

## PENGARUH STERILISASI PADA PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH CAIR TAHU DAN SAMPAH ORGANIK

Wijayanti, Muhamad Syahrul Gufron, Wahyu Umi Isnaeni, Agung Sugiharto

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta,  
Jl. A. Yani, Pabelan, Kartasura, Tromol Pos 1, Surakarta, Jawa Tengah 57102

E-mail: [d500190144@student.ums.ac.id](mailto:d500190144@student.ums.ac.id)

---

### Abstract

Biogas is a renewable energy source that comes from biological natural resources and consists of the main gases methane  $\text{CH}_4$  (55-70%) and carbon dioxide  $\text{CO}_2$  (25-50%). Tofu liquid waste and organic waste contain protein, carbohydrates, fats and oils as basic ingredients for making biogas. This research uses a fermentation process with and without sterilization which aims to determine the effect of sterilization on the effectiveness of biogas production. The raw material preparation is sterilized at a temperature of  $100^\circ\text{C}$ , cooked then cooled and mixed with cow feces to be fermented for 14 days in a biodigester. Biogas volume and content measurements were varied for 7, 10, 12 and 14 days. The research results show that the addition of a sterilization process can increase the volume of biogas produced. The optimal variation to obtain the volume of methane gas is the 14th day, with liquid tofu waste material from fermentation with sterilization, namely 327 mL. Methane levels were measured for 14 days using a Combustable Gas Detector and obtained results of around (50-75%).

**Keywords:** Biogas, Fermentation, Tofu Liquid Waste, Organic Waste, Sterilization

---

### Abstrak

Biogas adalah sumber energi terbarukan yang berasal dari sumber daya alam hayati dan terdiri dari gas utama metana  $\text{CH}_4$  (55-70%) dan karbon dioksida  $\text{CO}_2$  (25-50%). Limbah cair tahu dan sampah organik mengandung protein, karbohidrat, lemak dan minyak sebagai bahan dasar pembuatan biogas. Penelitian ini menggunakan proses fermentasi dengan dan tanpa sterilisasi yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh sterilisasi terhadap efektivitas produksi biogas. Persiapan bahan baku disterilisasi dengan suhu  $100^\circ\text{C}$  dimasak lalu didinginkan dan dicampur dengan feses sapi untuk difermentasi selama 14 hari pada biodigester. Pengukuran volume dan kadar biogas divariasikan 7, 10, 12, dan 14 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan proses sterilisasi dapat memberikan volume biogas yang dihasilkan. Variasi optimal untuk mendapatkan volume gas metana yaitu hari ke-14, dengan bahan limbah cair tahu pada fermentasi dengan sterilisasi yaitu sebesar 327 mL. Pengukuran kadar metana selama 14 hari dengan alat Combustable Gas Detector dan memperoleh hasil sekitar (50-75%).

**Kata Kunci:** Biogas, Fermentasi, Limbah Cair Tahu, Sampah Organik, Sterilisasi

---

## 1. Pendahuluan

Permasalahan Indonesia saat ini masih bergantung pada energi fosil berupa batubara, minyak, dan gas bumi sebagai sumber daya energi yang utama. Selain itu, dari tahun 2008 hingga saat ini Indonesia juga mengalami krisis energi bahan bakar minyak (BBM). Bahkan harus diakui Indonesia masih mengimpor minyak mentah dan BBM untuk memenuhi kebutuhan konsumsi dalam negeri. Setidaknya ada tiga masalah serius jika masih bergantung pada energi fosil yaitu menipisnya cadangan minyak bumi, tidak stabilnya harga karena kebutuhan lebih besar dari pada produksi, dan ancaman polusi akibat pembakaran bahan bakar fosil. Maka untuk mengatasi ancaman tersebut, perlunya pemanfaatan energi baru terbarukan sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi minyak bumi. Salah satu bahan bakar alternatif yang potensial dari kekayaan alam Indonesia yaitu bio energi atau biogas [1].

