

CO₂ Gas Absorption in Biogas Using Absorber Bubble Column with Variation of NaOH Absorbent Concentration and Sparger Forms

Elida Purba & Cecellia Nia Rehmalem Barutu[✉]

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro Telp. (0721)701609 Bandar Lampung, 35141, Indonesia

Info Artikel

Diterima Maret 2021

Disetujui April 2021

Dipublikasikan Mei 2021

Keywords:

Absorpsi gas karbondioksida

Bentuk-bentuk sparger

Biogas

Bubble column

Konsentrasi absorbent

Abstrak

Biogas terdiri dari gas-gas CH₄ 50–70%, CO₂ 25–45%, dan sejumlah kecil H₂, N₂, dan H₂S. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan menghilangkan kandungan karbondioksida sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar. Penelitian ini membahas tentang proses pemurnian biogas dengan menggunakan larutan NaOH sebagai absorbent dengan tujuan menentukan pengaruh konsentrasi NaOH dan bentuk *sparger* terhadap penyerapan kandungan CO₂ pada biogas menggunakan *bubble column*. Larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 2,75 M; 3 M; dan 3,25 M sebanyak 2 L dimasukkan ke dalam kolom dengan diameter 3 in. Biogas dan absorbent dikontakkan secara berlawanan arah dengan laju alir biogas sebesar 1 liter/menit. Variasi bentuk *sparger* yang digunakan yaitu jenis *pipes* dan *rings*. Analisis sampel dilakukan dengan *Gas Chromatography* 2014 AT (SHIMADZU corp 08128). Dari hasil penelitian diperoleh bahwa semakin tinggi konsentrasi absorbent semakin tinggi persentase penyerapan CO₂, namun tidak dapat diketahui bentuk *sparger* terbaik karena perbedaan jumlah lubang dan panjang *sparger*. Persentase penyerapan CO₂ yang paling optimum yaitu 98,211% dengan variasi konsentrasi 3,25 M dan *sparger* dengan bentuk *pipes*.

Abstract

Biogas consists of CH₄ 50-70%, CO₂ 25-45%, and a small amount of H₂, N₂, and H₂S. The quality of the biogas can be improved by removing the carbon dioxide content so that the gas can be used for fuel. This research discusses the biogas purification process using NaOH solution as the absorbent to determine the effect of the concentration of NaOH and the shape of the sparger on the CO₂ absorption process in biogas using a bubble column. NaOH solution with a concentration of 2,75 M; 3 M; 3,25 M of 2 liters was inserted into the column with a diameter of 3 in. The biogas and absorbent are contacted in the opposite direction with a biogas flow rate of 1 liter/minute. Variations in the shape of the sparger used are the types of pipes and rings. Sample analysis was performed with Gas Chromatography 2014 AT (SHIMADZU corp 08128). From the research results, the higher the absorbent concentration the higher the percentage of CO₂ absorption, but it is not known the best sparger design because of the difference in the number of holes and the length of the sparger. The most optimum percentage of CO₂ absorption is 98.211% with a variation of the concentration of 3.25 M and a sparger with a pipe shape.

© 2021 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Gedung L Teknik Kimia Universitas Lampung, BandarLampung. 35141.
E-mail: cecelliania@gmail.com

Pendahuluan

Biogas merupakan salah satu bahan bakar non fosil bersifat dapat diperbaharui (*renewable*) yang dapat dijadikan bioenergi alternatif. Biogas diperoleh dari proses fermentasi biomassa yang mengandung karbohidrat dengan bantuan mikroorganisme (Harahap, *et al.*, 1980). Produk biogas terdiri dari (CH₄) metana 50 – 70%, (CO₂) karbondioksida 25 – 45%, dan sejumlah kecil (H₂) hidrogen, (N₂) nitrogen, dan (H₂S) hidrogen sulfida (Nadliriyah & Triwikantoro, 2014).

Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu: menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida (CO₂). Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi. Parameter yang kedua adalah menghilangkan kandungan karbon dioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalan biogas serta dapat menimbulkan korosif (Anggito, 2014)

Pengurangan kandungan karbon dioksida (CO₂) yang terdapat pada biogas dapat dilakukan dengan absorpsi. Absorpsi merupakan proses pemisahan dengan mengkontakkan campuran gas dengan cairan penyerapnya yang bertujuan untuk menghilangkan salah satu komponen gas. Absorpsi kimia merupakan salah satu cara untuk mengurangi kandungan CO₂ dalam biogas. Pada absorpsi kimia, reaksi kimia yang terjadi dapat mempercepat laju absorpsi, dan meningkatkan kapasitas pelarut untuk melarutkan komponen terlarut. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas CO₂ dengan larutan Na₂CO₃, NaOH, K₂CO₃. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi proses absorpsi antara lain: jenis *packing*, laju alir fluida, temperatur, tekanan, luas permukaan kontak, konsentrasi pelarut, dan jenis zat yang diabsorpsi (Ningsih, *et al.*, 2017).

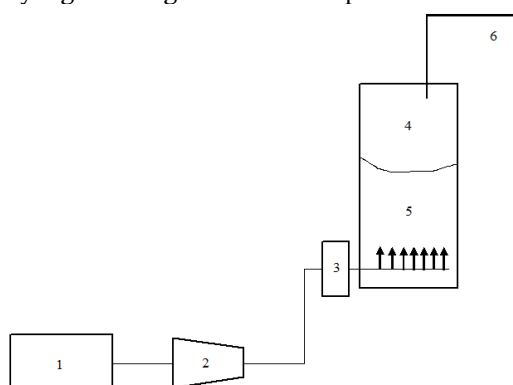
Absorpsi kimia dapat dilakukan dengan menggunakan menara absorpsi jenis *bubble column*. Reaktor ini memiliki keuntungan selama proses operasi dan perawatan seperti laju transfer panas dan massa yang tinggi, kepadatan yang tinggi, dan rendahnya harga operasi dan perawatan reaktor. *Sparger* adalah aksesoris penting untuk reaktor *bubble column*, karena *sparger* berfungsi untuk distribusi ukuran gelembung dan kenaikan kecepatan. *Sparger* terletak di bagian bawah reaktor dan berperan untuk memompa udara serta mencegah pembentukan gelembung oksigen (Meilany & Setiadi, 2008)

Untuk mengurangi kadar CO₂ dalam biogas, bisa dilakukan dengan melewati biogas ke dalam larutan NaOH sehingga terjadi proses Absorpsi. 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 (Maarif & Arif, 2009). Pada penelitian ini digunakan absorben NaOH dengan variasi 2,75 M; 3 M; dan 3,25 M serta bentuk *sparger pipes* dan *rings* dengan tujuan menentukan pengaruh konsentrasi NaOH dan bentuk *sparger* terhadap penyerapan kandungan CO₂ pada biogas serta menetapkan konsentrasi larutan NaOH dan bentuk *sparger* yang dibutuhkan untuk mengabsorpsi CO₂ dengan hasil terbaik.

Metode

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kolom absorpsi dengan diameter 3 in dan tinggi kolom 127 cm, *sparger*, kantong penampung biogas *input*, *flowmeter* gas, aerator, kantong penampung biogas *output*, gelas kimia, serta *gas chromatography* untuk analisis, sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah NaOH padat yang dilarutkan dengan konsentrasi 2,75; 3; dan 3,25 M serta biogas hasil kotoran sapi dari Desa Kediri, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu, Lampung.

