

Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas: Optimasi Laju Pertumbuhan Bakteri Dalam Produksi Gas HCHO dan TVOC

Dwipayogo Wibowo^{1,*}, Afanggun Anugerah Nadi¹, Wa Ndibale¹

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Kendari,
Jl. KH. Ahmad Dahlan No. 10, Kendari 93117 – Sulawesi Tenggara, Indonesia.

Email: dwipayogo@umkendari.ac.id

Received 20 Desember 2024 | Revised 15 Januari 2025 | Accepted 17 Januari 2025

ABSTRAK

Penelitian fundamental mengenai produksi gas HCHO dan TVOC dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan laju pertumbuhan bakteri dalam proses fermentasi limbah cair tahu. Maka penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi optimasi produksi biogas dari limbah cair tahu melalui fermentasi anaerobik. Limbah cair tahu dihasilkan dari berbagai tahap proses pembuatan tahu dan mengandung senyawa nitrogen dan fosfat yang tinggi, menyebabkan bau tidak sedap dan potensi eutrofikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu optimal untuk fermentasi biogas berada pada kisaran 20-35°C, dengan suhu optimal dalam digester sekitar 28°C. Pengukuran pH menggunakan pH meter menunjukkan bahwa kondisi optimal pH untuk produksi biogas adalah pada hari ke-4 dengan nilai 10,9. Bakteri metanogen yang dominan dalam fermentasi biogas lebih efisien pada kondisi pH basa. Kinerja fermentasi dan produksi biogas dipengaruhi oleh perubahan pH dan suhu. Kecepatan fermentasi menunjukkan peningkatan pada awal proses, tetapi cenderung menurun setelah beberapa hari karena berkurangnya sumber nutrisi. Berdasarkan analisis linearitas, peningkatan laju fermentasi memiliki hubungan yang cukup signifikan dengan produksi biogas, namun masih memerlukan penyesuaian kondisi lingkungan. Penelitian ini memberikan pemahaman penting dalam optimasi produksi biogas dari limbah cair tahu dengan mempertimbangkan faktor-faktor pH dan suhu, yang dapat berkontribusi pada lingkungan yang lebih berkelanjutan.

Kata kunci: tahu, limbah, bakteri, gas, optimasi

ABSTRACT

Fundamental research of HCHO and TVOC gas production can serve as a parameter for determining the bacterial growth rate in the fermentation process of tofu liquid waste. So, this study aims to identify the optimization of biogas production from tofu liquid waste through anaerobic fermentation. Tofu liquid waste is generated from various stages of the manufacturing process and contains high nitrogen and phosphate compounds, causing an unpleasant odor and potential eutrophication. The results showed that the optimal temperature for biogas fermentation is 20-35°C, with the optimal temperature in the digester around 28°C. The pH meter measurement showed that the optimal pH condition for biogas production was on day 4, with a value of 10.9. The dominant methanogen bacteria in biogas fermentation are more efficient in alkaline pH conditions. Fermentation performance and biogas production were affected by changes in pH and temperature. Fermentation speed increased at the beginning of the process but tended to decrease after a few days due to the reduction of nutrient sources. Based on linearity analysis, increasing fermentation rate has a significant relationship with biogas production but still requires adjustment of environmental conditions. This study provides important insights into optimizing biogas production from tofu wastewater by considering pH and temperature factors, which can contribute to a more sustainable environment.

Keywords: Tofu, Waste, Bacteria, Gas, Optimization

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan dasar manusia yang tidak dapat diabaikan adalah sumber pangan. Di antara produk olahan dari kacang kedelai, tahu menjadi salah satu contoh produk pangan yang sangat banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia [1]. Di Indonesia, rata-rata konsumsi tahu oleh keluarga prasejahtera mencapai 2.017,50 gram/minggu atau 288,21 gram/hari, sementara tempe sekitar 1.296,50 gram/minggu atau 185,21 gram/hari [2]. Tingginya konsumsi tahu ini mendorong perkembangan industri tahu. Contoh kasus di salah satu pabrik tahu di Desa Morome, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara, yang mampu mengolah 200 kg kacang kedelai per hari. Namun, dalam upaya meningkatkan produksi tahu, penting juga untuk mempertimbangkan aspek dari dampak lingkungan yang ditimbulkannya, terutama pada limbah pabrik tahu dan mencari solusi melalui penerapan teknologi pengolahan limbah yang efektif.