Menurut [2], Biogas adalah sumber energi terbarukan yang berasal dari sumber daya alam hayati. Biogas terdiri dari campuran metana  $\text{CH}_4$  (55-70%),  $\text{CO}_2$  (25-50%),  $\text{H}_2\text{O}$  (1-5%),  $\text{H}_2\text{S}$  (0-0,5%),  $\text{N}_2$  (0-5%) dan  $\text{NH}_3$  (0-0,05%). Biogas membentuk gas *flammable* (mudah terbakar) dan dihasilkan dari hasil proses fermentasi bahan-bahan organik dengan bakteri-bakteri anaerobik yaitu bakteri yang dapat bertahan hidup tanpa adanya oksigen. Bahan baku yang dapat menghasilkan biogas yang utama adalah kotoran manusia dan hewan, limbah organik (limbah industri seperti limbah tahu dan sampah organik dari kegiatan pasar) [3] Pada pembentukan biogas akan mengalami empat tahap yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis [4]. Kotoran sapi merupakan substrat yang paling cocok untuk pemanfaatan biogas. Substrat dalam kotoran sapi telah mengandung bakteri penghasil gas metana [5].

Limbah cair tahu mengandung senyawa organik yang berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Selain itu, limbah cair tahu juga mengandung gas oksigen ( $\text{O}_2$ ), hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan metana ( $\text{CH}_4$ ) [6]. Namun, air limbah industri tahu rata-rata mengandung *biological oxygen demand* (BOD): 5.000 - 10.000 mg/l, *chemical oxygen demand* (COD): 7.000 12.000 mg/l, pH: 4 - 5, suhu: 35 - 40°C yang dapat mencemari lingkungan [2].

Sampah organik berasal dari manusia, hewan, serta tumbuhan. Sampah organik sendiri bisa dipecah menjadi dua bagian yakni meliputi kering dan basah, sampah organik didapat dari sisa konsumsi rumah tangga, kegiatan pasar, dan lainnya [7]. Kandungan yang terdapat dalam sampah organik dapat menjadi substrat bagi bakteri anaerobik pembentuk senyawa metana, yaitu bakteri metanogen [8].

Fermentasi metana merupakan proses yang kompleks termasuk empat fase: hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Hidrolisis biasanya dianggap sebagai langkah pembatas laju karena berkaitan dengan konversi bahan organik kompleks (karbohidrat, lipid, dan protein) menjadi molekul organik terlarut (gula, asam lemak rantai panjang, dan asam amino) [9].

Beberapa penelitian telah dilaksanakan sebelumnya dengan menggunakan proses fermentasi anaerob. Hasil penelitian dari [10], mengenai pengaruh jenis sampah terhadap hasil gas metana antara sampah sayuran dan sampah usus ayam menunjukkan perbedaan yang signifikan sampai 5% dan 50% untuk usus ayam karena banyak mengandung nutrisi yang dibutuhkan bakteri pada kotoran sapi. Namun disatu sisi, sampah sayuran tidak mampu menghasilkan gas metana lebih dibanding usus ayam disebabkan masih banyak mengandung ikatan serat dan selulosa yang kuat

sehingga sulit diurai bakteri. Kemudian [11], dengan menggunakan bahan baku limbah kubis yang difermentasikan selama 10 hari diperoleh hasil bahwa produksi gas yang belum maksimal dikarenakan faktor pengadukan dan terjadi penumpukan bahan yang menyebabkan bakteri tidak mampu memecah senyawa organik sehingga bahan dan bakteri tidak homogen lagi. Penelitian lainnya [12] menggunakan limbah cair tahu dengan perbandingan komposisi bahan dan starter yang sama mendapati pengaruh bahan yang tidak homogen akibat pengadukan menunjukkan gas metana tidak meningkat sejalan dengan lamanya waktu fermentasi. Dari penelitian-penelitian sebelumnya, belum pernah ada yang melakukan sterilisasi sebelum proses fermentasi pembuatan biogas.

