

Potensi Produksi Biohidrogen dari Limbah Buah Naga (*hylocereus polyhizus*) dengan Proses Pencernaan Anaerobik

Angge Dhevi Warisaura^{1*}, Mukasi Wahyu Kurniawati²

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

²Jurusan Teknik Kimia, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

*Koresponden email: angge@akprind.ac.id

Diterima: 9 Januari 2024

Disetujui: 13 Januari 2024

Abstract

This research aims to explore the potential of dragon fruit waste as a source of biohydrogen through anaerobic fermentation. The research background highlights the urgency of renewable energy and identifies the potential for dragon fruit waste. Using experimental methods and involving dragon fruit waste and cow dung, this research includes evaluation of waste characteristics, inoculum pre-treatment, medium preparation, biohydrogen production, and analysis of results. The research results show that Total Solids (TS) has increased every day, indicating that there is still high decomposition of organic material which affects biohydrogen production. The test results showed that the TS percentage experienced a significant increase in solids content reaching 96% on the seventh day, while the VS percentage increased from 19% on the first day to 80% on the seventh day. The increase in Volatile Fatty Acid (VFA) concentration and hydrogen production on the sixth day illustrates the potential of waste as a renewable energy source. The conclusion of this research states that dragon fruit waste has the potential for biohydrogen production of 4 mL from a substrate volume of 500 mL or around 0.8%.

Keywords: *organic waste, anaerobic process, biohydrogen, dragon fruit waste*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi limbah buah naga sebagai sumber biohidrogen melalui fermentasi anaerobik. Latar belakang penelitian menyoroti urgensi energi terbarukan dan mengidentifikasi potensi limbah buah naga. Dengan menggunakan metode eksperimental dan melibatkan limbah buah naga serta kotoran sapi, penelitian ini mencakup evaluasi karakteristik limbah, pra-perlakuan inokulum, preparasi medium, produksi biohidrogen, dan analisis hasil. Hasil penelitian menunjukkan Total Padatan (TS) mengalami peningkatan setiap harinya mengindikasikan masih tingginya dekomposisi bahan organik yang memengaruhi produksi biohidrogen. Hasil uji menunjukkan bahwa persentase TS mengalami peningkatan kandungan padatan yang signifikan mencapai 96 % pada hari ketujuh, sementara persentase VS meningkat dari 19 % pada hari pertama menjadi 80% pada hari ketujuh. Peningkatan konsentrasi Asam Lemak Volatil (VFA) dan produksi hidrogen pada hari keenam menggambarkan potensi limbah sebagai sumber energi terbarukan. Kesimpulan dari penelitian ini menyatakan bahwa limbah buah naga memiliki potensi untuk produksi biohidrogen sebesar 4 mL dari volume substrat 500 mL atau sekitar 0,8%.

Kata Kunci: *limbah organik, proses anaerobik, biohidrogen, limbah buah naga*

1. Pendahuluan

Krisis global dalam sektor energi dan dampak negatif dari bahan bakar fosil telah mendorong perlunya pengembangan sumber energi yang bersifat non-polutif dan dapat diperbarui. Hidrogen (H₂) telah diidentifikasi sebagai pilihan utama karena sifatnya yang bersih, fleksibel, dan dapat diperbarui. Salah satu metode produksi biohidrogen, yaitu fermentasi anaerobik/gelap, memberikan solusi lingkungan dengan kemampuannya untuk mengolah limbah organik. Limbah buah naga dan kotoran sapi dianggap sebagai substrat yang menjanjikan untuk produksi biohidrogen karena ketersediaannya, biaya yang terjangkau, dan kandungan senyawa organik yang dapat dimanfaatkan oleh bakteri anaerob.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai proses produksi biohidrogen dari kedua substrat tersebut, mengevaluasi potensi produksi gas H₂, serta mengungkap manfaat dan batasan dari penelitian ini. Hidrogen (H₂) dikenal sebagai bahan bakar bersih dan efisien dengan berbagai keunggulan [1]. Salah satu metode produksi H₂ yang menarik adalah melalui proses fermentasi anaerobik/gelap, di mana bakteri bekerja tanpa oksigen untuk mengubah gula menjadi H₂, bersama dengan beberapa produk samping yang berguna [2]. Prosesnya melibatkan beberapa reaksi biokimia, di mana enzim tertentu seperti piruvat-format liase (PFL) dan piruvat-fere-doksin oksidoreduktase (PFOR) berperan penting [3]. Bakteri

