

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP PRODUKSI BIOGAS PADA REAKTOR ANAEROBIC BUFFLED REACTOR (ABR)

ANALYSIS OF TEMPERATURE INFLUENCE TO THE PRODUCTION OF BIOGAS ON ANAEROBIC BUFFLED REACTOR (ABR)

Mega Anita Sari¹, M. Ramdhan Kirom², Ahmad Qurthobi³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

megaanitasari@student.telkomuniver.ac.id¹, mramdhlankirom@telkomuniversity.ac.id²,
qurthobi@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan dengan memanfaatkan limbah organik. Proses tersebut memiliki tiga proses fermentasi anaerob yaitu hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi hasil produksi biogas adalah pH, dan temperatur. Penelitian ini menggunakan reaktor *anaerobic baffled reactor* (ABR) dengan kapasitas total 15 liter yang terdiri dari 2,5 liter ruang gas, 8 liter substrat nasi dan 4,5 liter bakteri rumen sapi.

Meningkatnya pengkondisian temperatur maka hasil produksi gas juga akan semakin banyak. Volume total gas yang paling optimum dihasilkan pada temperatur 40 °C yaitu 11100 ml. Pada persentase gas hidrogen yang paling maksimum pada temperatur 35 °C yaitu 50,637 % dan jumlah padatan atau partikel terlarut di dalam air 1380 ppm. Temperatur 30 °C yang paling optimum dalam hasil produksi biogas dengan persentase metana 7,669 % menunjukkan pengkondisian mesofilik yang mampu bertahan pada fluktuasi temperatur ± 1 °C.

Kata Kunci: Biomassa, *anaerobic baffled reactor* (ABR), pengkondisian temperatur.

Abstract

Biomass is a renewable energy source by utilizing the organic waste. This process has three anaerobic fermentation processes, such as hydrolysis, acidogenesis, and methanogenesis. Environmental factors which may affect the biogas production are pH and temperature. This research utilized an anaerobic baffled reactor (ABR) with a total capacity of 15 liters consisting of 2.5 liters of a gas chamber, 8 liters of rice substrate, and 4.5 liters of cow rumen bacteria.

The enhancement of temperature conditioning, gas production would also have more result. Volume of total gas which was the most optimum was generated in temperature 40°C was 11100 ml. The most optimum percentage of hydrogen gas in temperature 35 C was 50.637 % and total solids or soluble particles in the water was 1380 ppm. At a temperature of 35oC in the fermentation was 50.63 7% and the number of solids or particles dissolved in the water was 1380 ppm. The temperature of 30oC was the optimum temperature for biogas production with 7.669 % of methane indicated a mesophilic conditioning which as able to withstand the temperature fluctuations ± 1 oC.

Keyword : Biomassa, *anaerobic baffled reactor* (ABR), temperature condition.

1. Pendahuluan

Sampah organik rumah tangga dapat dijadikan sumber energi terbarukan dengan proses biogas, biogas dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan akibat sampah organik rumah tangga, proses biogas merupakan cara pengolahan sampah organik dengan fermentasi anaerob yang paling sederhana, ekonomis dan ramah lingkungan yang dapat dimanfaatkan untuk memasak menggunakan kompor gas dan dalam biogas skala besar dapat dimanfaatkan sebagai sumber listrik.

Salah satu proses biogas tersebut menggunakan *anaerobic baffled reactor* (ABR). Reaktor ABR adalah reaktor yang telah dimodifikasi dengan menambahkan sekat-sekat vertikal yang tersusun secara seri di dalam reaktor. Terdapat tiga proses utama fermentasi anaerob pada digester anaerob adalah hidrolisis, asidogenesis, metanogenesis [1]. Diproduksi biogas maksimum terjadi pada saat proses asidogenesis. Hasil produksi biogas yang optimal dapat dilihat persentase kandungan gas, total hasil produksi gas, dan HRT. Untuk mengetahui efisiensi kerja reaktor ABR dapat dilihat dari menurunnya nilai *chemical oxygen demand* (COD) yang menunjukkan adanya proses degradasi substrat menjadi asam organik didalam reaktor [2].