Sterilisasi merupakan pemanasan bahan baku sebelum fermentasi. Melalui sterilisasi, seluruh mikroba patogen dapat mati, sehingga tidak sempat berkembang biak. Dari penelitian sebelumnya oleh [2] melakukan proses sterilisasi pada alat yang digunakan untuk mencegah terjadinya kontaminasi dengan mikroba lain, dengan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C. Dengan proses yang sama penelitian ini akan menggunakan proses sterilisasi tidak hanya alat namun dengan bahan baku. Hal ini dikarenakan kemungkinan bahan juga dapat terkontaminasi oleh bakteri patogen yang akan menghambat pembentukan biogas.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka mendorong penelitian ini menggunakan metode fermentasi dengan sterilisasi bahan baku dalam pembuatan biogas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dilakukan sterilisasi terhadap peningkatan volume dan kadar metana dari biogas yang dihasilkan dengan cara memanaskan limbah cair tahu dan sampah organik. Untuk mengetahui efektifitas penelitian ini maka dilakukan perbandingan jika tanpa sterilisasi dengan bahan yang sama dan beberapa literatur penunjang. Selain itu, hasil dari penelitian ini bisa memberikan pengetahuan baru terkait proses produksi biogas sebagai sumber energi (bahan bakar) yang lebih optimal, murah, dan ramah lingkungan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan menggunakan metode fermentasi dengan sterilisasi dan tanpa sterilisasi. Bahan yang digunakan yaitu limbah cair tahu yang diperoleh dari desa Bangsalan, kecamatan Teras, kabupaten Boyolali. Sementara sampah organik diperoleh dari sisa konsumsi rumah tangga dan kegiatan pasar. Untuk feses sapi diperoleh dari desa Kismoyoso, kecamatan Ngemplak kabupaten Boyolali.

Berikut persiapan alat yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Hal yang perlu dipersiapkan yaitu merancang alat biodigester dengan menggunakan wadah silinder sebagai tangki proses fermentasi.
2. *Hot plate* untuk proses sterilisasi dan *Combustable Gas Detector* untuk pengujian gas metana.

**Prosedur Penelitian sebagai berikut:**

### **Sterilisasi Bahan Baku**

Limbah cair tahu dan sampah organik ditambah air, lalu dimasukkan kedalam panci dengan ukuran 800 mL, kemudian diaduk dan dipanaskan dengan menggunakan *hotplate* dengan suhu 100°C selama 15 menit dengan tekanan atmosferik. Setelah itu,

didinginkan hingga suhu menjadi 37°C atau suhu ruangan. Sedangkan pada proses tanpa sterilisasi langsung dimasukan ke dalam biodigester yang telah dibuat.



(1)Toples, (2)Rubber Stop, (3)Suntikan, (4)Pressure geuge

**Gambar 1. Alat Biodigester**



**Gambar 2. Alat Combustable Gas Detecctor**

### **Proses Fermentasi bahan Baku**

Masing-masing limbah cair tahu dan sampah organik yang sudah disterilisasi ditambah kotoran sapi dengan air 300 mL pada perbandingan 1:1 dimasukkan ke dalam alat biodigester yang sudah dirancang sebanyak 1200 mL dengan kapasitas 1800 mL. Setelah itu tutup rapat hingga tidak ada udara yang masuk. Gas yang terbentuk sementara terkumpul pada sisa ruang kosong biodigester sebelum diambil menggunakan suntikan ditunjukan dengan *pressure gauge* dan diukur jumlah gas metana setiap variasi waktu selama 7, 10, 12 dan 14 hari.