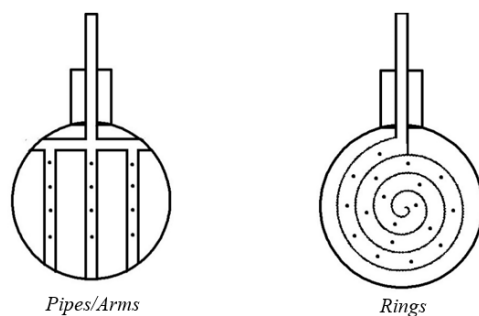
Skema rangkaian alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pada Gambar 1:



Gambar 1. Skema rangkaian alat absorpsi CO₂

Keterangan:

1. Biogas *input*
2. Aerator
3. *Flowmeter* gas
4. Kolom absorpsi
5. Larutan NaOH
6. Biogas *output*
7. *Sparger*



Gambar 2. Skema bentuk *sparger pipes* dan *rings* (Kulkarni, 2010)

Pembuatan Larutan Induk NaOH

Pembuatan larutan induk dilakukan dengan menyiapkan akuades dengan volume sebanyak 2 liter kemudian menimbang massa NaOH padat sebanyak 220, 240, dan 260 gram. NaOH yang telah ditimbang kemudian masing-masing dicampurkan ke dalam akuades dan diaduk hingga larutan benar-benar homogen.

Operasi Absorpsi

Operasi absorpsi diawali dengan perangkaian alat seperti skema yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sebelum melakukan proses absorpsi, biogas yang belum melalui proses absorpsi dianalisis terlebih dahulu komposisi gas yang ada di dalamnya. Kemudian larutan NaOH 2,75; 3; dan 3,25 M yang telah disiapkan sebelumnya dimasukkan ke dalam kolom absorpsi yang telah dirangkai. Biogas kemudian dialirkan ke kolom absorpsi dengan laju alir gas sebesar 1 liter/menit. Setelah gelembung gas melewati larutan absorpsi kemudian ditangkap menggunakan kantong udara untuk dianalisis dengan *Gas Chromatography (GC) 2014 – AT (SHIMADZU Corp 08128)*. Operasi absorpsi ini dilakukan dengan langkah yang sama pada *sparger* bentuk *pipes* dan *rings*.

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Penyerapan CO₂

Penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa data yang dapat diolah dan dibahas. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

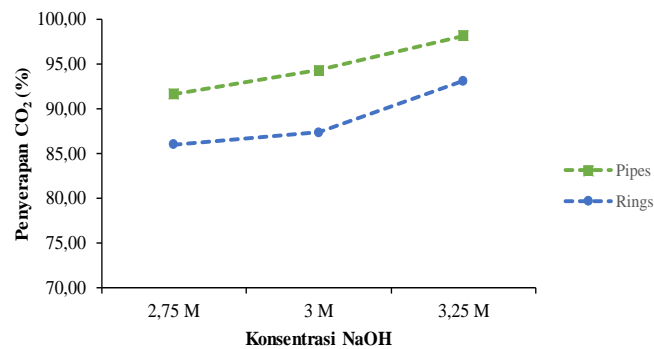
Tabel 1. Persentase penyerapan CO₂ dengan variasi konsentrasi NaOH

No	Konsentrasi Absorben	<i>Pipes Sparger</i>	<i>Rings Sparger</i>
1	2,75 M	91,685%	86,000%
2	3 M	94,349%	87,335%
3	3,25 M	98,211%	93,112%

Persentase penyerapan CO₂ meningkat hingga mencapai penyerapan paling tinggi yaitu sebesar 98,211% pada *pipes sparger* dan 93,211% pada *rings sparger*. Selain dari tabel tersebut, hasil pengolahan dapat diamati lebih jelas pada Gambar 3.