Fermentasi anaerob pada ABR terdapat faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi hasil produksi biogas yaitu temperature dan pH. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Faatihatur substrat yang

digunakan berupa nasi yang sudah basi tanpa ada tambahan bakteri dengan pengkondisian mesofilik 35°C selama 68 jam [3]. Waktu produksi menghasilkan total produksi gas 19,24 liter dengan tekanan gas output maksimum 6 psi [3], dan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wenny Harifadillah substrat yang digunakan berupa kulit pisang tanpa ada tambahan bakteri dengan suhu 25°C menghasilkan persentase gas hidrogen maksimum sebesar 47,470% dan volume total gas 595ml sedangkan pada suhu 28°C menghasilkan volume total maksimum 634ml dan persentase gas hidrogen 18,352% [4]. Penelitian ini dengan menggunakan *anaerobic baffled reactor* (ABR) dengan kondisi mesofilik mengambil rentang temperatur 30°C sampai 40°C untuk mengetahui hasil lebih maksimum dari penelitian Fatihatur pada temperatur 35 °C. Dengan ditambahkan bakteri pada substrat berupa rumen sapi ke dalam reaktor ABR dapat meningkatkan volume gas dan kadar gas yang dihasilkan [5].

2. Dasar Teori

2.1 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Sumber energi biomassa terdiri dari tanaman pertanian, kotoran hewan, limbah organik rumah tangga dari proses pengolahan makanan. Jumlah biomassa di Indonesia sangat berlimpah untuk digunakan sebagai sumber energi [15]. Energi biomassa memiliki potensi untuk dikembangkan karena ketersediaan sangat berlimpah. Energi biomassa sangat menarik karena peluang efisiensi energi dapat terus dikembangkan, proses biomassa membutuhkan biaya yang terjangkau, memiliki dampak positif dengan adanya proses biomassa bisa mengurangi pencemaran lingkungan

2.2 Pencernaan Anaerob

Pencernaan anaerobik yang merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktivitas bakteri metanogenesis dan bakteri asidogenesis pada kondisi tanpa udara. Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran hewan, manusia, dan sampah organik rumah tangga. Pada penelitian ini digunakan substrat organik yang mengandung karbohidrat tinggi yaitu nasi yang telah basi. Adapun komposisi dari 100gram substrat nasi sebagai berikut [14].

Tabel 2.1 Tabel komposisi 100gram substrat nasi

No.	Komposisi	Ukuran
1	Kalori	130 kkal
2	Lemak	0,21 g
3	Pprotein	8,7 g
4	Karbohidrat	28,59 g
5	Zat besi	1,49 mg
6	Kalsium	3 mg

Dapat dilihat pada Gambar 2.1 proses yang terjadi dalam proses degradasi anaerobic adalah:

1. Proses Hidrolisis

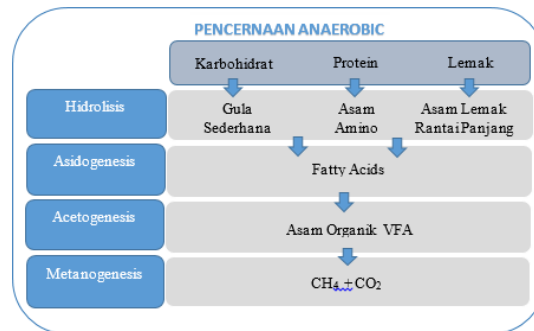
Hidrolisis, pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik mudah larut dan pencernaan bahan organik kompleks menjadi sederhana, perubahan bentuk struktur polimer menjadi monomer. Dalam hal ini karbohidrat yang merupakan polimer akan dihidrolisis oleh mikroorganisme fermentasi atau mikroorganisme hidrolitik menjadi glukosa [13].