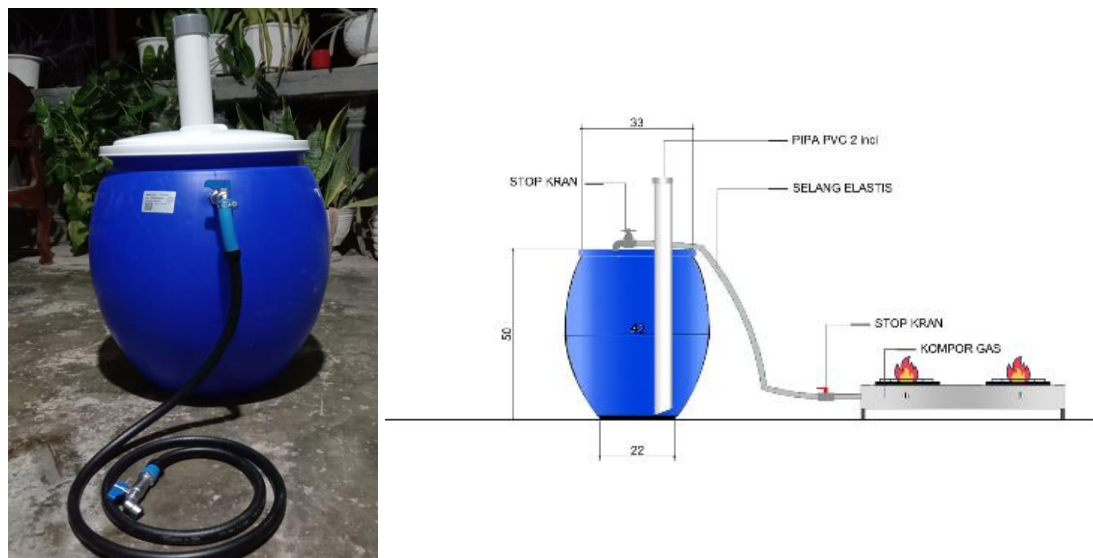
Berbagai macam limbah dari pabrik tahu menjadi konsekuensi dari proses produksi dan pengolahan seperti ampas kedelai dan penggunaan sisa air pada tahap perendaman dan pencucian kedelai. Limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan tahu mengandung berbagai komponen, termasuk protein, minyak, lemak, dan karbohidrat [3, 4]. Selain itu, gas-gas seperti oksigen (O_2), hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), karbon dioksida (CO_2), dan metana (CH_4) juga terdapat dalam limbah ini, hasil dari proses fermentasi alami di lingkungan [5]. Tingkat keasaman (pH) limbah cair menjadi salah satu faktor yang perlu diperhatikan, karena dapat menjadi sumber potensial pencemaran ketika bercampur dengan badan air [6, 7]. Perubahan pH pada lingkungan perairan mempengaruhi reaksi kimia dalam air memicu presipitasi logam berat yang dapat terakumulasi dalam organisme air dan memasuki rantai makanan mengancam ekosistem dan makhluk hidup [8, 9].

Dua jenis limbah dihasilkan dalam proses pembuatan tahu dan pemanfaatannya seperti limbah padat berupa ampas kedelai dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak sapi dan limbah cair hasil pencucian atau perendaman kedelai belum banyak dalam pemanfaatannya sehingga perlu diolah sebelum dibuang ke sungai atau kolam [10]. Meskipun limbah padat ini memiliki potensi manfaat, limbah cair tetap menimbulkan risiko pencemaran lingkungan, terutama air hasil proses pengepresan. Lebih dari 50% dari limbah cair tahu mengandung metana (CH_4) yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dalam bentuk biogas [11]. Pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas merupakan alternatif yang menarik [12, 13], karena nilai energi biogas setara dengan 0,6-0,8 liter minyak tanah per 1 m³ biogas [14]. Penggunaan biogas ini dapat menjadi solusi berkelanjutan sebagai pengganti minyak tanah atau bahan bakar fosil lainnya, yang juga sejalan dengan upaya perlindungan lingkungan.

Proses produksi biogas dari limbah cair tahu skala rumah tangga didasarkan pada pemanfaatan limbah dari berbagai tahapan pembuatan tahu, seperti pencucian kedelai, perebusan, dan pengepresan. Sebagai contoh, pabrik tahu di lokasi penelitian menggunakan sekitar 4.800 liter air setiap harinya. Hasil produksi biogas dari limbah ini dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak, menggerakkan generator, dan penerangan [15]. Keuntungan lainnya adalah biogas merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan emisi asap berbahaya. Pemanfaatan limbah cair tahu sebagai bahan baku untuk biogas memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan yang melimpah [16, 17]. Dalam proses fermentasi, kecepatan produksi biogas ditentukan oleh kinerja bakteri atau mikroba anaerobik yang melakukan fermentasi bahan organik. Bakteri anaerob seperti *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanobacillus*, dan *Methanosarcina* berperan penting dalam proses pembentukan biogas. Penelitian oleh Purwanti dkk. [18] menunjukkan bahwa pencampuran 50% kotoran sapi dan 50% limbah tahu dapat menghasilkan biogas dengan waktu produksi selama 7 hari. Oleh karena itu, penelitian ini akan difokuskan pada pembuatan reaktor biogas sederhana serta analisis optimasi kandungan gas organik seperti formaldehida (HCHO) dan senyawa organik yang mudah menguap (TVOC), guna memaksimalkan produksi biogas yang berkelanjutan dan berpotensi mengurangi dampak lingkungan.

2. METODOLOGI

Tahap awal metode penelitian ini yaitu pemanfaatan limbah tahu dari salah satu pabrik pengolahan tahu di Desa Morome, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara, Indonesia, dengan mengembangkan sebuah reaktor biogas. Tahapan awal pembuatan reaktor biogas yang dilakukan di laboratorium pengujian Teknik Lingkungan, Universitas Muhammadiyah Kendari (UMKendari). Desain reaktor biogas dapat dilihat pada Gambar 1, yang menggambarkan model sederhana dari digester biogas.