tertentu, seperti *Clostridia* dan *Methylothrophs*, menggunakan sistem ini untuk menghasilkan H₂. Selama proses ini, limbah organik seperti buah naga dapat menjadi bahan baku yang bagus karena kaya karbohidrat, protein, dan lemak [4]. Dalam konversi bahan-bahan organik menjadi hidrogen melalui fermentasi gelap (*dark fermentation*), salah satu substrat yang dapat dimanfaatkan yaitu *sludge* dari hasil produksi biogas. Substrat berbasis karbohidrat merupakan substrat yang paling baik, karena dapat menghasilkan yield hidrogen yang tinggi [5]. Akan tetapi, dalam praktiknya, terdapat hambatan berupa yield hidrogen yang rendah (dikarenakan terbentuknya biomassa, asam organik, dan gas CO₂) dan juga kecepatan pembentukan hidrogen yang rendah [6].

Selain itu, kondisi lingkungan seperti pH, suhu, dan sejumlah faktor lainnya memengaruhi seberapa efisien produksi H₂ ini [7]. Tujuan dari produksi bio- H₂, selain sebagai bahan bakar bersih, adalah mengurangi limbah organik dan mendukung energi terbarukan [6]. Dengan demikian, produksi bio- H₂ dapat menjadi solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan, membantu kita mencapai masa depan energi yang lebih bersih. Pada akhirnya, diharapkan penelitian ini memberikan wawasan baru tentang potensi limbah buah naga sebagai bahan baku produksi biohidrogen dan memperluas pemahaman kita tentang keberlanjutan energi terbarukan melalui penggunaan bahan-bahan alami. Dengan mempertimbangkan kondisi pencernaan anaerobik, metode fermentasi anaerobik/gelap, dan penggunaan bioreaktor skala laboratorium, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini termasuk dalam jenis eksperimen dengan menggunakan limbah buah naga dan kotoran sapi sebagai bahan utama. Analisis yang dilakukan mencakup pengukuran volume biohidrogen dan analisis gravimetrik dari substrat. Penelitian ini berfokus pada variabel waktu fermentasi.

Alat dan bahan

Bahan penelitian berupa limbah buah naga (*bad stock*) yang diperoleh dari Pasar Buah dan Sayur Giwangan, Yogyakarta, limbah tahu dari pabrik tahu daerah Sewon, Bantul, Yogyakarta dan kotoran sapi dari Pleret, Bantul, Yogyakarta. Bahan-bahan lain yang digunakan dalam riset ini meliputi : akuades, limbah tahu, HCl 2M, NaOH, pepton, *yeast extract*, glukosa, KH₂PO₄, Na₂HPO₄, MgSO₄·7H₂O, NaHCO₃, *PYG (Pepton, Yeast, Glucose)*, H₂SO₄, NaCl.



Gambar 1. Rangkaian alat fermentasi

Adapun untuk alat utama terdiri dari fermentor modifikasi dari erlenmeyer dan alat pengukur gas dengan prinsip *water displacement method*. Erlenmeyer volume 500mL yang telah dimodifikasi dan dilengkapi dengan termometer dan kran pengambil sampel pada bagian bawah. Reaktor dilengkapi selang, kantong pengumpul gas serta pengukur volume gas.

Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam riset ini diantaranya, yaitu persiapan inokulum, persiapan substrat, produksi biohidrogen, dan terakhir yaitu metode analisis.

Persiapan Substrat Limbah Buah: Limbah buah dari pasar diiris kecil dan dihaluskan dengan blender. Limbah buah disimpan di bawah 4 °C tapi di atas titik beku untuk menghindari kerusakan akibat mikroba [8].

Pra-perlakuan Isolat Kultur Mikroba Campuran (Inokulum): Pra-perlakuan mengikuti prosedur Kharisma [9] dengan kultur mikroba campuran dari limbah buah, limbah industri tahu, dan kotoran sapi. Tujuannya, menonaktifkan bakteri metanogenik yang biasanya menghasilkan gas metana dengan H₂. Mikroba penghasil H₂ lebih tahan panas dan asam dibanding mikroba metanogenik. Proses deaktivasi melibatkan pengasaman dengan HCl 37% 2 M selama 24 jam, diikuti penyesuaian pH optimal (6-7) menggunakan NaOH 2 M. Langkah persiapan medium mengikuti metode dengan menggunakan medium pengayaan dan produksi. Medium anaerob PYG (pepton-yeast-glukosa) dan medium produksi disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. PYG digunakan untuk pengayaan mikroba, dan medium produksi tanpa glukosa diinokulasikan ke reaktor bersama inokulum hasil pengayaan dan substrat limbah buah naga.

Produksi biohidrogen: Produksi dimulai dari membuat campuran yang terdiri dari 30% substrat limbah buah naga, 10% inokulum mikroba campuran, dan 60% medium produksi (pepton 5 g/L; yeast extract 0.5 g/L; KH₂PO₄ 1.2 g/L; Na₂HPO₄ 5.1 g/L; MgSO₄.7H₂O 0.5 g/L; NaHCO₃ 3 g/L) dimasukkan ke dalam reaktor kemudian dilakukan sealing untuk mendapatkan kondisi anaerob. Reaktor beroperasi pada suhu ruang dan tekanan atmosferik. Nilai pH operasi dijaga agar tidak turun di bawah 5,5 dengan penambahan NaOH 5N ketika pH mulai drop. Pengamatan dilakukan selama 7x24 jam dan dilakukan pengambilan sampel TS, VS dan VFA setiap 3 hari sekali, dan suhu serta pH diukur setiap hari.

Analisis hasil: Dalam analisis hasil penelitian, dilakukan pengukuran pH menggunakan pH meter paper pada setiap hari pengambilan sampel cairan. Suhu operasi terukur pada termometer yang terpasang pada sumbat erlenmeyer. Volume biohidrogen diukur menggunakan *high gasometer* dengan prinsip *water displacement method*. Pengukuran Total Solid (TS) serta Volatile Solid (VS) dengan metode gravimetri APHA 1998. Proses pengeringan pada suhu 103-105 °C selama ± 15-20 menit, diikuti pengukuran berat sampel sebelum dan sesudah proses. Nilai Total Solid (TS) dihitung dengan rumus pada persamaan gravimetri. Kadar Volatile Solid (VS) diukur dengan memasukkan sampel kering ke dalam furnace pada suhu 550 °C selama 3 jam, diikuti oleh pengukuran berat abu. Nilai Volatile Solid (VS) bahan ditentukan dengan rumus pada persamaan gravimetri. Adapun untuk analisis VFA dilakukan dengan teknik destilasi uap [10].

