

## PENGARUH VARIASI WAKTU PENGISIAN SUBSTRAT NASI BASI DAN EM4 TERHADAP POTENSI PRODUKSI GAS METANA MENGGUNAKAN REAKTOR BIOGAS MESOFILIK

### (THE EFFECT OF RICE AND EM4 MIXTURE FILLING TIME VARIATION ON THE POTENTIAL OF METHANE GAS PRODUCTION USING MESOPHILIC BIOGAS REACTORS)

Lely Kusniawaty Gopar<sup>1</sup>, M. Ramdhan Kirom<sup>2</sup>, Asep Suhendi<sup>3</sup>

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>lelyksnwty@telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>ramdlankirom@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>asepsuhendi@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Limbah nasi merupakan limbah organik yang sangat mudah dijumpai di Indonesia. Dengan kandungan organik yang tinggi, limbah ini berpotensi menjadi sumber energi alternatif dengan metode pencernaan anaerobik untuk menghasilkan biogas. Penelitian ini dilakukan dengan memfermentasi nasi basi dan EM4 secara semikontinyu menggunakan reaktor biogas sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan rentang waktu pengisian substrat terhadap jumlah gas yang dihasilkan. Variasi rentang waktu yang diterapkan dalam penelitian ini adalah  $\frac{1}{2}$ , 1, dan 2 hari. Hasil penelitian didapatkan rentang waktu pengisian 2 hari paling optimal dengan akumulasi volume gas mencapai 18,5 liter dan gas metana sekitar 8,6 ml selama 10 hari penelitian. Jika dirata-ratakan volume gas yang dihasilkan yaitu 1,85 liter/hari dan gas metana sekitar 0,86 ml/hari atau 0,046% dari gas total.

**Kata Kunci:** Waktu retensi hidrolik, pencernaan anaerob, biogas, semikontinyu, waktu pengisian.

#### Abstract

Rice waste is organic waste that can be easily found in Indonesia. With high organic content, this waste has the potential to become an alternative energy source using the anaerobic digestion method to produce biogas. This research was conducted by fermenting stale rice and EM4 using a simple biogas reactor with semicontinuous method. This study aims to determine the effect of substrate filling time span differences on the amount of gas produced. The variation of the substrate filling time span applied in this research was  $\frac{1}{2}$ , 1, and 2 days. The result shows that the substrate filling time span of 2 days is the most optimal by successfully accumulating up to 18.5 liters gas which consist methane gas around 8.6 ml within ten days. The average volume of the produced gas was 1.85 liters / day and methane gas was around 0.86 ml / day or 0.046% of the total gas.

**Keywords:** hydraulic retention time, anaerobic digestion, biogas, semicontinuous filling, filling time.

#### 1. Pendahuluan

Indonesia menduduki peringkat kedua atas timbulan sampah makanan. Diperkirakan jumlah sampah makanan yang dihasilkan satu orang yaitu sekitar 300kg per tahun [1]. Sampah makanan ini berdampak buruk pada lingkungan dengan berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca akibat pelepasan metana yang tidak terkontrol dan penipisan sumber daya alam [2][3]. Jika gas metana dilepas ke udara akan menciptakan dampak hampir 25 kali lebih besar sebagai gas rumah kaca dibandingkan dengan karbon dioksida [4].

Melihat dampak tersebut maka diperlukan metode manajemen limbah yang tepat. Metode manajemen limbah yang bukan hanya menangani limbah namun juga menghasilkan produk yang memiliki nilai guna menarik perhatian penulis. Metode yang penulis pilih adalah anaerobic digestion yang melibatkan aktifitas bakteri dalam mencerna limbah dan bersamaan dengan hal itu, aktifitas tersebut menghasilkan biogas yang bermanfaat. Pencernaan anaerob atau anaerobic digestion dianggap sebagai metode yang paling menarik untuk merawat dan mendaur ulang limbah padat organik dan menghasilkan gas yang kaya energi seperti hidrogen serta metana sehingga mengurangi volume limbah [5]. Bila dibandingkan dengan pencernaan aerob, pencernaan anaerob memiliki keunggulan yaitu menghasilkan pengurangan COD yang lebih tinggi serta lebih hemat daya karena tidak membutuhkan aerasi[6].