Gambar 1. Desain model alat digester biogas

Pada tahap awal eksperimen, pembuatan reaktor biogas dengan mempersiapkan gentong air, 2 buah keran, pipa, selang, dan lem. Model rekayasa reaktor biogas yang dibuat seperti pada Gambar 1 di mana bagian dinding gentong air dilubangi untuk mengalirkan gas keluar untuk disalurkan untuk pemanfaatan biogas, sedangkan desain pipa untuk proses pengisian sampel limbah cair tahu. Setelah reaktor biogas telah dibuat, sampel limbah cair tahu dimasukkan sebanyak 35 liter ke dalam gentong air berkapasitas 55 liter. Proses fermentasi dimulai dengan penambahan 3,5 mL cairan fermentasi *Effective Microorganisms 4* (EM4) ke dalam sampel limbah, kemudian dilakukan homogenisasi dan digester ditutup rapat [19]. Pengujian dilakukan secara berkala dengan mengamati gas yang terbentuk selama periode 11 hari, dengan pengamatan pada hari ke-1, 2, 3, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, dan 25. Alur pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 yang terdiri dari tahap awal pembuatan reaktor, pengujian dengan penambahan sampel dan EM4, dan identifikasi hasil biogas terbentuk menggunakan alat sensor HCHO/TVOC, pH, dan suhu. Hasil identifikasi gas yang terbentuk selama fermentasi, digunakan alat gas *detector* (HCHO/TVOC). Identifikasi ini menjadi dasar untuk menganalisis kecepatan produksi biogas dengan pendekatan orde satu, menggunakan persamaan 1 dalam penentuan laju konstanta.

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t}\right) = k \cdot t \quad (1)$$

Di mana, C_0 adalah gas yang dihasilkan saat waktu pertama, C_t adalah produksi gas setelah proses fermentasi, k adalah laju kecepatan produksi biogas oleh bakteri, dan t adalah waktu produksi. Selain analisis terhadap produksi gas, sampel juga dianalisis terkait pH dan suhu optimalnya. Hal ini bertujuan untuk memahami kinerja bakteri anorganik yang berperan dalam proses produksi biogas. Pengujian suhu dilakukan dengan menggunakan termometer batang dan begitu juga perlakuan dalam penentuan pH menggunakan pH meter dengan memasukkan alat ke dalam reaktor biogas.



Gambar 2. Tahapan proses pelaksanaan penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah cair tahu yang dihasilkan melalui serangkaian tahap seperti proses pencucian, perendaman, penyaringan, pencetakan, dan air penggunaan peralatan pembersih menjadi sumber utama air limbah yang menghasilkan bau tidak sedap dan mengganggu lingkungan. Terganggunya lingkungan menyebabkan terganggunya perairan di sekitar industri tahu sehingga menurunkan kualitas air sekitarnya [20]. Kandungan protein kedelai yang berada pada tahu terlarut ke dalam air dan terbuang menghasilkan limbah yang dikenal sebagai air dadih mengandung konsentrasi tinggi senyawa nitrogen dan fosfat [21]. Hal ini menyebabkan timbulnya bau yang tidak sedap dan fenomena eutrofikasi, yang terbukti merugikan lingkungan [22]. Selain itu, pencemaran lingkungan akibat limbah cair tahu yang dibuang tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu ke perairan mengakibatkan kematian organisme-organisme air terjadi penurunan kadar oksigen terlarut dalam air [23]. Limbah yang dibiarkan dalam jangka waktu yang lama dan menumpuk menjadikan mikroorganisme sulit untuk mengurai zat-zat yang terkandung dalam limbah memperburuk pencemaran lingkungan [24].

Industri tahu harus memiliki andil signifikan dalam penurunan kualitas air dan berdampak negatif terhadap ekosistem perairan serta organisme yang hidup di dalamnya [25]. Studi yang dilakukan oleh [26] pendekatan *life cycle assessment* (LCA) telah mengungkapkan dampak negatif dari limbah cair tahu. Limbah ini menyumbang dalam produksi senyawa-senyawa yang tidak ramah lingkungan, termasuk CO₂, 1,4-dikloro benzena, senyawa PO₃ yang terlibat dalam proses eutrofikasi, serta C₂H₄ dan SO₂. Beberapa penelitian telah berusaha memanfaatkan limbah cair tahu ini. Contohnya adalah penggunaannya sebagai tambahan nitrogen dalam produksi *nata de coco* [27], pemanfaatan dalam pembuatan membran organik [28], dan serta konversi menjadi pupuk cair organik [29]. Penelitian yang dilakukan oleh Chusniyah dkk. [30] pemberdayaan masyarakat terhadap pemanfaatan limbah cair tahu bagi masyarakat di sekitar pabrik tahu perlu ditingkatkan untuk dimanfaatkan sebagai energi alternatif biogas. Pemanfaatan limbah cair tahu juga dapat dikembangkan untuk pengolahan *nata de soya* melalui tahapan fermentasi [31].