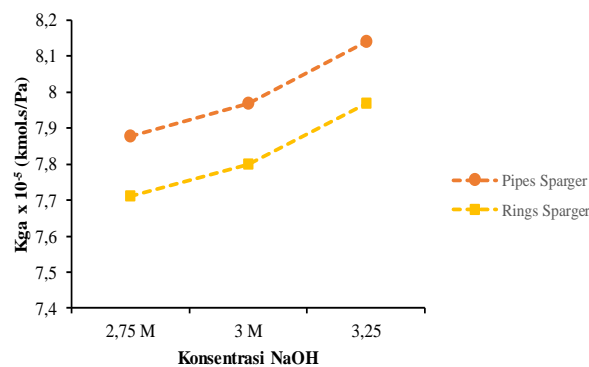
Gambar 3 menunjukkan hubungan konsentrasi NaOH terhadap penyerapan CO₂ dalam biogas. Dari grafik tersebut diketahui bahwa persentase penyerapan CO₂ dalam biogas cenderung meningkat selaras dengan peningkatan konsentrasi absorben NaOH. Gambar tersebut menunjukkan bahwa secara keseluruhan penyerapan gas CO₂ tertinggi terjadi pada absorpsi dengan larutan NaOH 3,25 M. Variasi konsentrasi larutan NaOH akan memengaruhi jumlah CO₂ yang terserap. Semakin besar konsentrasi larutan NaOH, semakin banyak CO₂ pada biogas yang terabsorpsi oleh absorben. Secara teori hal ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah molekul NaOH seiring dengan pertambahan konsentrasinya,

sehingga semakin banyak pula molekul absorben yang dikontakkan dengan molekul CO₂ (Kartohardjono, *et al.*, 2011).



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap persentase penyerapan CO₂ (sumber : dokumen pribadi)

Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Hermanto & Susanty (2012) tentang pengaruh konsentrasi NaOH dan laju alir gas pada pemurnian biogas. Pada penelitian tersebut didapatkan kadar CO₂ yang terdapat dalam biogas hasil pemurnian adalah 792,67 ppm yang berarti dapat menurunkan kadar CO₂ sebesar 71,9% dengan variasi konsentrasi NaOH sebesar 3 M. Berdasarkan hasil yang didapat, peneliti menyimpulkan bahwa konsentrasi NaOH berbanding terbalik terhadap konsentrasi CO₂ dalam biogas hasil pemurnian.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap nilai K_g

Gambar 4 menunjukkan pengaruh konsentrasi NaOH terhadap nilai koefisien transfer massa. Semakin tinggi konsentrasi NaOH, semakin besar pula nilai koefisien transfer massanya. K_g adalah koefisien transfer massa keseluruhan pada sisi gas, berikut persamaan koefisien transfer massa (Javed, *et al.*, 2006):

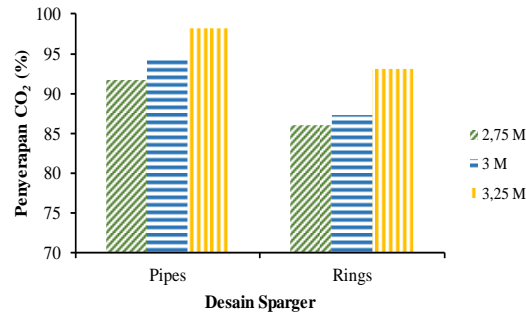
$$k_g = \frac{D_G \cdot Sh_L}{d_p} \quad \dots (1)$$

Semakin tinggi konsentrasi NaOH, semakin dekat pula jarak antar molekul NaOH sehingga peluang terjadi tumbukan antara molekul NaOH dan CO₂ semakin besar dan kontak fase antara gas dengan cairan semakin baik. Dengan demikian jumlah gas yang dapat berpindah dari fase gas yang dapat berpindah dari fase gas menuju fase cair juga semakin besar.

Hal serupa ditunjukkan pula pada penelitian yang dilakukan oleh Srihari, *et al.*, (2012) yang melakukan absorpsi CO₂ dengan menggunakan monoethanolamine (MEA). Pada penelitian ini didapatkan hubungan antara konsentrasi absorben MEA dan nilai koefisien perpindahan *volumetric overall* fase gas. Peneliti menyimpulkan bahwa dengan semakin tinggi konsentrasi MEA yang digunakan maka semakin banyak pula jumlah MEA yang dapat menyerap gas CO₂ sehingga gas CO₂ yang terserap semakin banyak dan perpindahan massa yang terjadi juga semakin besar.