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini mengevaluasi karakteristik limbah buah naga, seperti Total Solid (TS), Volatile Solid (VS), dan konsentrasi Volatile Fatty Acids (VFA), selama tujuh hari dengan pengambilan sampel setiap 3 hari sekali dengan hasil yang terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil pengukuran parameter produksi biohidrogen

| Parameter | Hari ke- | | | | | | |
|-------------------|----------|----|----|-------|----|----|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| TS (%) | 23,35 | | | 52,69 | | | 96,19 |
| VS (%) | 18,95 | | | 44,42 | | | 79,90 |
| VFA (mg/mL) | 0,612 | | | 0,792 | | | 0,906 |
| suhu (°C) | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| pH | 7 | 5 | 3 | 8 | 7 | 5 | 3 |
| Vol hidrogen (mL) | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 |

Sumber: Data primer (2023)

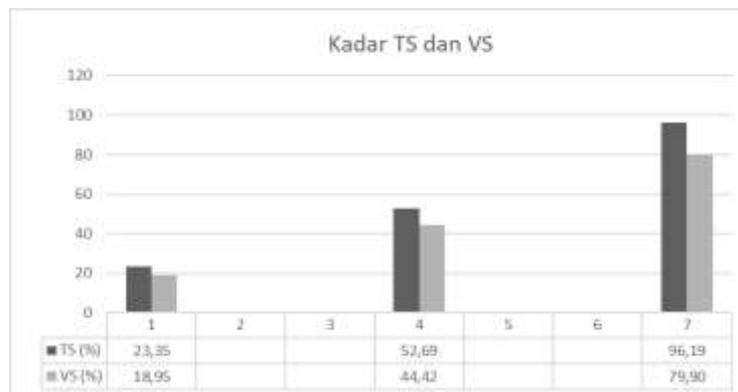
Hasil uji menunjukkan bahwa persentase TS mengalami peningkatan kandungan padatan yang signifikan mencapai 96 % pada hari ketujuh. Total Solid (TS) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah bahan organik selama proses digester terjadi dan mengindikasikan laju penghancuran atau pembusukan material padatan limbah organik. Total Solid merupakan salah satu faktor yang dapat menunjukkan telah terjadinya proses pendegradasian karena padatan ini akan dirombak saat terjadinya mendekomposisikan bahan [11]. TS pada proses penelitian ini justru padatan dalam substrat meningkat dikarenakan faktor telah terjadinya endapan dalam dasar erlenmeyer karena tidak ada pengadukan sehingga membuat sampel yang terambil lebih banyak berupa padatan. Adapun keadaan erlenmeyer pada sebelum

dan sesudah terjadi produksi biohidrogen tampak pada **Gambar 2**, terlihat padatan sebelumnya berada di atas, kemudian setelah 7 hari berada pada dasar erlenmeyer.



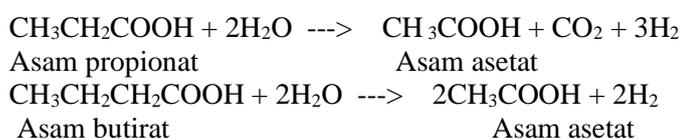
Gambar 2. Hasil kondisi sebelum dan sesudah produksi biohidrogen

Sedangkan persentase VS meningkat dari 19 % pada hari pertama menjadi 80% pada hari ketujuh. Pengertian volatile solid (VS) merupakan bagian padatan (Total Solid-TS) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik [11]. Analisa VS ini perlu dilakukan untuk mengetahui banyaknya materi organik yang bisa menguap. Hasil uji menunjukkan bahwa semakin hari justru semakin banyak materi organik yang akan berubah menjadi fase gas. Hal ini terjadi karena Ketika hari-hari terakhir justru padatan berada di dasar erlenmeyer dan terambil banyak Ketika sampling. Berdasarkan grafik pada **Gambar 3** terlihat bahwa terjadi peningkatan TS dan VS setiap harinya.