Metode pencernaan anaerob ini dilakukan dalam sebuah reaktor biogas sederhana. Metode ini melibatkan reaksi kimia antara limbah dengan bakteri secara terus-menerus dari fase Hidrolisis, Acidogenesis, Acetogenesis, hingga Methanogenesis yang menghasilkan gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> [7][8]. CH<sub>4</sub> merupakan gas yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif setara dengan LPG.

Penelitian ini melanjutkan penelitian sebelumnya yang membahas pengaruh rentang waktu pengisian substrat pada reaktor anaerobik dengan rentang suhu mesofilik dengan metode pengisian semi kontinyu yang menghasilkan biohidrogen [9]. Pada penelitian sebelumnya tidak ditambahkan inokulum bakteri pada prosesnya serta tahapan proses yang diamati hanya sampai asetogenesis, belum mencapai tahap metanogenesis untuk didapatkan gas metana. Maka dari itu fokus dari penelitian ini adalah mengamati pengaruh dari perbedaan rentang waktu pengisian substrat limbah nasi yang ditambahkan bakteri EM4 (Effective Microorganisms) terhadap produksi gas metana yang diharapkan mampu menghasilkan potensi energi alternatif yang baik.

## 2. Bahan, Metodologi, Desain Sistem

### 2.1 Bahan Penelitian

#### 1. Limbah Nasi Basi

Adapun bahan substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah nasi. Nasi merupakan makanan pokok di Indonesia. Nasi sering dijumpai di rumah tangga, rumah makan, restoran, dan kantin sehingga tak jarang menyisakan nasi basi. Limbah nasi basi merupakan hasil pembusukan dari nasi akibat aktifitas bakteri pengurai. Jika dilihat pada tabel II-3 kandungan karbohidrat dan air pada nasi yang tinggi berpotensi untuk dijadikan bahan baku dari biogas. Karbohidrat dalam nasi dapat dipecah dalam proses pencernaan anaerob untuk menghasilkan biogas. Serta kandungan air yang tinggi juga membantu mempermudah proses pencernaan anaerob.

#### 2. Effective Microorganisms 4

EM4 (Effective Microorganisms) ditemukan oleh Profesor Teruo Higa dari Universitas Ryuku, Jepang [15]. EM4 merupakan larutan yang mengandung mikroorganisme seperti *Azotobacter* sp., *Lactobacillus* sp., ragi, bakteri fotosintetik dan jamur pengurai selulosa sehingga bisa digunakan untuk membantu proses pembusukan sampah organik [16], dalam penelitian ini limbah nasi.

EM4 terdiri dari 95% *Lactobacillus* yang memiliki suhu optimal pada rentang 30 hingga 40°C. *Lactobacillus* merupakan bakteri anaerob aerotolerant yang dapat bekerja dalam keadaan tidak ada oksigen dan dapat hidup tanpa terpengaruh oleh kehadirannya. Bakteri tersebut mampu menghasilkan asam laktat dari gula dan meningkatkan percepatan perombakan bahan-bahan organik tanpa menimbulkan dampak negatif dari bahan yang tidak terurai [15]. Larutan EM4 digunakan dalam penelitian ini dengan tujuan mempercepat proses pencernaan anaerob dengan membantu proses perombakan bahan organik untuk menghasilkan asam laktat.