2. Proses Asidogenesis

Pada proses asidogenesis, produk dari proses hidrolisis diubah oleh bakteri Asidogenik menjadi substrat metanogenik. Gula sederhana, asam amino dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen (70%) serta menjadi asam lemak yang mudah menguap atau *volatile fatty acid* (VFA) (asam asetat, asam propionat, asam butirat, asam laktat, dll) dan alkohol (30%). Hasil dari proses asidogenesis yang tidak dapat dikonversi langsung menjadi metana oleh bakteri metanogenik akan dikonversi menjadi substrat metanogenik selama asetogenesis. VFA dan alkohol dioksidasi menjadi substrat metanogenik seperti asetat hidrogen dan karbon dioksida. VFA dengan rantai karbon lebih dari dua unit dan alkohol dengan rantai karbon lebih dari satu unit dioksidasi menjadi asetat dan hidrogen [3].

3. Metanogenesis

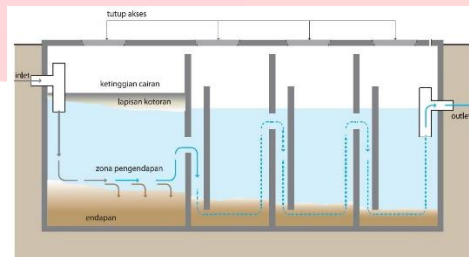
Pada metanogenesis adalah proses dimana bakteri metanogenik akan mengkonversi asam organik VFA menjadi gas metan (CH₄) dan karbondioksida (CO₂) [3].



Gambar 2.1 Alur proses pencernaan anaerobik.

2.4 Anaerobic Buffled Reactor (ABR)

Anaerobic Buffled Reactor (ABR) atau dikenal juga dengan *anaerobic buffled septic tank* (ABST) adalah salah satu reaktor hasil modifikasi *septic tank* dengan penambahan sekat-sekat. ABR merupakan bioreaktor anaerob yang memiliki kompartemen-kompartemen yang dibatasi oleh sekat-sekat vertikal. ABR memiliki banyak variasi kompartemen (2-11 kompartemen). Umumnya ABR memiliki 4 kompartemen yang dirangkai secara seri.



Gambar 2.2 Anaerobic Buffled Reactor dengan 3 penyekat

ABR menggabungkan proses-proses sedimentasi dengan penguraian lumpur secara parsial dalam kompartemen yang sama, walaupun pada dasarnya hanya merupakan suatu kolam sedimentasi tanpa bagian-bagian yang bergerak atau penambahan bahan-bahan kimia. Proses yang terjadi di dalam ruang pertama ABR adalah proses pengendapan dan pada ruang-ruang berikutnya terjadi proses penguraian akibat air limbah kontak dengan mikroorganisme. Keuntungan yang paling signifikan dari sebuah reaktor ABR adalah kemampuannya untuk memisahkan antara proses asidogenesis dan metanogenesis secara longitudinal di bagian bawah reaktor, sehingga memungkinkan tersedianya kondisi pertumbuhan yang sesuai untuk masing-masing kelompok mikroorganisme yang berbeda.

2.5 Parameter yang Mempengaruhi Hasil Biogas

Adapun parameter yang mempengaruhi hasil biogas sebagai berikut.

- Temperatur

Terdapat tiga rentang temperatur yang mempengaruhi produktifitas bakteri anaerob yaitu kondisi psikrofilik temperatur bekerja pada kisaran 0-25 °C [10], mesofilik bekerja pada kisaran 30-55 °C [9] dan termofilik bekerja pada kisaran 50-60 °C [9]. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang di lakukan oleh Faatihatur dengan pengkondisian mesofilik yang optimum pada 35°C, oleh karena itu penelitian ini melakukan pengujian pada temperatur 30°C sampai 40°C untuk mengetahui pada suhu berapa hasil produksi lebih maksimal [3].