Penyerapan CO₂ dalam Biogas dengan *Pipes Sparger* dan *Rings Sparger*

Penyerapan CO₂ dalam Biogas dengan *Pipes Sparger* dan *Rings Sparger* ditampilkan pada Gambar 5.

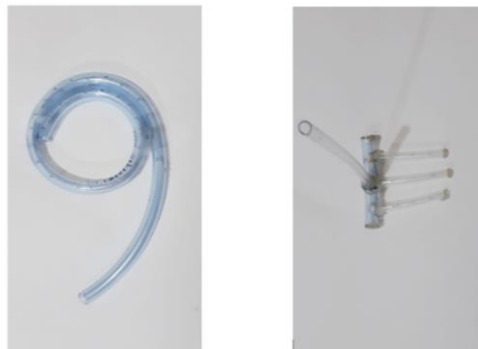


Gambar 5. Penyerapan CO₂ dalam Biogas dengan *Pipes Sparger* dan *Rings Sparger*

Gambar 5 menunjukkan penyerapan CO₂ dalam biogas dengan *pipes sparger* dan *rings sparger*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa persentase penyerapan CO₂ dengan bentuk *pipes sparger* lebih tinggi bila dibandingkan dengan penyerapan dengan bentuk *rings sparger*.

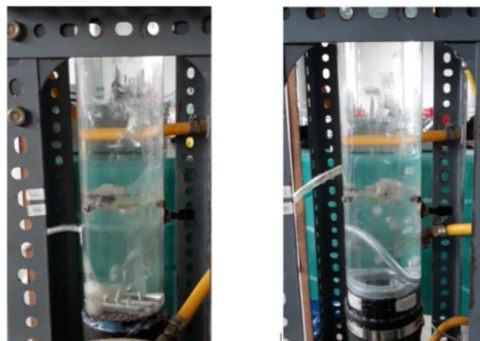
Pada penelitian ini tidak dapat diketahui pengaruh bentuk *sparger* terhadap persentase penyerapan gas CO₂ karena ukuran panjang dan jumlah lubang *sparger* yang digunakan dalam penelitian ini tidak sama, sehingga tidak dapat ditentukan apakah *pipes sparger* atau *rings sparger* yang dapat lebih baik digunakan dalam proses absorpsi biogas.

Rings sparger memiliki 1 jalur distribusi gas dengan ukuran yang lebih panjang dibandingkan dengan *pipes sparger* yaitu 29 cm dengan jumlah lubang *sparger* sebanyak 28 buah, sedangkan *pipes sparger* memiliki 3 jalur distribusi gas dengan ukuran tiap jalurnya yaitu 5 cm dengan jumlah lubang sebanyak 4 buah sehingga total lubang *sparger* pada *pipes sparger* adalah 12 buah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk *sparger* (a) *rings* dan (b) *pipes*

Sesuai dengan hasil pengamatan selama berlangsungnya penelitian, *pipes sparger* dapat melakukan distribusi gas dengan cukup baik. Biogas keluar dari *pipes sparger* hampir merata pada setiap lubang bila dibandingkan dengan *rings sparger*. Pada *rings sparger*, biogas keluar hanya dari 2 – 3 lubang pertama pada *sparger* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.