### 2.2 Metodologi penelitian

Berdasarkan data penelitian sebelumnya [19], kenaikan paling signifikan dari volume gas yang dihasilkan terjadi pada jam ke-20 sampai dengan 72. Pada hari ke-4 produksi gas menurun dan tidak ditemukan puncak lain. Hal tersebut menandakan waktu puncak HRT, sehingga dapat ditentukan volume masukan substrat menggunakan rumus HRT berikut:

$$V_s = V_R / HRT$$

$$V_s = 19 \text{ liter} / 4 \text{ hari}$$

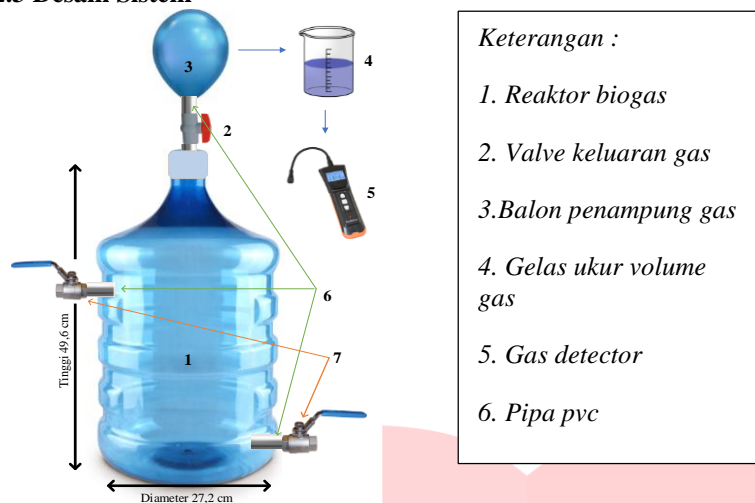
$$V_s = 4,75 \text{ liter} / \text{hari}$$

Maka volume masukan substrat untuk setiap variasi rentang waktu pengisian adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi Substrat pada Setiap Variasi Pengisian

Variasi	Pengisian Substrat	Komposisi Nasi Basi dalam Substrat	Komposisi Air dalam Substrat	Komposisi EM4 dalam Substrat
I	2,375 liter/12 jam	771 gr	1,542 liter	214 ml
II	4,75 liter/24 jam	1,543 gr	3,087 liter	430 ml
III	9,5 liter/48 jam	3,085 gr	6,168 liter	855 ml

### 2.3 Desain Sistem

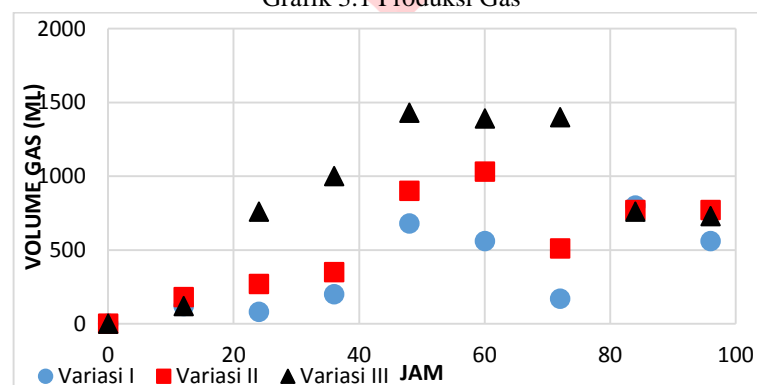


### 3. Pembahasan

#### 3.1. Pengujian Waktu Pengisian

Dari penelitian selama 4 hari dengan tiga variasi volume dan waktu pengisian di atas, didapatkan gas total yang ditunjukkan pada grafik 3.1 berikut:

Grafik 3.1 Produksi Gas



Keterangan : Variasi I = rentang waktu pengisian ½ hari  
 Variasi II = rentang waktu pengisian 1 hari  
 Variasi III = rentang waktu pengisian 2 hari

Pada 12 jam pertama gas yang dihasilkan sangat kecil (hanya mencapai 200ml), hal ini disebabkan oleh proses adaptasi mikroorganisme. Selanjutnya terjadi fase tumbuh yang ditunjukkan pada jam ke-13 hingga 24 dengan mulai terbentuknya lebih banyak gas kecuali pada variasi I. Pada fase ini mikroorganisme sudah beradaptasi dengan lingkungan dan mulai berkembang biak serta mencerna substrat dengan baik. Namun variasi I menunjukkan penurunan produksi yang diakibatkan oleh adanya gangguan berupa pengisian substrat baru.