- Ph

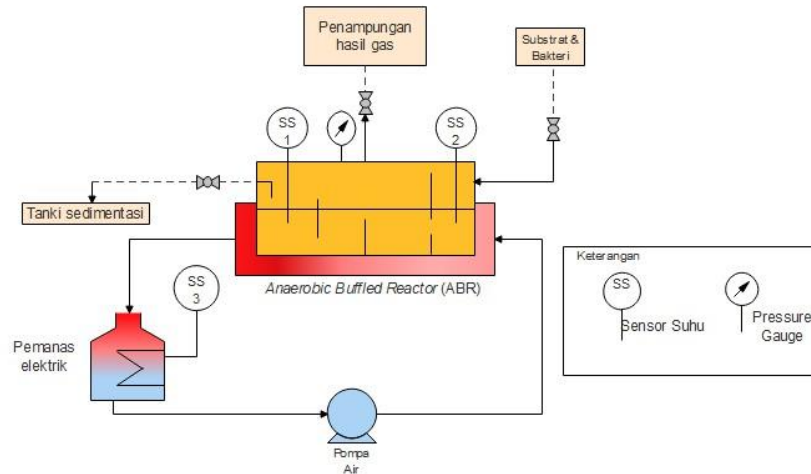
Pada pencernaan anaerobik dengan pengkondisian mesofilik rentang pH optimum adalah 6,5-8 dan proses produksi biogas terhambat pada pH dibawah 6 atau diatas 8,3 [3].

2.6 Pengukuran Volume Biogas

Metode pengukuran volume yang dilakukan berdasarkan sebuah benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya kedalam air atau zat cair lainnya akan mengalami gaya angkat keatas yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkan. Berikut penjelasan pengukuran volume pada penelitian ini adalah pertama masukkan balon berisi gas ke wadah berisi air dan catat posisi awal kenaikan air. Kedua ambil balon berisi gas dan berikan tanda posisi akhir air. Ketiga masukkan air sampai tanda posisi awal air dengan gelas ukur. Jumlah air yang dimasukkan dari posisi akhir sampai posisi awal merupakan jumlah volume balon yang berisi gas [3].

2.7 Pengkondisian Suhu

Prinsip kerja dari pengkondisian suhu dimulai dari pengaturan laju aliran air oleh pompa fluida yang berdaya 125 watt yang telah dirangkai dengan perpipaan kemudian pemanas elektrik aktif untuk memanaskan air dengan 1000 watt yang telah terhubung dengan sensor suhu DS18B20 untuk mengukur suhu pada sistem. Air yang telah dipanaskan mengalir ke selimut air untuk melepaskan panas ke dinding reaktor ABR dimana didalamnya terdapat substrat. Setelah air dipastikan melaju dengan stabil amati suhu substrat dan gas yang terdapat pada reaktor ABR dan juga suhu air yang mengalir pada selimut air atau di luar reaktor ABR. Berikut pengkondisian suhu yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat Gambar 2.3.

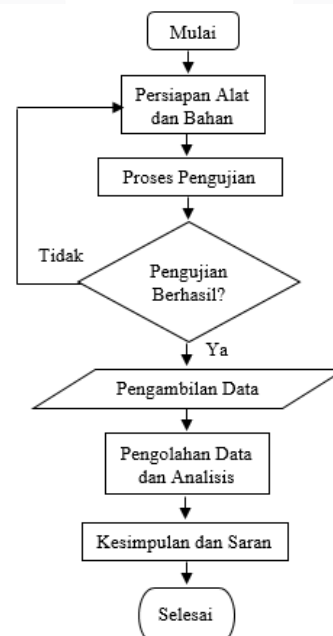


Gambar 2.3 Pengkondisian suhu pada substrat

3. Metode Penelitian

3.1 Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir penelitian:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Desain Reaktor ABR

Reaktor ABR yang digunakan bervolume total 15 liter dengan pembagian volume gas 2,5 liter, volume bakteri 4,5 liter dan volume substrat 8 liter. Reaktor ABR terdiri dari empat kompartemen dan tiga sekat vertikal didalamnya.