Pada naskah ini penelitian yang dilakukan memiliki tujuan utama untuk mengkaji potensi pemanfaatan limbah tahu melalui proses konversi menjadi biogas. Upaya ini melibatkan evaluasi proses fermentasi anaerobik dengan penekanan pada identifikasi waktu optimal proses fermentasi berdasarkan hasil gas HCHO yang dihasilkan dari reaktor biogas. Melalui pendekatan ini, identifikasi periode fermentasi yang efisien dengan memprediksikan kecepatan fermentasi ketika jumlah sampel ditingkatkan. Selain itu, upaya ini memiliki dampak signifikan dalam mengubah limbah cair dari industri tahu menjadi sumber

energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Optimasi produk biogas, kecepatan fermentasi, identifikasi pH, dan suhu diulas dalam sub-bab berikut ini.

3.1. Optimasi Produksi Biogas dan Kecepatan Fermentasi Bakteri

Fermentasi limbah cair tahu dengan penambahan EM4 untuk proses penguraian limbah cair tahu sehingga menghasilkan biogas karena EM4 mengandung bakteri dekomposer seperti *lactobacillus* sp., bakteri asam laktat, bakteri foto sintetik, *streptomyces*, jamur pengurai selulosa, dan bakteri pelarut fosfor untuk meningkatkan efisiensi proses fermentasi [32, 33]. Hasil biogas yang diteliti menggunakan alat sensor HCHO dan TVOC yang diukur secara berkala selama 25 hari untuk menentukan optimum hasil gas yang dihasilkan. Pada tahap-tahap awal fermentasi, yakni pada hari ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, dan seterusnya, dilakukan pengecekan kualitas hasil fermentasi setiap pertiga hari. Data hasil pengukuran gas HCHO dan TVOC dijelaskan secara lebih rinci dalam Tabel 1, yang memberikan informasi penting mengenai progres fermentasi dan produksi gas yang optimal. Hasil-hasil ini memberikan pemahaman terkait perubahan komposisi gas selama proses fermentasi dan memungkinkan untuk mengidentifikasi periode waktu optimum dalam menghasilkan biogas. Hasil pengukuran gas HCHO dan TVOC dapat dilihat pada Tabel 1.

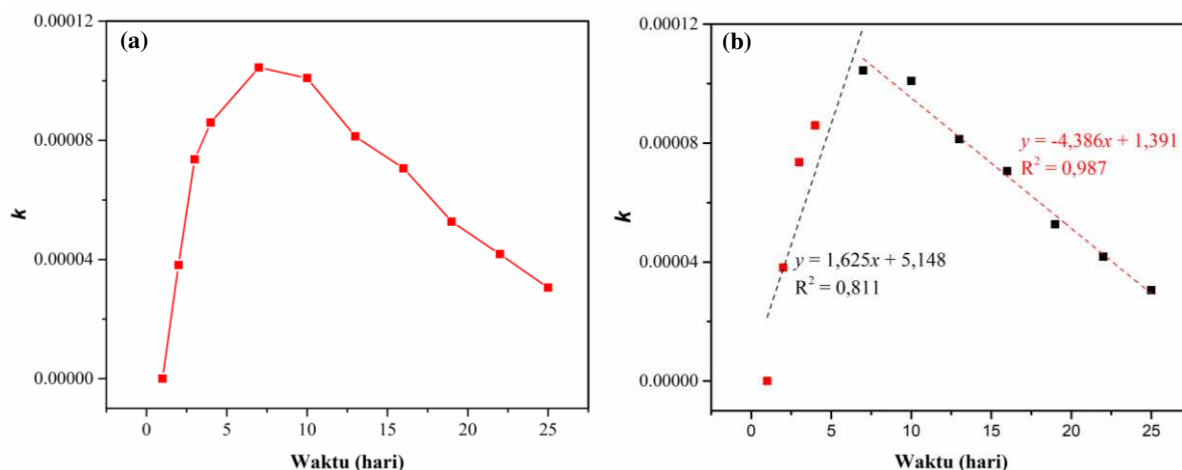
Tabel 1. Hasil identifikasi gas yang dihasilkan dari fermentasi limbah cair tahu

Waktu Hari ke-	Nilai Gas yang dihasilkan	
	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
1	0,001	0,481
2	0,027	0,585
3	0,578	1,421
4	1,680	6,163
7	8,292	9,999
10	6,088	9,999
13	1,129	5,906
16	0,445	3,533
19	0,095	1,442
22	0,037	0,598
25	0,014	0,390