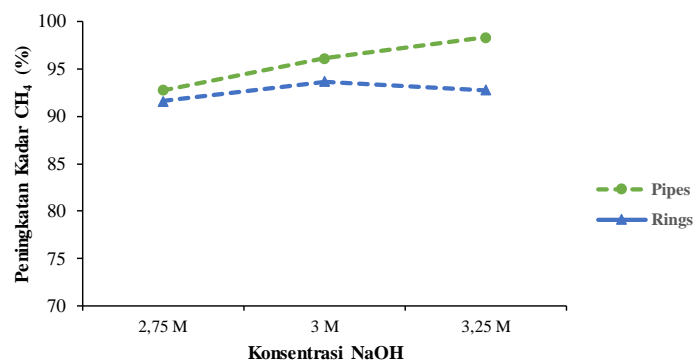
Gambar 7. Gelembung yang dihasilkan dari *sparger* (a) *pipes* dan (b) *rings*

Biogas yang diumpangkan dari dasar kolom absorpsi membentuk aliran gelembung udara yang naik menuju ke permukaan absorben. Hal ini diakibatkan karena massa jenis biogas lebih rendah daripada massa jenis absorben, adanya aliran biogas yang terus-menerus, serta sifat gas yang bergerak dari area yang

bertekanan tinggi ke area yang bertekanan rendah. Gelembung–gelembung inilah yang akan memberikan kontak dengan absorben sehingga terjadi proses absorpsi (Apriandi, *et al.*, 2017). Pada penelitian sebelumnya Purba, *et al.*, 2019 melakukan penelitian absorpsi biogas dengan menggunakan absorber NaOH dan *sparger* dengan 4 lubang yang menghasilkan persentase penyerapan gas CO₂ mencapai 90,66%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *sparger* jenis *pipes* dan *rings* pada penelitian ini menghasilkan penyerapan CO₂ yang lebih maksimal yaitu mencapai 98,211%.

Pengaruh Penyerapan CO₂ Terhadap Kadar CH₄

Pengaruh penyerapan CO₂ terhadap kadar CH₄ ditampilkan pada gambar berikut ini :



Gambar 8. Pengaruh penyerapan CO₂ terhadap kadar CH₄ (sumber : dokumen pribadi)

Gambar 8 menunjukkan hubungan konsentrasi absorben dan bentuk *sparger* terhadap perubahan kadar CH₄ pada biogas. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa persentase CH₄ output mengalami peningkatan. Konsentrasi NaOH pada *pipes sparger* dan *rings sparger* mampu menurunkan kandungan CO₂ pada biogas sehingga menyebabkan peningkatan kandungan CH₄ output dari CH₄ input sebelum biogas diabsorpsi.

Peningkatan CH₄ dikarenakan banyaknya penurunan kadar CO₂, bukan karena reaksi langsung dari CH₄ dengan larutan NaOH. Biogas yang telah dikontakkan dengan absorben akan mengakibatkan penurunan kadar CO₂ dalam biogas sehingga kadar CH₄ menjadi naik. CO₂ akan bereaksi dengan larutan penyerap sehingga persentasenya akan turun dan kadar CH₄ akan meningkat.

Semakin banyak gas – gas yang terserap, maka kandungan CH₄ dalam biogas juga akan semakin meningkat. Namun dalam penelitian ini dapat diketahui bahwa banyaknya peningkatan kadar CH₄ tidak sesuai dengan banyaknya penurunan kadar CO₂. Pada *rings sparger* dengan variasi konsentrasi NaOH 3,25 M, kadar CH₄ mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan oleh komposisi awal biogas yang banyak mengandung N₂. Tingginya kadar N₂ dalam biogas menunjukkan bahwa banyaknya udara dari lingkungan sekitar yang masuk ke dalam sample biogas. Hal tersebut biasanya terjadi karena *human error* atau kesalahan pada saat pengambilan sample sehingga menyebabkan udara di lingkungan sekitar dapat masuk ke dalam biogas.

Hasil terbaik untuk peningkatan kadar CH₄ pada biogas diperoleh dengan konsentrasi absorben 3,25 M pada *pipes sparger* sebesar 98,33. Penelitian yang dilakukan oleh Purba, *et al.*, (2019) juga menunjukkan bahwa larutan NaOH dapat meningkatkan kemurnian CH₄ yang terdapat dalam biogas dengan rata-rata peningkatan kemurnian CH₄ sebesar 87,76%.