3.3 Pengkondisian Substrat dan Bakteri

Pengkondisian substrat yang akan digunakan penelitian ini bervolume 8 liter terdiri dari 5 liter nasi dan 3 liter air. Pertama substrat ditunggu basi selama 2 hari kemudian substrat diblender sampai halus lalu dipanaskan

sampai suhu 45-50°C. Sedangkan pengkondisian bakteri dengan volume 4,5 liter adapun cara memproses sumber bakteri sebanyak ± 5 kg rumen sapi yang ditempatkan di dalam karung kemudian dicelupkan kedalam air 4 liter yang sudah di panaskan pada suhu 45-50 °C lalu tambahkan air gula sebanyak 0,5 liter sebagai nutrisi untuk bakteri setelah itu diamkan selama 3-4 hari di dalam wadah yang tertutup.

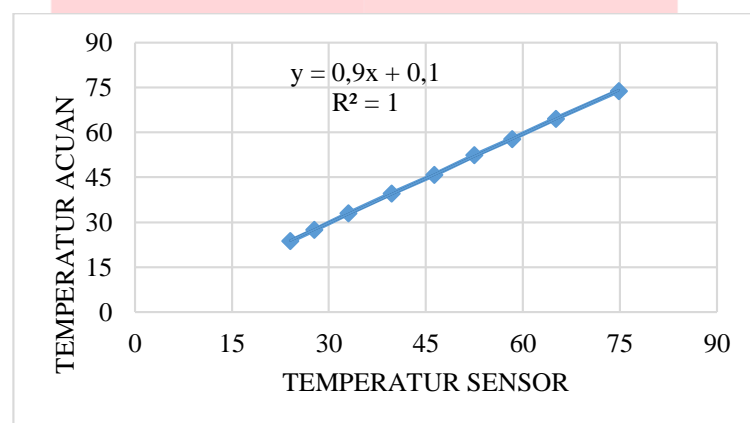
3.4 Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian ini adalah volume total produksi biogas, prosentase kandungan gas metana, hidrogen, CO₂ dan COD gas yang akan dilakukan setiap proses produksi biogas. Hal yang perlu di persiapkan sebelum percobaan yaitu perbandingan (4,5 liter : 8 liter) antara bakteri dengan substrat yang sudah melalui pengkondisian, dan ikuti langkah-langkah yang sudah dijelaskan pada 3.1. Untuk mengetahui hasil produksi gas yang maksimal dengan melakukan proses pengujian biogas tanpa kontrol temperatur dengan pengujian biogas dengan menggunakan kontrol temperatur yang variasi suhu 30°C, 35°C dan 40°C.

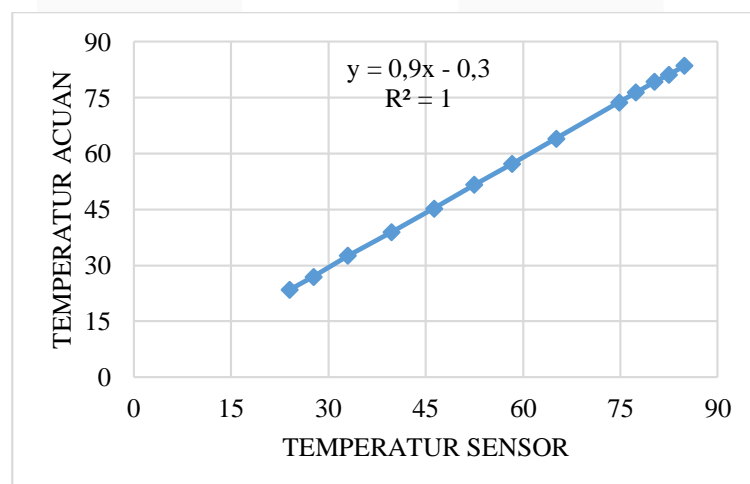
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Kalibrasi Sensor Temperatur

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan ketelitian sensor dengan cara membandingkan pengukuran temperatur 4 in 1 Digital Instrument sebagai acuan karena alat tersebut memiliki sertifikat kalibrasi dengan sensor termokopel tipe-T dan sensor temperatur DS18B20.