Gas HCHO yang diidentifikasi adalah gas turunan aldehida untuk menentukan seberapa besar kandungan gas yang dihasilkan dari proses fermentasi, begitu juga gas TVOC adalah gas uap yang dihasilkan dari proses fermentasi seperti NH₄, CH₄, CO₂, NO₂, dan SO₂ [34, 35]. Perubahan dalam konsentrasi HCHO dan TVOC dapat memberikan petunjuk tentang keseimbangan mikroba, suhu, kelembaban, dan nutrisi dalam reaktor. Gas campuran dalam biogas yang dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerobik (tanpa udara) dapat digunakan untuk memonitor gas HCHO dan TVOC. Berdasarkan data (Tabel 1) memperlihatkan bahwa gas yang dihasilkan dari hari ke-1 sampai ke-7 mengalami peningkatan secara signifikan yang diikuti dengan nilai gas TVOC. Pada hari ke-10 sampai ke-25 produksi gas mulai menurun mengindikasikan bahwa proses fermentasi mulai menurun. Pendekatan produksi gas berkaitan dengan kinerja bakteri dalam mengonversi limbah tahu menjadi gas. Proses degradasi anaerob dalam biogas mulai menurun diakibatkan oleh pada fase ini sumber pangan bakteri sudah mulai berkurang dan tidak dapat memproduksi biogas. Pendekatan kecepatan kinerja bakteri untuk fermentasi limbah cair tahu dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 menggambarkan kecepatan laju fermentasi bakteri dalam menghasilkan biogas dari limbah cair tahu, di mana kecepatan laju fermentasi mengikuti persamaan orde satu. Menurut Firmana dan Tjahjani [36], laju reaksi fermentasi bakteri mengikuti persamaan laju reaksi orde satu yang dapat dinilai melalui koefisien determinasi (R^2) pada grafik selama periode terjadi peningkatan dan penurunan dengan nilai tertinggi yang mendekati satu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari hari ke-1 hingga ke-7, kecepatan laju fermentasi mengalami peningkatan yang ditandai oleh peningkatan kinerja bakteri

dan pertumbuhan bakteri untuk mengonversi limbah cair tahu menjadi biogas. Namun, pada hari ke-7 hingga ke-25, terjadi penurunan laju fermentasi yang mengindikasikan bahwa kemampuan bakteri mulai menurun dalam menghasilkan biogas (Gambar 3a). Hal ini disebabkan oleh ketidakseimbangan nutrisi berkurangnya sumber makanan bagi bakteri dalam mendegradasi limbah cair tahu [13]. Selain itu, kompetisi antar mikroorganisme juga berperan dalam persaingan sumber daya atau hidup mengakibatkan penurunan jumlah bakteri yang kebolehtahanan pertumbuhan terbatas [37, 38].



Gambar 3. Kinetika kecepatan laju fermentasi bakteri pada limbah cair tahu, (a) Kinetika reaksi orde satu hasil produksi gas, (b) Penentuan laju kecepatan produksi dan penurunan fermentasi bakteri

Gambar 3b kami menggambarkan perubahan laju fermentasi, baik peningkatan maupun penurunan berdasarkan kurva linearitas. Pada peningkatan laju fermentasi untuk produksi biogas diperoleh persamaan $y = 1,625x + 5,148$ dengan nilai $R^2 = 0,811$. Hal ini mengindikasikan bahwa hubungan antara variabel tersebut cukup signifikan, meskipun koefisien determinasi (R^2) belum mencapai nilai 1. Nilai R^2 yang lebih rendah dari 1 menunjukkan bahwa sebagian variasi dalam hasil fermentasi dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti penyesuaian bakteri terhadap lingkungan. Pertumbuhan dan produksi biogas yang dilakukan oleh bakteri masih memerlukan penyesuaian kondisi seperti suhu, pH, ketersediaan nutrisi, dan faktor lingkungan lainnya (seperti oksigen). Penyesuaian kondisi lingkungan seperti suhu dan pH dapat memiliki dampak besar pada pertumbuhan dan aktivitas bakteri dalam proses fermentasi. Peningkatan laju produksi biogas dengan mengetahui persamaan garis linier kita dapat memprediksi laju kecepatan bakteri dalam memproduksi biogas. Ketika limbah tahu dan EM4 digunakan 2 kali lipat maka diprediksikan bahwa laju pertumbuhan bakteri juga menganut persamaan yang sama. Sementara itu, linieritas dari penurunan laju fermentasi ditunjukkan oleh persamaan $y = -4,386x + 1,391$ dengan nilai $R^2 = 0,987$. Nilai koefisien determinasi yang tinggi ini menunjukkan bahwa penurunan laju fermentasi limbah cair tahu menuju produksi biogas terjadi secara konsisten. Proses penurunan yang landai ini mengindikasikan bahwa bakteri secara perlahan mengalami penurunan dalam proses fermentasi limbah cair tahu untuk menghasilkan biogas. Faktor ini disebabkan sumber nutrisi dalam limbah cair tahu sudah mulai menurun sehingga bakteri sudah tidak dapat memproduksi biogas [39].

3.2. Optimasi pH dan Suhu Fermentasi

Optimasi produk fermentasi biogas dalam penelitian ini secara sistematis diawali pada hari ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, dan dilanjutkan secara berkala dengan pengecekan terjadinya setiap tiga hari yang ditunjukkan pada Tabel 2. Kinerja pertumbuhan mikroorganisme, termasuk bakteri yang berperan dalam fermentasi, dipengaruhi oleh faktor-faktor krusial seperti suhu dan sumber karbon (pangan) yang tersedia [40]. Fermentasi anaerobik oleh mikroorganisme, khususnya bakteri, mampu berkembang

optimal pada suhu ruang yang berkisar antara 20-25 °C. Rentang ini sering dikategorikan sebagai suhu psikotropika, sementara optimum pertumbuhan mikroorganisme berkisar antara 20 hingga 35°C. Namun, ketika suhu turun di bawah 20°C, proses pembentukan gas organik akan memerlukan waktu yang lebih lama.