Dalam penelitian ini terbukti bahwa peningkatan konsentrasi NaOH dan perubahan bentuk *sparger* berpengaruh dalam penyerapan gas CO₂ sehingga persentase CH₄ yang didapatkan meningkat. Oleh karena itu, terbukti bahwa larutan NaOH dapat digunakan sebagai absorben untuk menyerap CO₂ yang terdapat dalam biogas dimana NaOH akan mengikat gas CO₂ sehingga dapat melakukan pemurnian biogas untuk meningkatkan kadar CH₄.

Simpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa persentase penyerapan CO₂ meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi absorben, tidak dapat disimpulkan pengaruh bentuk *sparger* terhadap penyerapan CO₂ karena panjang dan jumlah lubang *sparger* pada kedua bentuk *sparger* yang digunakan tidak sama, serta konsentrasi NaOH terbaik yang dapat melakukan penyerapan CO₂ tertinggi yaitu sebesar 3,25 M dengan persentase penyerapan 98,211 % pada *pipes sparger* dan 93,112 % pada *rings sparger*.

Daftar Pustaka

- Anggito, A.T., 2014, Studi Pembangkitan Energi Listrik Berbasis Biogas, *Laporan proyek akhir tidak dipublikasikan*, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Apriandi M.S, N. Kusuma, I.G.B.W & Widiyarta, I.M. 2017. Pemurnian Biogas Terhadap Gas Pengotor Karbondioksida (CO_2) dengan Teknik Absorpsi Kolom Manometer (Manometry Column). *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 13(1): 55-60.
- Harahap, F., Apandi, M. Ginting, S. 1980. *Teknologi Biogas*. Bandung: ITB Press.
- Hermanto, H. & Susanty, A. 2021. Pengaruh Konsentrasi NAOH dan Laju Alir Gas Pada Proses Pemurnian Biogas, *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 10(1): 88-93.
- Kartohardjono, S., Anggara, Subihi, dan Yuliusman. 2011. *Absorpsi CO_2 Dari Campurannya dengan CH_4 Atau N_2 Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelarut Air*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Javed, K.H., Mahmud, T. & Purba, E. 2006. Enhancement of Mass Transfer in a Spray Tower Using Swirling Gas Flow. *Chemical Engineering Research and Design*, 84(6): 465–477.
- Kulkarni, A.V., 2010. Design of pipe/ring type of sparger for bubble column reactor. *Chemical Engineering & Technology*, 33(6): 1015–1022.
- Maarif, F. & Arif F.J.J. 2009. Absorpsi Gas Karbondioksida (CO_2) dalam Biogas Dengan Larutan NaOH Secara Kontinyu. *Seminar Tugas Akhir* (Unpublished) S1 Jurusan Teknik Kimia UNDIP.
- Meilany, D. & dan Setiadi, T. 2008, Pengaruh pH pada Produksi Asam Organik Volatil dari Stillage Bioetanol Ubi Kayu Secara Anaerobik, *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, ISSN: 1411 – 4216, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang,
- Nadliriyah, N. & Riwikantoro. 2014. Pemurnian Produk Biogas dengan Metode Absorpsi Menggunakan Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(2): 2337-3520.
- Ningsih, E. Sato, A., Nafiuddin, M.A., Putranto, W.S. 4, 2017, Absorpsi Gas CO_2 Berpromotor MSG dalam Larutan K_2CO_3 , *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, ISSN 2085-4218 ITN Malang, 4 Pebruari 2017.
- Purba, E., Ratnasari, P., & Natalie C. 2019. *Pengaruh Diameter Lubang Sparger dan Tinggi Absorben $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan NaOH pada Pemurnian Biogas Menggunakan Absorber Bubble Column*. Lampung: Universitas Lampung.
- Srihari, E., Priambodo, R., Purnomo, S., Sutanto, H., & Widjajanti, W. 201. Absorption CO_2 Gas Using Monoethanolamine, *Jurnal Teknik Kimia*, 6(1).