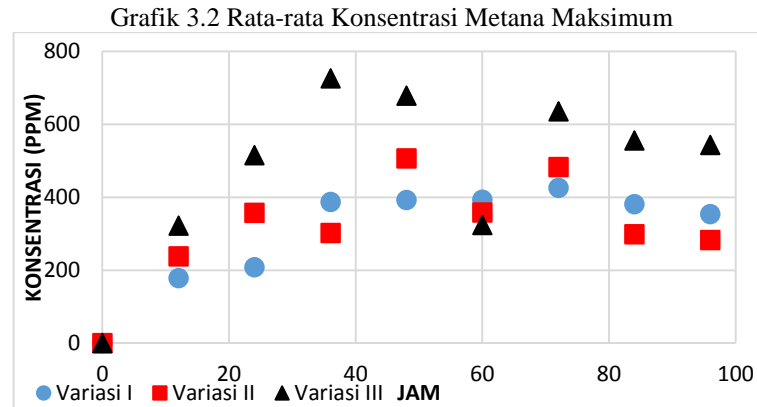
Kenaikan jumlah produksi gas yang signifikan rata-rata terjadi antara jam ke-24 hingga 48. Hal tersebut menunjukkan terjadinya fase pertumbuhan ganas dari pertumbuhan mikroorganisme, pada fase ini mikroorganisme berkembangbiak dengan sangat cepat sehingga perombakan senyawa organik terjadi secara cepat. Maka produksi gas mampu mencapai puncak akibat fase pertumbuhan ganas tersebut.

Jika dilihat dari grafik, produksi gas cenderung turun setelah jam ke-40 pada variasi I dan II. Hal ini menunjukkan bahwa rentang waktu pengisian terlalu cepat dimana bakteri yang masih beradaptasi sudah terbuang sehingga produksi gas tidak maksimal. Berbeda dengan variasi lainnya, variasi III menunjukkan penurunan produksi gas terjadi pada jam ke-84, hal ini menunjukkan bahwa rentang waktu pengisian 2 hari menghasilkan bakteri yang sudah lebih stabil dan mampu bertahan.

Variasi I menghasilkan gas paling sedikit dibandingkan dua variasi lainnya dengan total gas yang dihasilkan sebanyak 3,17 liter. Variasi rentang waktu pengisian satu hari menghasilkan gas

lebih baik dibanding variasi I yaitu mencapai 4,78 liter. Volume gas terbanyak dicapai pada variasi III yaitu rentang waktu pengisian 2 hari. Variasi ini berhasil memproduksi gas hingga 7,59 liter.

Setelah didapatkan volume gas maka digunakan alat ukur konsentrasi metana untuk menentukan volume gas metana yang dihasilkan. Alat ini mampu mencatat nilai konsentrasi maksimum sehingga volume metana yang didapat merupakan estimasi maksimum. Berikut grafik perubahan rata-rata konsentrasi maksimum per 12 jam:



Dari ketiga variasi penelitian, masing-masing menunjukkan konsentrasi metana yang fluktuatif. Meskipun jumlah gas total yang diproduksi pada jam 40 hingga 80 pada variasi III terlihat stabil, namun konsentrasi justru menurun. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan jenis bakteri pada setiap tahapan pencernaan anaerob sehingga mempengaruhi jenis gas yang dihasilkan. Pada variasi III pengisian substrat terjadi pada jam ke-48 mengakibatkan proses pencernaan anaerob dimulai dari tahap awal dimana gas metana belum diproduksi. Sehingga konsentrasi metana cenderung turun setelah pengisian substrat baru ke dalam reaktor lalu kemudian naik kembali seiring proses anaerobik terjadi. Hal ini menunjukkan adanya ‘gangguan’ terhadap konsentrasi metana yaitu ketika setiap reaktor diberi masukan substrat baru.