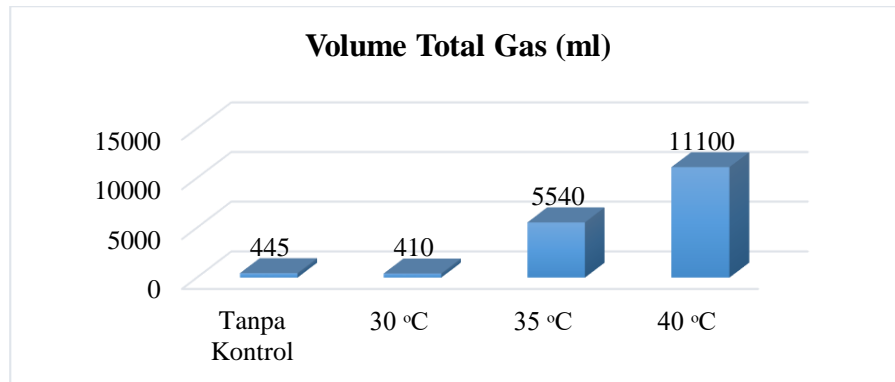
Gambar 4.1 Kalibrasi Sensor Termokopel Tipe-T



Gambar 4.2 Kalibrasi Sensor Temperatur DS18b20

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa grafik telah linier dengan korelasi linier $R^2=1$. Hal ini menunjukkan bahwa grafik telah linier dan layak digunakan untuk menyimpan data temperatur pada substrat. Sedangkan pada Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa nilai temperatur sensor telah linier dengan korelasi linier $R^2=1$ menunjukkan bahwa sensor telah layak digunakan untuk kontrol temperatur.

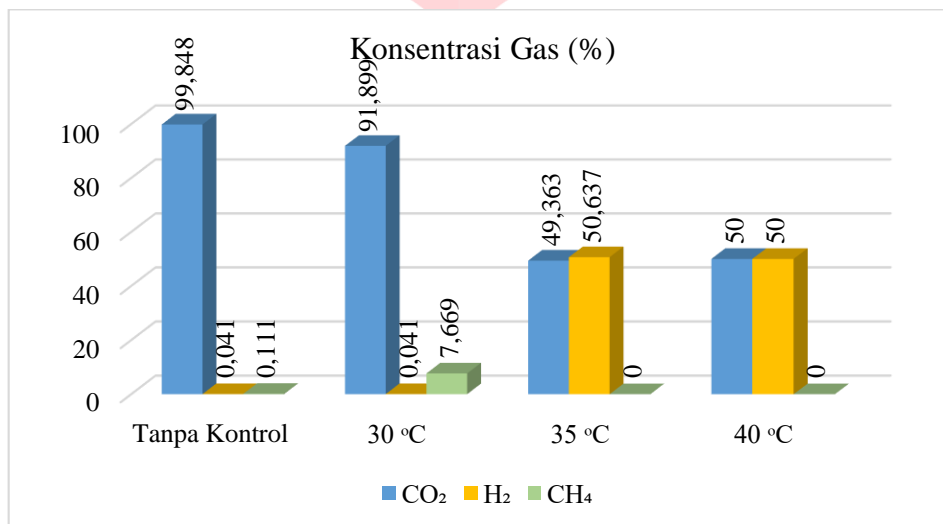
4.2 Pengaruh Kontrol Temperatur Terhadap Hasil Produksi Gas



Gambar 4.3 Hasil Volume Total Produksi Gas

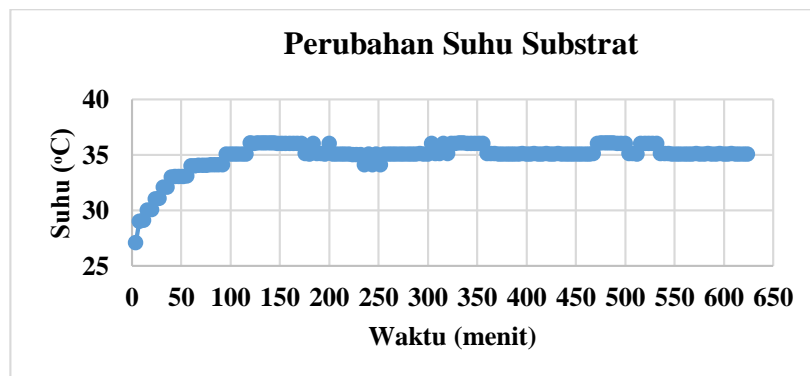
Dari hasil percobaan (Gambar 4.3) terlihat bahwa volume total gas yang dihasilkan paling banyak diperoleh pada percobaan 4 dengan kontrol temperatur 40 °C. Sedangkan percobaan dengan kontrol temperatur dibawah 40 °C hasil gas lebih sedikit dari pada percobaan 4. Dari hasil percobaan tersebut semakin turun kontrol temperatur maka hasil gasnya juga semakin sedikit.

