fresh feed* MEA pada saat proses absorpsi berlangsung, ataupun proses absorpsi dilakukan menggunakan 3 jenis media penyisihan H<sub>2</sub>S dimana biogas dialirkan secara paralel ke dalam 3 kolom *packing* berisikan 3 jenis absorben/adsorben yang berbeda-beda. Terlepas dari hal tersebut, penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi MEA memiliki pengaruh terhadap penyisihan gas H<sub>2</sub>S di dalam proses purifikasi biogas, dimana semakin tinggi penggunaan variasi konsentrasi MEA, akan menghasilkan biogas dengan kandungan gas H<sub>2</sub>S yang lebih rendah.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk melihat kemampuan MEA dalam menyisihkan gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> di dalam biogas. Hasil purifikasi menunjukkan bahwa MEA mampu mengabsorpsi gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> di dalam biogas secara bersamaan. Ahmad dkk. (2019) melakukan proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan variasi laju alir biogas 5, 10, dan 15 L/menit, serta laju alir MEA 10, 20, dan 30 L/menit [2]. Dari penelitian tersebut, didapatkan variasi laju alir terbaik dengan efisiensi proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> sebesar 77,2% pada variasi laju alir biogas 5 L/menit dan laju alir MEA 30 L/menit. Penelitian mengenai penggunaan kolom absorpsi selain *packing column absorber* untuk proses absorpsi juga telah dilakukan. Tippayawong dan Thanompong (2010) melakukan penelitian proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> menggunakan MEA sebagai absorben di dalam *microtube reactor*, pada kondisi 1 bar [10]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses absorpsi dapat dilakukan menggunakan *microtube reactor*, menghasilkan biogas dengan kandungan metana hingga 98,9 %. Dari uraian penelitian tersebut, terlihat bahwa penelitian yang telah dilakukan sebagian besar menitikberatkan kepada proses penghilangan gas CO<sub>2</sub> dalam biogas, sementara pengaruh gas H<sub>2</sub>S di dalam biogas lebih besar dibandingkan gas CO<sub>2</sub>.

#### 4. KESIMPULAN

Pengaruh konsentrasi *monoethanol amine* terhadap purifikasi biogas menyebabkan konsentrasi H<sub>2</sub>S dalam biogas hasil purifikasi semakin rendah seiring dengan meningkatnya konsentrasi *monoethanol amine* yang digunakan dan kondisi terbaik berada pada variabel konsentrasi *monoethanolamine* 30% dengan konsentrasi gas H<sub>2</sub>S hasil purifikasi selama 4 menit sebesar 0 ppm serta efisiensi proses purifikasi biogas untuk masing-masing konsentrasi *monoethanolamine* 30%, 25%, 20%, 15%, 10% dan 5% didapatkan berurutan sebagai berikut 100%, 99,5%, 94,3%, 88,2%, 82% dan 79,5%.

#### REFERENSI

- [1] Abdeen, F. R. H., Mel, M., Jami, M. S., Ihsan, S. I., dan Ismail, A. F. (2016). *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24(6), 693–702. DOI: 10.1016/j.cjche.2016.05.006
- [2] Ahmad A, Bahrudin, Andrio D. dan Hamzah. A. (2019), The Performance of a Pilot-Scale Anaerobic Hybrid Bioreactor on Palm Oil Mill Effluent Treatment, *Reaktor*, 19(3), 111-116
- [3] Akkarawatkhosith, N., Kaewchada, A., dan Jaree, A. (2019). *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 98, 113–123. DOI: 10.1016/j.jtice.2018.05.002
- [4] Beil, M., dan Beyrich, W. (2013). *Biogas upgrading to biomethane. The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. DOI: 10.1533/9780857097415.3.342
- [5] Huertas, J. I., Giraldo, N., dan Izquierdo, S. (2020). *Removal of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> from Biogas by Amine Absorption*. Diambil dari [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com) (Diakses pada 29 Februari 2020)
- [6] Kulkarni, M. B. dan Ghanegaonkar, P. M. (2019). *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(2), 155–166. DOI: 10.22034/gjesm.2019.02.02
- [7] Manullang, F., Ahmad, A., dan Andrio, D. (2019) *The Effects of Zn/Natural Zeolite Ratio and Adsorbent Calcination on H<sub>2</sub>S Adsorption in Biogas on the Processing of Palm Oil Mill Effluent (POME)*. *Journal of Physics: IOP Publishing* DOI: 10.1088/1742-6596/1351/1/0121052.
- [8] Pramuang, S. (2020). *SNRU Journal of Science and Technology*, 12 (3), 207 - 212
- [9] Srichat, A., Suntivarakorn, R., dan Kamwilaisak, K. (2017). *Energy Procedia*, 138, 441–445. DOI: 10.1016/j.egypro.2017. 10.196
- [10] Tippayawong, N., dan Thanompong chart, P. (2010). *Energy* 35. DOI: 10.1016/j.energy.2010.04. 0