Dalam penelitian ini, pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter, sedangkan suhu diukur menggunakan termometer tanah. Berdasarkan hasil penelitian, nilai pH optimum tercapai pada hari ke-4 dengan nilai 10,9. Fermentasi biogas yang dilakukan oleh bakteri umumnya lebih efisien dan menguntungkan pada kondisi pH yang bersifat basa (alkalis) dibandingkan dengan kondisi asam. Hal ini terutama berkaitan dengan dominasi bakteri *metanogen* dalam proses fermentasi biogas. Bakteri *metanogen* bertanggung jawab dalam mengubah produk antara fermentasi menjadi metana (komponen utama biogas) dan umumnya lebih aktif pada kondisi pH basa. Selain itu, lingkungan yang bersifat basa juga dapat mencegah pertumbuhan bakteri penghambat atau patogen yang dapat bersaing dengan bakteri *metanogen*, sehingga mengganggu proses fermentasi. Beberapa enzim yang berperan dalam proses fermentasi biogas menunjukkan aktivitas optimal pada kondisi pH basa, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kecepatan reaksi serta produksi biogas [41].

Tabel 2. Hasil Pengamatan pH dan Suhu dalam Proses Fermentasi Biogas

Waktu Hari ke-	Nilai Gas yang dihasilkan	
	pH	Suhu (°C)
1	5,2	28
2	6,1	28
3	7,9	27
4	10,9	28
7	9,6	26
10	9,5	27,3
13	7,5	27,1
16	7,2	25
19	7,2	24,5
22	6,1	28,4
25	5,2	24,5

Sementara itu, suhu optimum yang teridentifikasi dalam digester adalah 28°C. Suhu ini berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme yang terlibat dalam fermentasi anaerobik untuk menghasilkan biogas. Pada suhu tersebut, mikroorganisme bekerja dengan efisien, meningkatkan kecepatan reaksi enzimatik, serta mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Pemantauan suhu sangat penting untuk memastikan bahwa proses fermentasi biogas berjalan dengan baik dan efisien. Semakin tinggi produksi gas organik, kondisi pH dalam digester cenderung meningkat menuju kisaran basa. Namun, jika produksi gas organik menurun, pH dalam digester juga akan kembali turun menuju kondisi asam [42, 43]. Proses identifikasi *seeding* dengan parameter pH sangat baik dalam proses menumbuhkan mikroorganisme pada media untuk mengolah air limbah karena bakteri yang berkembang biak akan melakukan metabolisme, yaitu proses yang membutuhkan nutrisi untuk meregenerasi sel tubuhnya dan menghasilkan energi atau produk lainnya [44]. Sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nisrina dan Andarani [44] bahwa nilai pH pada proses pembiakan awal proses yang terjadi pada kondisi asam (pH) antara 6,58 sampai 6,56. Sementara itu, penelitian yang sama dilakukan oleh Rajagukguk [39] menyatakan bahwa dari hari ke 0 sampai ke hari 30 kondisi pH dari proses *seeding* mengalami peningkatan dari asam ke basa yaitu dari pH 6,1 menjadi 7,9 dengan temperatur yang berubah-ubah dalam reaktor mengikuti suhu lingkungan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi optimasi produksi biogas dari limbah cair tahu dan melihat laju fermentasi yang dilakukan bakteri. Penentuan pH dan suhu optimum juga diidentifikasi untuk mengidentifikasi faktor pendukung dalam proses produksi biogas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biogas yang terbentuk secara optimal pada hari ke 7 sampai ke 10 dengan pH basa dan temperatur ruangan (25-35°C). Kecepatan fermentasi menunjukkan peningkatan pada awal proses, tetapi cenderung menurun setelah beberapa hari karena berkurangnya sumber nutrisi. Penelitian ini memberikan pemahaman penting dalam optimasi produksi biogas dari limbah cair tahu dengan mempertimbangkan faktor-faktor pH dan suhu, yang dapat berkontribusi pada lingkungan yang lebih berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Pabrik Produksi Tahu dan Tempe di Desa Morome, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara atas izin yang diberikan untuk membantu peneliti mengembangkan limbah cair tahu. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Lingkungan dalam memfasilitasi layanan laboratorium pada proses pengujian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sinaga, R. J. R., Lubis, S. N., & Darus, M. B. (2017). Kajian faktor-faktor sosial ekonomi masyarakat terhadap ketahanan pangan rumah tangga di Medan. *Journal of Agriculture and Agribusiness Socioeconomics*, 2(5), 15067.
- [2] Hafni, F. (2019). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Jumlah Konsumsi Tempe Rumah Tangga di Kecamatan Medan Kota, Kota Medan. Universitas Sumatera Utara.
- [3] Gunawan, O., Aida, N., & Nengsih, S. (2022). Pengaruh Temperatur Campuran Limbah Cair Tahu Limbah Roti dan Feses Sapi terhadap Hasil Biogas. *Lingkar: Journal of Environmental Engineering*, 3(2), 26–43.
- [4] Setyawati, H., ST Salaria, L. A., & Sari, S. A. (2018). Penerapan Penggunaan Serbuk Biji Kelor Sebagai Koagulan Pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Pabrik Tahu Di Sentra Industri Tahu Kota Malang. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 8(1), 21–31.
- [5] Sally, Budianto, Y. P., Hakim, M. W. K., & El Kiyat, W. (2015). Potensi Pemanfaatan Limbah Cair Untuk Skala Industri Rumah Tangga Di Provinsi Banten. *Agrointek Journals*, 13(1), 1–11.
- [6] Hatina, S., & Komala, R. (2020). Pemanfaatan HCl dan CaCl₂ sebagai zat aktivator dalam pengolahan limbah industri tahu. *Jurnal Redoks*, 5(1), 20–31.
- [7] Pagoray, H., Sulistyawati, S., & Fitriyani, F. (2021). Limbah cair industri tahu dan dampaknya terhadap kualitas air dan biota perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(1), 53–65.
- [8] Wibowo, D., Basri, B., Adami, A., Sumarlin, S., Rosdiana, R., Wa, N., ... Ilham, I. (2020). Analisis Logam Nikel (Ni) dalam Air Laut dan Persebarannya di Perairan Teluk Kendari, Sulawesi Tenggara. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 8(2), 144–150. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2020.8-dwi>
- [9] Ndibale, W., Kadir, A., & Wibowo, D. (2022). Efektivitas Penyaringan Air Berbasis Kulit Durian Kering Sebagai Media Filtrasi Kadar Logam Berat Kadmium Dan Timbal. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 6(1), 36–43.
- [10] Hasibuan, A., Sadia, H., & Amalia, T. (2023). Pemanfaatan Eceng Gondok untuk menurunkan Kandungan COD (Chemical Oxygen Demand), pH, Bau, dan Warna pada Limbah Cair Tahu di Indonesia. *JIPDAS (Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar)*, 1(3), 1–11.
- [11] Sally, S., Budianto, Y. P., Hakim, M. W., & El Kiyat, W. (2019). Potensi pemanfaatan limbah cair tahu menjadi biogas untuk skala industri rumah tangga di Provinsi Banten. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 13(1), 43–53.