4.3 Hasil persentase gas



Gambar 4.4 Konsentrasi Gas (%)

Dari Gambar 4.4 diketahui pengkondisian mesofilik yang paling optimum persentase gas metana pada percobaan 2 dengan temperatur 30°C yaitu 7,669 % dengan volume total gas 410 ml. Untuk persentase gas hidrogen yang paling optimum dengan temperatur 35°C yaitu 50,637 % menghasilkan volume total gas 5540 ml, dan temperatur 35°C yang paling tinggi jumlah padatan atau partikel terlarut di dalam air yaitu 1380 ppm (Tabel 4.3).



Gambar 4.5 Perubahan Suhu Substrat

Pada Gambar 4.5 menampilkan hasil kontrol temperatur saat peningkatan dan penurunan suhu di dalam reaktor. Adapun hasilnya ± 1 °C terhadap set poin yang telah diberikan yang berarti bakteri dapat bertahan pada kondisi mesofilik.

4.4 Hasil Pengujian

- Percobaan 1 (Tanpa Pengontrol Temperatur)

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Gas Percobaan 1

COD (ppm)		Volume Total (ml)	Nama Gas	Persentase Gas (%)
Sebelum	Sesudah			
2630	2558	445	CO ₂	99,848
			H ₂	0,041
			CH ₄	0,111

- Percobaan 2 (Dengan kontrol temperatur pada 30 °C)

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Gas Percobaan 2

COD (ppm)		Volume total (ml)	Nama Gas	Persentase Gas (%)
Sebelum	Sesudah			
2630	1400	410	CO ₂	91,899
			H ₂	0,432
			CH ₄	7,669

- Percobaan 3 (Dengan kontrol temperatur pada 35 °C)

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Gas Percobaan 3

COD (ppm)		Volume total (ml)	Nama Gas	Persentase Gas (%)
Sebelum	Sesudah			
2630	1250	5540	CO ₂	49,363
			H ₂	50,637
			CH ₄	0

- Percobaan 4 (Dengan kontrol temperatur pada 40 °C)

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Gas Percobaan 4

COD (ppm)		Volume total (ml)	Nama Gas	Persentase Gas (%)
Sebelum	Sesudah			
2630	1450	11100	CO ₂	50
			H ₂	50
			CH ₄	0