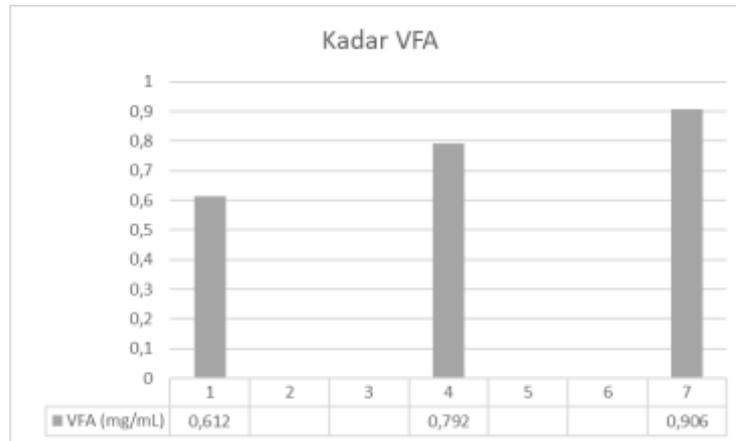


Gambar 3. Hasil pemeriksaan kadar TS dan VS

Analisis VFA mengungkap peningkatan dari 0,612 mg/ml pada hari pertama menjadi 0,906 mg/ml pada hari ketujuh, mencerminkan aktivitas mikroorganisme yang mengurai bahan organik. Volatile Fatty Acid atau Asam lemak volatil ini adalah asam organik yang mudah menguap yang terdiri dari asam asetat, asam butirat, dan asam propionat. Dalam produksi biogas, penghasilan asam-asam tersebut terjadi pada tahap asidogenesis. Hasil asidogenesis yang berupa asam asetat, hidrogen, dan karbondioksida dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana. Pada tahap inilah fase yang dipertahankan dalam produksi biohidrogen. Adapun dari hasil VFA yang meningkat menunjukkan produksi asam-asam volatil meningkat seiring juga dengan produksi H₂. Asam propionat, dan asam butirat diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetatogenesis dengan reaksi sebagai berikut [12] :



Berdasarkan hasil uji penelitian ini menunjukkan bahwa VFA yang meningkat berarti asam juga meningkat menandakan adanya laju produksi asam asetat yang berimplikasi juga pada laju produksi biohidrogen. Adapun berdasarkan penelitian Farini [13], penyebab produksi gas hidrogen yang fluktuatif dapat diidentifikasi dari hubungan antara produksi gas hidrogen dan asam-asam organik. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa asetat memiliki pengaruh terhadap produksi gas hidrogen yang mana produksi gas hidrogen akan meningkat jika produksi asetat kecil. Sehingga pada produksi biohidrogen dengan bahan baku limbah buah naga ini mengalami hambatan produksi biohidrogen dikarenakan nilai VFA yang mengalami peningkatan seperti pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hasil pemeriksaan kadar VFA

Produksi biohidrogen dimulai pada hari kedua (1 ml), meningkat pada hari kelima (2 ml), dan mencapai puncaknya pada hari keenam (4 ml) yang terlihat pada **Gambar 5**. Kesimpulan dari penelitian ini menyatakan bahwa limbah buah naga memiliki potensi untuk produksi biohidrogen sebesar 4 mL dari volume substrat 500 mL atau sekitar 0,8%. Kondisi pH sangat mempengaruhi produksi biohidrogen, hal ini dibuktikan ketika substrat menunjukkan kondisi pH yang terus menurun membuat produksi biohidrogen stagnan, hal ini karena pada awal proses pembentukan biogas merupakan proses pengasaman atau reaksi asidogenik dari bakteri inokulum yang terdapat dalam digester. Nilai pH yang rendah juga diakibatkan oleh proses terbentuknya asam lemak volatile (VFA). Nilai pH optimum untuk menghasilkan gas H₂ dari karbohidrat yaitu pada kisaran pH sekitar 4,5-6,0 [14], sehingga pada rentang pH tersebut bakteri penghasil hidrogen membutuhkan waktu yang cukup lama sehingga produksi gas hidrogen mengalami perlambatan. Adapun ketika pH dikondisikan basa maka kembali terjadi produksi biohidrogen. pH diusahakan sekitar 5 dikarenakan untuk menghambat bakteri metanogenik yang biasanya menghasilkan gas metana.