Berdasarkan tiga variasi rentang waktu pengisian yang telah dilakukan, variasi III dengan rentang waktu pengisian substrat 2 hari menghasilkan gas paling baik. Volume gas mencapai 7,59 liter dengan rata-rata konsentrasi metana 478 ppm paling tinggi dibanding 2 variasi lainnya. Serta volume gas metana yang diperkirakan sekitar 3,96 ml lebih tinggi dari variasi I yaitu sekitar 1,5 ml dan variasi II sekitar 1 ml.

Bila dibandingkan dengan metode batch metode semikontinyu ini memang menghasilkan lebih banyak gas. Namun karena pada metode semikontinyu lebih banyak menggunakan substrat akibat adanya pengisian di tengah reaksi nya maka perlu ditinjau produktivitas dari kedua metode ini. Berikut merupakan tabel perbandingan penelitian ini dengan penelitian metode batch oleh I Kadek Dwi Saputra [18].

Tabel 3.2 Perbandingan Metode *Batch* dan Semikontinyu

	<b>Batch</b>	<b>Semikontinyu</b>
Substrat	Nasi basi dan EM4 9%	Nasi basi dan EM4 9%
Volume Reaktor	19 liter	19 liter
Waktu penelitian	4 hari	4 hari
Rentang waktu pengisian	-	2 hari
Jumlah masukan substrat	12,67 liter	22,17 liter
Jumlah keluaran gas	1,29 liter	7,59 liter
Rasio produktivitas	10 %	34 %

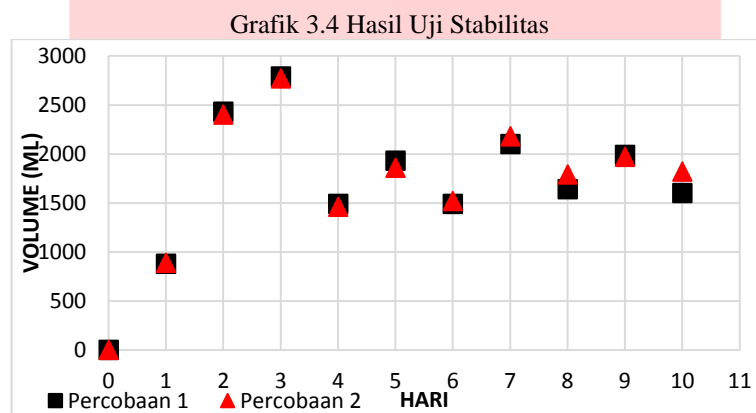
Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa rasio produktivitas metode semikontinyu lebih tinggi dibandingkan dengan metode batch. Dengan ukuran reaktor yang sama, metode semikontinyu

mampu menghasilkan gas lebih banyak dibandingkan dengan metode batch. Untuk mendapatkan gas dengan jumlah banyak pada metode batch diperlukan reaktor yang lebih besar.

Pada metode semikontinyu penambahan substrat baru bukan hanya menambah baktri hidup namun juga memberi suplai makanan bagi bakteri pada sebagian substrat lama yang tinggal dalam reaktor. Sehingga banyaknya produksi gas dipengaruhi oleh bakteri pada substrat lama yang telah beradaptasi dan bakteri baru pada substrat masukkan. Sedangkan pada metode batch yang dilakukan berulang, dengan adanya pengosongan reaktor maka bakteri yang sudah tumbuh akan terbuang sehingga membutuhkan waktu lebih lama untuk bakteri beradaptasi dan mengolah limbah. Sehingga dapat disimpulkan metode semikontinyu lebih unggul dari metode batch karena lebih efisien tempat dan waktu.