Persentase gas metana yang paling optimum pada temperatur 30 °C pada percobaan 2 yaitu 7,669 % dengan jumlah padatan yang terlarut dalam air 1230 ppm. Sedangkan persentase gas hidrogen yang paling optimum pada temperatur 35 °C dipercobaan 3 yaitu 50,637 % dan jumlah padatan atau partikel terlarut di dalam air 1380 ppm. Temperatur 30 °C yang paling optimum dalam hasil produksi biogas dengan persentase metana 7,669 % menunjukkan pengkondisian mesofilik yang mampu bertahan pada fluktuasi temperatur ± 1 °C. Sedangkan dari nilai COD temperatur 35 °C paling tinggi dari percobaan lainnya yang menunjukkan maksimum dalam proses anaerob.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengkondisian temperatur mempengaruhi hasil produksi gas. Semakin meningkatnya pengkondisian temperatur maka hasil produksi gas juga akan semakin banyak. Volume total gas yang paling maksimum dihasilkan pada temperatur 40 °C yaitu 11100 ml. Pada temperatur 40 °C pengkondisian mesofilik optimum dalam volume total gas.
2. Temperatur 30 °C yang paling optimum dalam hasil produksi biogas dengan persentase metana 7,669 % menunjukkan pengkondisian mesofilik yang mampu bertahan pada fluktuasi temperatur ± 1 °C.
3. Persentase gas metana yang paling optimum pada temperatur 30 °C yaitu 7,669 %. Pada persentase gas hidrogen yang paling optimum pada temperatur 35 °C yaitu 50,637 % dan ini paling efisiensi dari nilai COD adalah 1380 ppm.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Diperlukan bahan yang lebih kuat untuk reaktor ABR, karena dengan menggunakan bahan akrilik pada temperatur 40 °C rawan dengan tekanan besar yang akan mengakibatkan kebocoran pada reaktor.
2. Diperlukan bakteri murni untuk hasil yang optimum, karena dengan menggunakan bakteri buatan dari rumen sapi banyak faktor yang mempengaruhi hidup tidaknya bakteri tersebut yang akan mengakibatkan terhadap hasil produksi biogas.

6. Referensi

1. Indriyati, "Unjuk Kerja Reaktor Anaerob Lekat Diam Terendam Dengan Media Penyangga Potongan Bambu," *Jurnal Teknik Lingkungan*, pp. 217-222, 2007.
2. Paramita P, Maya Shovitri, dan N D Kuswytasari, "Biodegradasi Limbah Organik Pasar dengan Menggunakan Mikroorganisme Alami Tangki Septik", *JURNAL SAINS DAN SENI ITS Vol. 1*, ISSN: 2301-928X, 2012.
3. Faatihatur Silmi, "Analisis Pengaruh Pengontrol Tekanan Terhadap Produksi Gas Hidrogen Pada Reaktor *Temperature Phased Anaerobic Digester (TPAD)* Fase Asidogenesis," Bandung, 2016.
4. Wenny Harifadillah.A, "Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Hidrogen Pada Reaktor Anaerob Dengan Substrat Kulit Pisang," Universitas Telkom, Bandung: Jurnal.
5. Kuntiy, Ambar, dan Lies, " Pengaruh Penggunaan Limbah Cairan Rumen Dan Lumpur Gambut Sebagai Starter Dalam Proses Fermentasi Metanogenik," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta: Jurnal.
6. Debebrata Das, Namita Khanna, and Chitralekha Nag Dasgupta, *Biohidrogen Production Fundamentals and Technology Advances*. New York: CRCPress, 2014.
7. WHO. (2013, Agustus) World health Organization. [Online]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs270/en/>
8. Debebrata Sen and Debebrata Das, "Multiple Parameter Optimization For The Maximization of Hydrogen Production by *Enterobacter Cloacea* DM11," *Journal of Scientific & Industrial Research*, p. 984, 2005.
9. Indarto, Khori Ex (2010)," Produksi Biogas Limbah Cair Industri Tapioka Melalui Peningkatan Suhu dan Penambahan Urea Pada Perombakan Anaerob," Universitas Sebelas Maret, Surakarta: Jurnal.
10. Wildan Fauzan, " Pengaruh Pengisian Ulang Substrat Susu Basi Pada ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) Dengan Proses Semi Kontinyu Terhadap Produksi Gas Metana," Bandung, 2017.
11. Tuti Haryati, "Biogas : Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif," *Wartazoa*, vol. 16, no. 3, 2006.
12. Michael H. Gerardi, *The Microbial of Anaerobic Digester*. New Jersey: Wiley Interscience, 2003.
13. Dwi Irawan, Ahmad Khudori, " Pengaruh Suhu Anaerobik Terhadap Hasil Biogas Menggunakan Bahan Baku Limbah Kolam Ikan Gurame," Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung: Jurnal.
14. Andre Farlian, "Analisis Eksergi Pada Proses Biogas Menggunakan ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) Dengan Substrat Nasi Basi," Bandung, 2017.
15. Arief Tajalli. 2015. Panduan Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Indonesia. Penabulu Alliance.