Gambar 5. Hasil pemeriksaan produksi biohidrogen

Adapun suhu selama proses produksi biohidrogen menunjukkan stabil di suhu 31°C. Hal ini menandakan bahwa proses fermentasi berlangsung di suhu mesofilik. Sedangkan menurut teori pertumbuhan produksi biohidrogen dengan menggunakan suhu termofilik lebih baik dibandingkan

menggunakan suhu mesofilik [15]. Sehingga suhu yang belum mencapai suhu termofilik turut andil dalam terhambatnya laju produksi biohidrogen.

Penelitian mengenai potensi produksi biohidrogen dari limbah buah naga merupakan inisiatif untuk memanfaatkan sumber daya alam yang ada sekaligus mengurangi dampak negatif limbah organik terhadap lingkungan. Seiring berjalannya penelitian ini, sejumlah faktor pendukung dan penghambat memainkan peran penting dalam menentukan keberhasilan serta kendala yang dihadapi.

a. Faktor Pendukung

- Komposisi Limbah Buah Naga:
Komposisi nutrisi yang kaya dalam limbah buah naga, termasuk padatan terlarut dan senyawa organik, menjadi faktor pendukung utama. Keberagaman senyawa organik, seperti asam lemak volatil (VFA), memberikan substrat ideal bagi mikroorganisme dalam menghasilkan biohidrogen.
- Konsentrasi VFA yang Meningkatkan :
Peningkatan konsentrasi Volatile Fatty Acid (VFA) selama eksperimen menunjukkan indikasi positif. Konsentrasi VFA yang meningkat cenderung mendukung aktivitas fermentasi mikroorganisme, potensial meningkatkan produksi biohidrogen.
- Keberhasilan Produksi Biohidrogen:
Hasil produksi biohidrogen yang teramati pada hari kelima, mencapai puncaknya pada hari keenam, memberikan dukungan kuat. Kesuksesan produksi yang meningkat seiring waktu memberikan bukti potensi limbah buah naga sebagai sumber energi terbarukan.

b. Faktor Penghambat

- Peningkatan Nilai Total Padatan (TS):
Peningkatan tajam nilai TS menjadi potensi penghambat, menunjukkan substrat masih banyak zat padat yang perlu dikonversi menjadi biohidrogen.
- Keterbatasan Informasi pH:
Penurunan pH pada hari kedua mencerminkan perubahan lingkungan fermentasi. Namun, kurangnya informasi rinci tentang nilai pH yang diukur dapat menjadi penghambat dalam pemahaman dampaknya terhadap mikroorganisme dan proses fermentasi.
- Kesulitan Pemantauan Produksi Hidrogen:
Kenaikan drastis produksi hidrogen pada hari keenam, meskipun positif, terkendala oleh gas yang tertahan pada selang. Kendala dalam pemantauan produksi hidrogen dapat menghambat akurasi pengukuran.

Meskipun hasil produksi hidrogen yang signifikan teramati pada hari keenam, perlu penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan kondisi fermentasi dan efisiensi produksi biohidrogen dari limbah buah naga. Kesimpulannya, laporan ini memberikan gambaran potensi produksi biohidrogen dari limbah buah naga sebagai sumber energi terbarukan.

4. Kesimpulan

Limbah buah naga terbukti memiliki potensi besar sebagai bahan untuk pembuatan biohidrogen melalui fermentasi anaerobik. Analisis awal menunjukkan peningkatan signifikan pada VFA, mengindikasikan kemungkinan dekomposisi bahan organik yang mempengaruhi produksi biohidrogen. Meskipun produksi hidrogen meningkat pada hari keenam, tantangan muncul akibat gas yang tertahan, memerlukan pemantauan yang lebih efektif. Saran meliputi penelitian lebih lanjut pada kondisi fermentasi, pengembangan metode pemantauan yang akurat, dan eksplorasi dampak perubahan pH terhadap aktivitas mikroorganisme untuk mendukung produksi biohidrogen yang lebih maksimal.