- [12] Prihatiningtyas, S., Sholihah, F. N., & Nugroho, M. W. (2019). Biodigester untuk Biogas. fakultas pertanian, universitas KH wahab hasbullah.
- [13] Prihatiningtyas, S., Sholihah, F. N., & Nugroho, M. W. (2019). Pemberdayaan Karang Taruna Dalam Pembuatan Biogas Limbah Cair Tahu Sebagai Wujud Kepedulian Lingkungan Di Dusun Bapang Sumbermulyo Jombang. *Jurnal Al-Ikhlash*, 5(1), 56–68.
- [14] Febriyani, F. (2021). Instalasi Biogas Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Limbah Kotoran Sapi Sebagai Bahan Baku. In *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)* (Vol. 1).
- [15] Haryanto, A., Triyono, S., Telaumbanua, M., & Cahyani, D. (2020). Pengembangan listrik tenaga biogas skala rumah tangga untuk daerah terpencil di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem (JRPB)*, 8(2), 168–183.
- [16] Taufani, M. R. (2023). *Teknologi Ramah Lingkungan*. Nuansa Cendekia.
- [17] Rahayu, F. M. (2023). *Biogas dan Pemanfaatannya*. Bumi Aksara.
- [18] Purwanti, A. (2023). Optimization of Biogas Production from Tofu Wastewater. *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology*, 9(01), 24–29.
- [19] Siringoringo, J., Harahap, S., & Purwanto, E. (2021). Efektifitas Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Menggunakan EM4 dalam Biofilter untuk Menurunkan Kadar BOD5 dan COD. *Jurnal Sumberdaya Dan Lingkungan Akuatik*, 2(1), 174–183.
- [20] Prasetyadi, L. A. W., & Kusnoputranto, H. (2018). Evaluasi Kinerja Operasi Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu menjadi Biogas di Kota Probolinggo Operation of Fixed Bed Anarobic System for Tofu Liquid Waste Treatment in Probolinggo City. *Jurnal Teknologi Lingkungan Vol*, 19(1), 61–70.
- [21] Widodo, H., Wardani, L. A., & Kuswoyo, V. A. (2021). Aplikasi Bioaktivator Limbah Tahu dalam Pembuatan Pupuk Cair Organik dari Sampah Pasar dan Daun Kering. *Agroindustrial Technology Journal*, 5(2), 38–50.
- [22] Shaskia, N., & Yunita, I. (2021). Persepsi Masyarakat terhadap Dampak Limbah Tahu di Sekitar Sungai. *Tameh: Journal of Civil Engineering*, 10(2), 59–68.
- [23] Tuhi Agung, R., & Winata, H. S. (2010). Pengolahan air limbah industri tahu dengan menggunakan teknologi plasma. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(2), 19–28.
- [24] Setiawan, A., & Rusdijjati, R. (2014). Peningkatan kualitas biogas limbah cair tahu dengan metode taguchi. *Prosiding SNATIF*, 35–40.
- [25] Pagoray, H., Sulistyawati, S., & Fitriyani, F. (2021). Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(1), 53–65. <https://doi.org/10.36084/jpt.v9i1.312>
- [26] Lolo, E. U., Gunawan, R. I., Krismani, A. Y., & Pambudi, Y. S. (2021). Penilaian Dampak Lingkungan Industri Tahu Menggunakan Life Cycle Assessment (Studi Kasus: Pabrik Tahu Sari Murni Kampung Krajan, Surakarta). *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4).
- [27] Sakti, D. W., & Trimulyono, G. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Cair Industri Tahu sebagai Sumber Nitrogen terhadap Kualitas Nata De Coco. *LenteraBio*, 8(1), 36–43. Retrieved from <http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio>
- [28] Dewi, A. K., Djajakirana, G., & Santosa, D. A. (2020). Potensi Limbah Tahu untuk Menghasilkan Listrik pada Tiga Model Sistem Microbial Fuel Cell (MFC). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 22(1), 29–34.
- [29] Aliyannah, A., Napoleon, A. N. A., & Yudono, B. (2015). Pemanfaatan limbah cair industri tahu sebagai pupuk cair organik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir). *Jurnal penelitian sains*, 17(3).
- [30] Chusniyah, D. A., Pratiwi, R., Pudyastuti, K., Zabidi, L., Prima, A., Akbar, R., & Sugiarti, L. (2019). Penyuluhan Pengolahan Limbah Cair Tahu Sebagai Energi Alternatif Biogas Di Pabrik Tahu Usaha Maju Pangan Suplai. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia (JAMIN)*, 1(2).
- [31] Marliyana, S. D., Fatrozi, S., Inas, D., Wibowo, F. R., Firdaus, M., Kusumaningsih, T., ... Suryanti, V. (2021). Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Nata de soya Melalui Proses Fermentasi. In *Proceeding of Chemistry Conferences* (Vol. 6, pp. 34–37).
- [32] Munir, R. (2022). Efektivitas Em4 (Efektif Mikroorganisme 4) Dan Feses Sapi Pada Sampah Organik Sebagai Produksi Biogas. UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