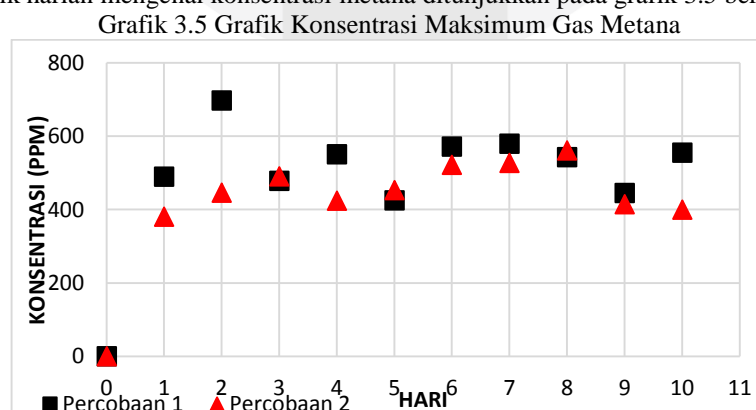
### 3.2. Uji Stabilitas Produksi Gas

Setelah diperoleh waktu pengisian terbaik, dilakukan uji stabilitas produksi gas dengan waktu pengisian 2 hari yang dilakukan selama 10 hari. Pada penelitian ini akan dilihat stabilitas produksi gas pada dua percobaan dan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Hasil pengujian stabilitas ini dapat dilihat pada grafik 3.4 berikut:



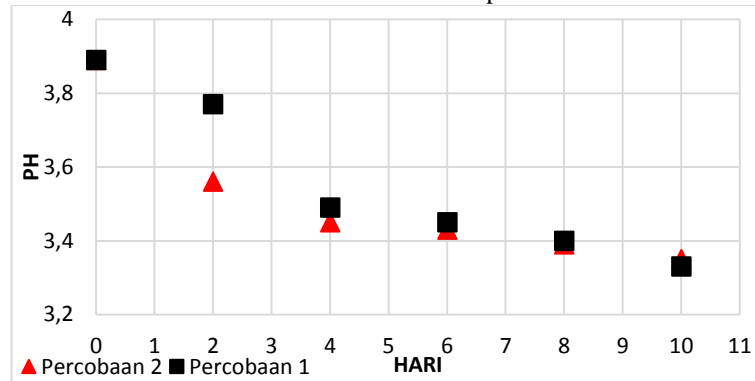
Dari dua percobaan yang dilakukan, gas yang diproduksi menunjukkan jumlah yang hampir sama dilihat dari garis yang bertumpukan. Kedua percobaan tersebut memiliki rata-rata simpangan sebesar 33 sehingga grafik yang dihasilkan hampir identik. Jika dirata-ratakan, volume gas yang dihasilkan kedua percobaan tersebut sekitar 1,85 liter/hari. Dilihat dari grafik, setelah hari ke-4 produksi gas naik turun pada rentang 1,46 liter hingga 2,18 liter. Rata-rata produksi gas harian dari dua percobaan sejak hari ke-4 hingga hari ke-10 adalah 1,78 liter/hari.

Sedangkan untuk grafik konsentrasi maksimum metana menampilkan grafik yang tidak seragam antara percobaan 1 dan 2. Percobaan 1 mendapatkan rata-rata konsentrasi metana lebih tinggi yaitu 533 ppm dibandingkan dengan percobaan 2 yaitu 461 ppm. Perbedaan konsentrasi ini menyebabkan perbedaan jumlah volume gas metana yang dihasilkan. Pada percobaan 1 gas metana yang berhasil dikumpulkan sebanyak 9 ml sedangkan pada percobaan 2 menghasilkan 8,2 ml gas metana. Grafik harian mengenai konsentrasi metana ditunjukkan pada grafik 3.5 berikut:



Perbedaan rata-rata konsentrasi metana pada percobaan 1 dan 2 diduga akibat perbedaan pH dan suhu lingkungan. Temperatur lingkungan pada percobaan 2 cenderung lebih rendah dibanding percobaan 1 karena penelitian dilakukan saat memasuki musim penghujan. Serta selama reaksi berlangsung, percobaan 2 mengalami penurunan pH lebih besar dibanding percobaan 1. Penurunan pH ditunjukkan pada grafik 3.6 berikut:

Grafik 3. 6 Grafik Penurunan pH Substrat



Selama 10 hari penelitian, produksi gas dengan rentang waktu pengisian 2 hari mampu menghasilkan 18,5 liter dengan rata-rata konsentrasi maksimum 497 ppm. Dengan begitu, gas metana yang dihasilkan diperkirakan sekitar 8,6 ml atau setara 0,046% dari gas total. Kadar metana yang dihasilkan sangatlah kecil, biogas yang baik terdiri dari minimal 55% metana.

Penambahan EM4 dengan maksud mempercepat proses perombakan bahan organik justru mengurangi jumlah gas yang dihasilkan. Sedikitnya jumlah gas metana yang terkumpul kemungkinan besar diakibatkan oleh penambahan EM4 yang memiliki pH rendah. Karena bakteri penghasil gas metana (metanogen) bekerja optimal pada rentang pH 6,3-7,8 [12]. Namun penggunaan nasi basi tetap memiliki potensi untuk menghasilkan lebih banyak gas. Dengan menambahkan biostarter jenis lain, memasang kontrol temperatur, serta menambahkan sistem pengaduk pada reaktor.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian mengenai rentang waktu pengisian substrat cair nasi basi dan 9% EM4 dilakukan pada reaktor anaerobik mesofilik sederhana dengan volume 19 liter. Variasi rentang waktu pengisian yang diuji adalah ½, 1, dan 2 hari. Hasil dari penelitian ini, rentang waktu pengisian substrat 2 hari menghasilkan gas yang paling unggul. Volume gas yang didapatkan mencapai 7,59 liter gas dalam 4 hari, dengan volume gas metana sekitar 3,96 ml. Setelah uji stabilitas produksi gas selama 10 hari, rentang waktu pengisian 2 hari mampu menghasilkan gas sebanyak 18,5 liter dan gas metana sekitar 8,6 ml. Jika dirata-ratakan volume gas yang dihasilkan yaitu 1,85 liter/hari dan gas metana sekitar 0,86 ml/hari atau 0,046% dari gas total. Kadar metana yang dihasilkan masih sangat kecil. Sedikitnya jumlah gas metana yang terkumpul kemungkinan besar diakibatkan oleh penambahan EM4 yang memiliki pH rendah. Karena bakteri penghasil gas metana (metanogen) bekerja optimal pada rentang pH 6,3-7,8 [12]. Penambahan EM4 dengan maksud mempercepat proses perombakan bahan organik justru mengurangi jumlah gas yang dihasilkan. Namun penggunaan nasi basi tetap memiliki potensi untuk menghasilkan lebih banyak gas. Dengan mengganti EM4 dengan biostarter jenis lain, menambahkan sistem kontrol temperatur, menambahkan sistem pengaduk pada reaktor, serta dilakukan terhadap pengujian terhadap gas spesifik yang terkandung untuk mengetahui kualitas gas.

#### Reference :

- [1] F. S. Index, "Food Loss and Waste," 2019. [Online]. Available: <http://foodsustainability.eiu.com>.
- [2] F. Giroto, L. Alibardi, and R. Cossu, "Food waste generation and industrial uses: A review," *Waste Manag.*, vol. 45, pp. 32–41, 2015.