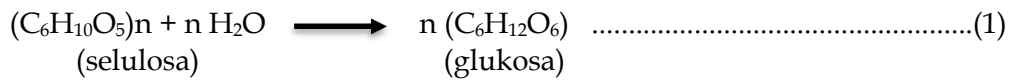
### **Pengujian menggunakan alat Combustable Gas Detecctor.**

Biogas yang terbentuk diambil dengan menggunakan jarum suntik sebesar 10 mL, kemudian diinjeksikan pada alat *Combustable Gas Detecctor* untuk diketahui persentase gas metana yang terbentuk dari hasil fermentasi biogas dengan disterilisasi dan tanpa sterilisasi. Kemudian dicatat hasil yang keluar dari alat tersebut.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini menggunakan limbah cair tahu dan sampah organik sebagai bahan utama pembuatan biogas dengan proses fermentasi dengan sterilisasi dan tanpa sterilisasi. Sterilisasi berfungsi untuk membunuh bakteri patogen dari bahan yang digunakan sehingga dapat meningkatkan volume dan kadar metana yang dihasilkan. Dalam proses pembuatan biogas digunakan biodigester sebagai penampung dengan perbandingan bahan (bahan baku: feses sapi: air) adalah (2:1:1) dan diaduk sehingga campuran menjadi homogen. Kemudian difermentasikan dengan waktu fermentasi selama 14 hari dan diaduk setiap 5 jam dengan kondisi ruang yang anaerob dan stabil. Proses pembentukan biogas ada 3 tahap yaitu reaksi hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis. sebagai berikut:

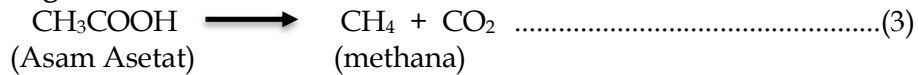
**Proses Hidrolisa :**



**Proses Asidogenesis :**



**Proses Metanogenesis :**

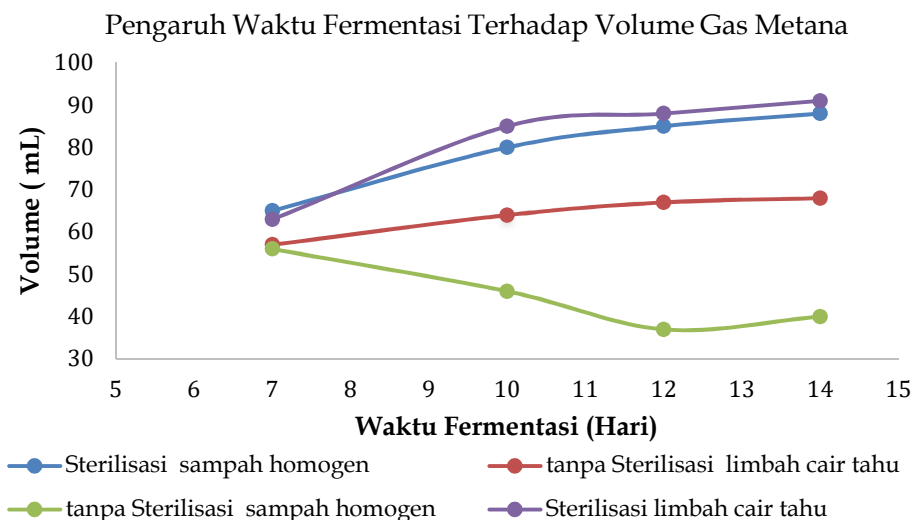


**Pengaruh waktu fermentasi terhadap volume biogas selama variasi waktu 7, 10, 12, dan 14 hari dengan sterilisasi dan tanpa sterilisasi.**

**Tabel 1. Hasil Volume Gas Metana (mL)**

Fermentasi Hari ke-	Sterilisasi		Tanpa Sterilisasi	
	Limbah Cair Tahu	Sampah Organik	Limbah Cair Tahu	Sampah Organik
7	63	65	57	56
10	85	80	64	46
12	88	85	67	37
14	91	88	68	40
<b>Total Volume</b>	<b>327</b>	<b>318</b>	<b>256</b>	<b>179</b>

### Grafik pengaruh waktu fermentasi terhadap volume biogas selama variasi waktu 7, 10, 12, dan 14 hari dengan sterilisasi



**Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Volume Gas Metana (mL)**

Dari gambar 3 grafik menunjukkan bahwa peningkatan volume gas metana terjadi pada hari ke-7 dan terus mengalami peningkatan hingga hari ke-14. Waktu fermentasi selama 14 hari dapat mempengaruhi volume gas metana yang dihasilkan dimana semakin lama waktu fermentasi maka semakin bertambah volume gas metana yang dihasilkan. Penambahan volume semakin lama semakin meningkat, namun peningkatannya semakin sedikit hal ini diakibatkan rasio C/N yang berasal dari bahan baku limbah cair tahu dan sampah organik semakin berkurang.