- [33] Agnesia, V., & Sulistyaningsih, T. (2022). Activities of Liquid Organic Fertilizer from the Date Juice Waste During Hydroponic Plant Growth. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11(3), 277–289.
- [34] Srivastava, S. K. (2020). Advancement in biogas production from the solid waste by optimizing the anaerobic digestion. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2, 85–103.
- [35] Radaideh, J. A., Alazba, A. A., Amin, M. N., Shatnawi, Z. N., & Amin, M. T. (2016). Improvement of indoor air quality using local fabricated activated carbon from date stones. *Sains Malaysiana*, 45(1), 59–69.
- [36] Firmana, A. A. N., & Tjahjani, S. (2014). Karakterisasi Hasil dan Penentuan Laju Reaksi Fermentasi Bonggol Pisang (*Musa paradisiaca*) menjadi Etanol dengan *Saccharomyces cerevisiae*. *UNESA Journal Of Chemistry*, 3(3), 21–26.
- [37] Yulistiani, F., Permanasari, A. R., Ridwan, I., Nurhasanah, A., & Warda, S. (2017). Analisis pengaruh pre-treatment eceng gondok sebagai bahan baku pembuatan biogas. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 8, pp. 35–41).
- [38] Maulana, A., Supartono, S., & Mursiti, S. (2017). Bioremediasi Logam Pb pada Limbah Tekstil dengan *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(3), 256–261.
- [39] Rajagukguk, K. (2020). Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Menggunakan Reaktor Biogas Portabel. *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 1(2), 63–71. <https://doi.org/10.18196/jqt.010210>
- [40] Adnyana, G., Gunam, I. B. W., & Anggreni, A. (2016). Penentuan Suhu Dan Sumber Karbon Terbaik Pada Pertumbuhan Isolat Sbj8 Dalam Biodesulfurisasi Dibenzo(tio)fenol. *J. Rekayasa Dan Manaj. Agroindustri*, 4(4), 43–48.
- [41] Mamanua, E., Soputan, J. E. M., & Sondakh, E. H. B. (2023). Kombinasi feses ternak babi dan limbah sayuran untuk optimalisasi produksi biogas. *ZOOTEC*, 43(1), 94–101.
- [42] Rezeki, S., Ivontianti, W. D., & Khairullah, A. (2021). Optimasi Temperatur Pada Produksi Biogas dari Limbah Rumah Makan di Kota Pontianak. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 5(1), 32–38.
- [43] Kurniati, Y., Rahmat, A., Malianto, B. I., Nandayani, D., & Pratiwi, W. S. W. (2021). Review analisa kondisi optimum dalam proses pembuatan biogas. *Rekayasa*, 14(2), 272–281.
- [44] Nisrina, H., & Andarani, P. (2018). Pemanfaatan Limbah Tahu Skala Rumah Tangga Menjadi Biogas Sebagai Upaya Teknologi Bersih Di Laboratorium Pusat Teknologi Lingkungan – Bppt. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15(2), 139. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i2.139-140>