- [3] E. Papargyropoulou, R. Lozano, J. K. Steinberger, N. Wright, and Z. Bin Ujang, "The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste," *J. Clean. Prod.*, vol. 76, pp. 106–115, 2014.
- [4] M. Chakraborty, C. Sharma, J. Pandey, N. Singh, and P. K. Gupta, "Methane emission estimation from landfills in Delhi: A comparative assessment of different methodologies," *Atmos. Environ.*, vol. 45, no. 39, pp. 7135–7142, 2011.
- [5] J. Mata-Alvarez, S. Macé, and P. Llabrés, "Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives," *Bioresour. Technol.*, vol. 74, no. 1, pp. 3–16, 2000.
- [6] A. S. C, N. Azreen, M. Jamil, S. Jabbar, and S. Sakyat, "Aerobic and Anaerobic Sewage Biodegradable Processes: The Gap Analysis," *Int. J. Res. Environ. Sci.*, vol. 3, no. 3, 2017.
- [7] L. Neves, R. Oliveira, and M. M. Alves, "Influence of inoculum activity on the biomethanization of a kitchen waste under different waste/inoculum ratios," *Process Biochem.*, vol. 39, no. 12, pp. 2019–2024, 2004.
- [8] A. P. Buzzini, I. K. Sakamoto, M. B. Varesche, and E. C. Pires, "Evaluation of the microbial diversity in an UASB reactor treating wastewater from an unbleached pulp plant," *Process Biochem.*, vol. 41, no. 1, pp. 168–176, 2006.
- [9] K. D. Kurniasari, M. R. Kirom, and A. Suhendi, "Pengaruh Variasi Waktu Pengisian Pada Reaktor Anaerobik Mesofilik Semi Kontinyu Penghasil Biohidrogen," vol. 4, no. 1, pp. 778–785, 2017.
- [10] M. Megawati, "Pengaruh Penambahan EM4 (Effective Microorganism-4) pada Pembuatan Biogas dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 42–49, 2014.
- [11] M. K. Daud et al., "Review of upflow anaerobic sludge blanket reactor technology: Effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment," *J. Chem.*, vol. 2018, 2018.
- [12] C. Casserly and L. Erijman, "Molecular monitoring of microbial diversity in an UASB reactor," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 52, no. 1, pp. 7–12, 2003.
- [13] A. Poedjiadi, "Dasar-Dasar Biokimia," 1994.
- [14] P. Seminar et al., "Prosiding Seminar Nasional Agroinovasi Spesifik Lokasi Untuk Ketahanan Pangan Pada Era Masyarakat Ekonomi ASEAN," no. 1, pp. 1249–1253.
- [15] P. Yuniwati, Iskarima, "Optimasi Kondisi Proses Pembuatan Kompos Dari Sampah Organik Dengan Cara Fermentasi Menggunakan Em4," *J. Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 172–181, 2012.
- [16] I. Wiratmaja, I. Wijaya Kusuma, and I. Suprpta Winaya, "Pembuatan Etanol Generasi Kedua Dengan Memanfaatkan Limbah Rumpuk Laut *Eucheuma Cottonii* Sebagai Bahan Baku," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 5, no. 1, 2011.
- [17] R. S. Mustofa, A. Suhendi, and I. Chandra, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Gas Metana Pada Reaktor Biogas Berbasis Internet Of Things Development Of Methane Gas Monitoring System In Biogas Reactors Based Internet Of Things," in preparation.
- [18] M. Al, F. Syafiuddin, D. Suwandi, M. Si, T. A. Ajiwiguna, and M. Eng, "Pengaruh Em4 (Effective Microorganism) Pada Produksi Biogas Dengan Bahan Baku Sampah Organik Rumah Tangga Effect of Em4 (Effective Microorganism) on Biogas Production With Raw Materials Waste Organik Household," vol. 5, no. 3, pp. 5762–5769, 2018.
- [19] I. K. D. Saputra, M. R. Kirom, and A. Suhendi, "Pengaruh Pendambahan EM4 Pada Substrat Nasi Basi Terhadap Potensi Produksi Gas Metana Pada Reaktor Biogas Sederhana The Effect of Adding EM4 to Stale Rice Substrates On The Potential For Methane Gas Production In A Simple Biogas Reactor," in preparation.