Dalam penelitian ini hasil volume gas metana yang dihasilkan melalui proses fermentasi dengan sterilisasi dibandingkan dengan volume gas metana yang terbentuk dari proses fermentasi tanpa sterilisasi, dapat dilihat pada gambar 3. Dimana hasil volume gas pada bahan limbah tahu dan sampah organik pada proses fermentasi dengan sterilisasi selama 14 hari menunjukkan hasil yang optimal yaitu total volume gas masing-masing sebesar 327 mL dan 318 mL. Sedangkan untuk fermentasi tanpa sterilisasi memperoleh total volume yaitu pada bahan baku limbah tahu sebesar 256 mL dan mengalami peningkatan namun tidak melebihi hasil biogas pada proses yang disterilisasi. Untuk bahan baku sampah organik sebesar 179 mL mengalami penurunan yang disebabkan faktor campuran sampah yang beragam serat dan selulosa terikat sehingga menghambat reaksi bakteri metanogen sebagai pengurai dalam membentuk gas metana.

Pada proses fermentasi dengan sterilisasi bahan bertujuan agar bahan dapat homogen sebelum dicampur dengan feses sapi serta dengan sterilisasi dapat membunuh bakteri patogen yang dapat menghambat pembentukan gas dari proses metanogenesis biogas sehingga volume gas metana yang terbentuk dapat meningkat. maka dari itu, waktu fermentasi dan proses sterilisasi menjadi faktor yang dapat mempengaruhi volume kadar metana yang diproduksi. Hal yang sama oleh [10] dimana saat jumlah bakteri meningkat, aktivitas bakteri yang menghasilkan gas metana juga meningkat sehingga menghasilkan gas metana dengan komposisi yang lebih besar.

Selain faktor diatas, adapula faktor lain yang mempengaruhi pembentukan volume biogas yaitu penambahan air dan pengadukan. Penambahan air diperlukan dalam proses pembentukan biogas dimana pada proses asetogenesis air dapat meningkatkan produksi asam atetat dengan bantuan bakteri yang berasal dari feses sapi. Asam asetat yang terbentuk akan membantu dalam proses pembentukan gas metana dalam biogas pada proses metanogenesis. Selain itu air dapat memudahkan gas yang terbentuk pada bagian bawah biodigester dapat naik. Penambahan air dapat mempengaruhi hasil biogas karena jika tidak ditambahkan air maka dapat menghambat proses fermentasi dan menyebabkan kerak.

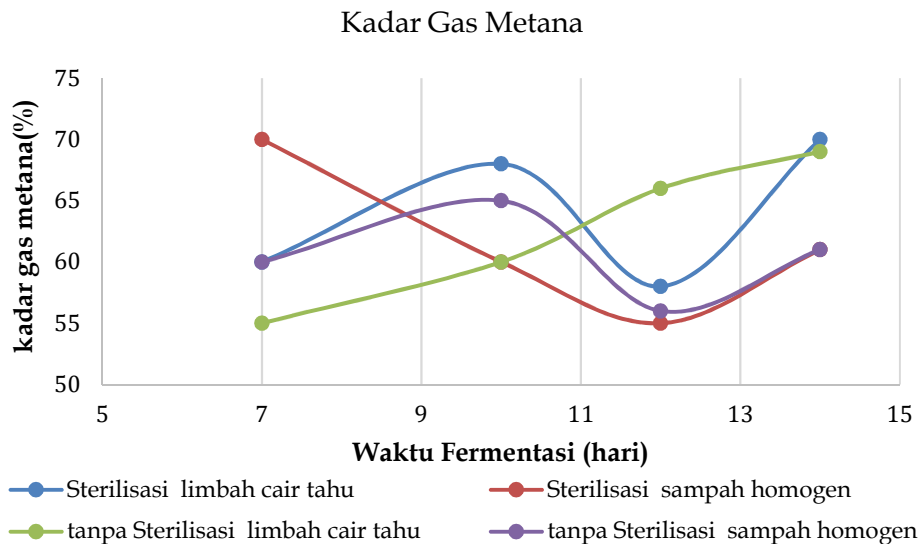
Penelitian ini dilakukan pengadukan setiap 5 jam. Pengadukan berperan penting dalam pembentukan biogas dimana homogenisasi bakteri dalam limbah tahu sehingga proses fermentasi dapat bekerja dan menghasilkan biogas ataupun gas metana yang besar. Dibandingkan dengan tanpa pengadukan maka pengadukan menghasilkan gas metana lebih banyak yaitu sebesar 30%. [13].