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta khususnya LPPM yang telah membantu dalam hal material maupun inmaterial sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan menghasilkan karya yang dapat dipublikasikan.

6. Daftar Pustaka

- [1] A. Demirbas, "Biohydrogen for Future Engine Fuel Demands", Springer Dordrecht Heidelberg, New York, 2009,
- [2] F. R. Hawkes, R. Dinsdale, D. L. Hawkes, and I. Hussy, "Sustainable fermentative hydrogen production: Challenges for process optimisation," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 27, no. 11–12, pp. 1339–1347, 2002, doi: 10.1016/S0360-3199(02)00090-3

- [3] A. Ghimire *et al.*, "A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products," *Appl. Energy*, vol. 144, no. June 2019, pp. 73–95, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.045
- [4] Q. S. Septyaningtyas, "Keberadaan Penghambatan Fermentasi Biogas Pada Buah Alpukat, Mangga dan Melon Busuk", Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2013,
- [5] Mi-sun Kim and D. Lee, "Fermentative hydrogen production from tofu-processing waste and anaerobic digester sludge using microbial consortium," *Bioresour. Technol.*, vol. 101 Suppl 1, pp. S48-52, May 2009, doi: 10.1016/j.biortech.2009.03.040
- [6] I. K. Kapdan and F. Kargi, "Bio-hydrogen production from waste materials," *Enzyme Microb. Technol.*, vol. 38, no. 5, pp. 569–582, 2006, doi: 10.1016/j.enzmictec.2005.09.015
- [7] B. Baghchehsaraee, "Batch and Continuous Biohydrogen Production Using Mixed Microbial Culture", Dissertation, Engineering Science, Department of Chemical and Biochemical Engineering, The University of Western Ontario, Canada, 2009,
- [8] K. Vijayaraghavan, D. Ahmad, and M. K. Bin Ibrahim, "Biohydrogen generation from jackfruit peel using anaerobic contact filter," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 5, pp. 569–579, 2006, doi: 10.1016/j.ijhydene.2005.06.006
- [9] A. D. Kharisma, "Pengaruh Hidrogen Peroksida Terhadap Produksi Hidrogen dari Limbah Buah Melon (*Cucumis Melo L.*) oleh Mikroba Digester Biogas", Tesis, Jurusan Bioteknologi Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014
- [10] General Laboratory Procedures, Departement of Dairy Science. University of Wisconsin., Madison, 1966,
- [11] M. A. Nugraha, "Kajian Laju Alir Recycle Air Lindi Terhadap Kualitas Biogas Dengan Green Phoskko (Gp7) Dan Reaktor Tipe Partition," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019
- [12] F.D. Maramba, "Biogas and Waste Recycling: The Philippine Experience". Metro Manila, Philippines: Maya Farms Division, Liberty Flour Mills, 1978, 230 p.
- [13] A. D. Farini, S. Sarto, S. Purwono, "Pengaruh Konsentrasi Peroksida Terhadap Produksi Biohidrogen Dari Limbah Buah Jeruk Melalui Metode Fermentasi Gelap", *J. Sains and T. Lingkungan*, vol. 11, pp. 114–121, 2019.
- [14] J. Wei, Z.-T. Liu, and xin Zhang, "Biohydrogen production from starch wastewater and application in fuel cell," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, pp. 2949–2952, Apr. 2010, doi: 10.1016/j.ijhydene.2009.05.035.
- [15] N. Valentino, Z. D. Hastuti, and A. Wibowo, "Pengaruh Suhu Terhadap Proses Produksi Biohidrogen Dari Hasil Fermentasi Palm Oil Mill Effluent (Pome)," *J. Energi dan Lingkung.*, vol. 13, no. 2, pp. 43–46, 2020, doi: 10.29122/elk.v13i2.4263