**Hasil uji kadar gas metana dengan menggunakan *Combustable Gas Detector*.**

**Tabel 2. Hasil Kadar Gas Metana (%)**

Fermentasi Hari ke-	Sterilisasi		Tanpa Sterilisasi	
	Limbah Cair Tahu	Sampah Organik	Limbah Cair Tahu	Sampah Organik
7	60	70	55	60
10	68	60	60	65
12	59	55	66	56
14	70	61	69	61

Gambar hasil uji kadar gas metana dengan menggunakan *Combustable Gas Detector*.



**Gambar 4. Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Volume Gas Metana (mL)**

Pengukuran hasil kadar metana dilakukan dengan menggunakan alat yaitu *Combustable Gas Detector*. Alat ini digunakan untuk mengetahui kadar metana yang terbentuk dari biogas. Dimana biogas terdiri dari campuran metana CH<sub>4</sub> (55-70%), CO<sub>2</sub> (25-50%), H<sub>2</sub>O (1-5%), H<sub>2</sub>S (0-0,5%), N<sub>2</sub> (0-5%) dan NH<sub>3</sub> (0-0,05%) [3].

Kandungan kadar metana yang terkandung dalam biogas sebesar 55-70%. Berdasarkan hasil Gambar 4. menunjukkan bahwa kadar metana yang terbentuk baik melalui proses fermentasi dengan sterilisasi ataupun tanpa sterilisasi didapat antara 55-70% yang menunjukkan bahwa hasil uji CH<sub>4</sub> (gas metana) sesuai dengan komposisi yang terkandung dalam biogas. Dengan demikian hasil pembuatan biogas yang menggunakan bahan limbah tahu dan sampah organik sebagai bahan dasar dan menggunakan proses fermentasi dengan sterilisasi telah layak digunakan sebagai bahan bakar.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa proses fermentasi biogas yang terbaik dengan sterilisasi dari bahan limbah cair tahu dan sampah organik pada hari ke-14 menghasilkan volume biogas optimal sebanyak 327 mL dan 318 mL dari 1200 mL jumlah substrat. Hasil kadar metana dalam biogas yang dihasilkan antara 55-70% dimana sesuai dengan komposisi biogas pada umumnya. Proses sterilisasi terbukti dapat menetralkan bakteri patogen dan memudahkan bahan organik untuk diurai sehingga meningkatkan jumlah biogas.

#### Referensi

- [1] I. Kholiq (2015). "Analisis pemanfaatan sumber daya energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi BBM," *Jurnal Iptek*, vol. 19, no. 2, pp. 75-91. doi: <https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2015.v19i2.12>
- [2] N. Budi Artini, M. Alwi, and Umrah(2014). "PEMANFAATAN LIMBAH CAIR TEMPE DAN LIMBAH CAIR TAHU DENGAN MENGGUNAKAN INOKULUM YANG BERBEDA UNTUK PRODUKSI BIOGAS," *Jurnal Biocelebes*, vol. 8, no. 1, pp. 60-64.
- [3] Y. Hurung Anoi (2021). "Studi Eksperimental Pembuatan Biogas dari Cairan Limbah Tahu dan Sawit dengan menggunakan starter feses sapi," *Jurnal Juara*, vol. 1, no. 2, pp. 2798-3315.
- [4] E. Levina (2016). "Biogas from Tofu Waste for Combating Fuel Crisis and Environmental Damage in Indonesia," [Online]. Available: <http://www.sigs.or.kr>
- [5] O. Kartikasari (2020). "TEKNOLOGI BIOGAS SEBAGAI PENANGANAN LIMBAH GAS PADA INDUSTRI PETERNAKAN," [Online Accessed November 3, 2023]. Available: [http://bappeda.jogjaprovo.go.id/dataku/data\\_dasar/cetak/171-peternakan](http://bappeda.jogjaprovo.go.id/dataku/data_dasar/cetak/171-peternakan)
- [6] Sally, P. Putri Budianto, M. Wafa' K. Hakim, and W. El Kiyat, (2019). "POTENSI PEMANFAATAN LIMBAH CAIR TAHU MENJADI BIOGAS UNTUK SKALA



INDUSTRI RUMAH TANGGA DI PROVINSI BANTEN,” *AGROINTEK*, vol. 13, no. 1. doi: <https://doi.org/10.21107/agrointek.v13i1.4715>

[7] A. A. Damayanti, Z. N. Fuadina, N. N. Azizah, Y. Karinta, and D. I. Ketut Mahardika, (2021). “PEMANFAATAN SAMPAH ORGANIK DALAM PEMBUATAN BIOGAS SEBAGAI SUMBER ENERGI KEBUTUHAN HIDUP SEHARI-HARI,”. doi: <http://dx.doi.org/10.32497/eksergi.v17i03.2803>

[8] T. Kumala Dhaniswara and dan Medya Ayunda Fitri, (2017). “PENGARUH PERLAKUAN AWAL SAMPAH ORGANIK TERHADAP PRODUKSI BIOGAS SECARA ANAEROBIC DIGESTION,”. doi: <https://doi.org/10.55732/jrt.v3i2.231>

[9] C. Y. Lin, W. S. Chai, C. H. Lay, C. C. Chen, C. Y. Lee, and P. L. Show, (2021). “Optimization of hydrolysis-acidogenesis phase of swine manure for biogas production using two-stage anaerobic fermentation,” *Processes*, vol. 9, no. 8. doi: <https://doi.org/10.3390/pr9081324>

[10] D. Anggraini, M. Bunga Pertiwi, and D. Bahrin, (2012). “PENGARUH JENIS SAMPAH, KOMPOSISI MASUKAN DAN WAKTU TINGGAL TERHADAP KOMPOSISI BIOGAS DARI SAMPAH ORGANIK,”.

[11] A. Wahyuni, Muliadi, and Nurhasanah, (2017). “Analisis Kadar Gas Metana (CH<sub>4</sub>) dari Limbah Kubis Pada Berbagai Variasi Komposisi dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis,” *PRISMA FISIKA*, vol. V, no. 2, pp. 68–71. doi: <https://dx.doi.org/10.26418/pf.v5i2.20845>

[12] M. Nurhilal *et al.*, (2021). “PENGARUH KOMPOSISI DAN WAKTU FERMENTASI CAMPURAN LIMBAH INDUSTRI TAHU DAN KOTORAN SAPI TERHADAP KANDUNGAN GAS METHANE PADA PEMBANGKIT BIOGAS,” *Jurnal Teknologi Terapan* |, vol. 6, no. 1. doi: <https://doi.org/10.31884/jtt.v6i1.239>

[13] Prayitno, S. Rulianah, and H. Nurmahdi, (2020). “Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Tahu Menggunakan Bakteri Indigeneous,” *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, vol. 4, no. 2, pp. 90–95. doi: <https://doi.org/10.33795/jtkl.v4i2.141>