

TINJAUAN SINGKAT TEKNOLOGI PRODUKSI BIOHIDROGEN MELALUI KONVERSI BIOMASSA

Rafika Amalia^{1*}, Nazaruddin Sinaga², Sri Widodo Agung Suedy³

- ¹⁾ Mahasiswa Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro
²⁾ Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
³⁾ Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro
**email: rafikaamalia@students.undip.ac.id*

ABSTRAK

Kekhawatiran akan emisi gas rumah kaca dan krisis energi yang semakin dirasakan negara-negara di dunia khususnya di Indonesia menyebabkan perlu dilakukan pengembangan energi alternatif yang bersih dan ramah lingkungan. Biohidrogen yang diperoleh dari biomassa dapat menjadi alternatif terbaik untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memberikan gambaran dari produksi biohidrogen berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah ada sehingga dapat dilakukan pengembangan produksi biohidrogen melalui konversi biomassa di Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan studi literatur, pengumpulan data dilakukan dari penelitian-penelitian yang sudah ada untuk mengetahui proses yang sesuai dan bisa diterapkan untuk produksi biohidrogen melalui konversi biomassa di Indonesia. Analisis dalam penelitian dilakukan menggunakan perbandingan dari setiap literatur, sehingga diperoleh proses dan teknologi yang sesuai untuk produksi biohidrogen. Hasil penelitian menunjukkan pemanfaatan teknologi biohidrogen melalui konversi limbah biomassa dengan proses fermentasi anaerob pada kondisi termofilik adalah pilihan yang tepat, karena dapat menghasilkan yield yang tinggi. Untuk menunjang produksi biohidrogen yang optimal perlu diperhatikan beberapa faktor diantaranya yaitu pH, substrat, suhu, dan kondisi operasi. Jumlah biomassa yang melimpah di Indonesia dapat memudahkan produksi biohidrogen secara berkelanjutan.

Kata kunci : *krisis energi, biohidrogen, dark fermentation*

ABSTRACT

Countries in the world, especially in Indonesia, are increasingly concerned about greenhouse gas emission and energy crisis, causing it to be necessary to develop alternative clean energy and environmentally friendly. Biohydrogen obtained from biomass conversion can be the best alternative to overcome this problem. This paper was prepared to provide an overview of biohydrogen production based on existing researches. It aims to give an overview and consideration to produce biohydrogen through biomass conversion in Indonesia. The resulting hydrogen gas can be used for fuel transportation and power generation. Many researchers have already investigated the production of biohydrogen from biomass. Data collection was carried out from existing studies to determine the appropriate and applicable processes for biohydrogen production through biomass conversion in Indonesia. Utilization of biohydrogen technology through the conversion of biomass waste by dark fermentation process in thermophilic conditions is the best choice because it can produce high yields. Several factors need to be considered to support optimization biohydrogen production, including pH, substrate, and temperature. The abundant amount of biomass in Indonesia can facilitate sustainable biohydrogen production.

Keywords: *energy crisis, biohydrogen, dark fermentation*

PENDAHULUAN

Dewasa ini, krisis energi mulai dialami oleh Indonesia. Perlu diciptakan terobosan baru mensubstitusi ketergantungan energi dari energi fosil seperti minyak bumi, gas alam, serta batu bara. Kebutuhan energi di dunia saat ini bergantung dari bahan bakar fosil yang jumlah setiap tahunnya semakin berkurang. Selain itu, pergantian iklim secara global akibat emisi gas serta bermacam komponen organik yang dihasilkan sepanjang proses pembakaran yang dipengaruhi dari pemakaian bahan bakar fosil menyebabkan peningkatan gas rumah kaca.

Kekhawatiran tentang emisi gas rumah kaca dan ketersediaan cadangan minyak yang semakin menurun ini menyebabkan perlu adanya pengembangan energi alternatif yang mudah diperoleh dan terbarukan untuk mengatasi permintaan energi yang terus meningkat sejalan dengan peningkatan penduduk di dunia. Menurut (KESDM, 2019), terjadi penurunan cadangan minyak di Indonesia pada tahun 2019 sebesar 3,755 milyar barel dari yang ditargetkan sebesar 5,747 milyar barel. Dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan, biohidrogen merupakan pilihan energi yang potensial, efektif, dan ramah lingkungan karena beberapa keuntungan. Diantaranya yaitu menurut (BPPT, 2017) produk samping berupa uap air yang bebas polusi dengan kandungan energi yang tinggi sebesar 120 kJ/g, selain itu juga produksi dapat dilakukan pada suhu dan tekanan lingkungan dalam skala besar dengan penggunaan berbagai macam bahan baku dan bakteri yang ditemukan di lingkungan dengan mudah. (Sekoai *et al.*, 2019)

Energi dari biohidrogen dapat digunakan sebagai energi listrik menggunakan suatu alat yang bekerja dengan prinsip elektrokimia. Disisi lain, nilai kalor yang tinggi pada hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar.

Produksi biohidrogen dapat diperoleh dari biomassa/ limbah organik. Jumlah

biomassa maupun limbah organik yang melimpah di Indonesia menjadi perhatian yang besar karena dapat menghindari masalah pada ketersediaan jumlah produk makanan. Proses konversi biomassa menjadi biohidrogen dapat dilakukan secara termokimia dan biologi. Produksi biohidrogen secara biologi dapat dibagi dalam beberapa proses, yaitu fermentasi anaerobik, photobiological, enzimatik, dan elektrolisis mikroba. (Pandey *et al.*, 2019)

Penelitian terkait produksi biohidrogen sudah banyak dilakukan, contohnya penelitian yang dilakukan oleh (Zuldian, 2017) dengan menggunakan prototipe sistem biohythane kapasitas 1 m³ dihasilkan listrik sebesar 2,711 kWe atau sekitar 0,003 Mwe, namun penelitian ini masih dilakukan dalam skala laboratorium. Sehingga pemanfaatan proses dan teknologi yang dapat kita gunakan untuk pembuatan biohidrogen dari konversi biomassa di Indonesia perlu dikembangkan dengan optimal. Dengan penelitian ini diharapkan dapat menemukan proses maupun teknologi yang sesuai untuk produksi biohidrogen dari konversi limbah biomassa serta sistem penyimpanan yang sesuai sehingga pemanfaatan biohidrogen ini dapat dilakukan secara optimal. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membantu mengatasi permasalahan pengolahan limbah biomassa yang belum termanfaatkan dengan baik.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan yaitu dengan menggunakan studi literatur dari publikasi beberapa jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional yang dipublikasikan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir dari tahun 2016 sampai 2021, dan buku referensi lain terkait biohidrogen. Analisa yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan perbandingan hasil dari penelitian yang sudah dipublikasikan yang disajikan dalam bentuk tabel dan

pengambilan data berasal dari data sekunder.

HASIL DAN PEMBAHASAN

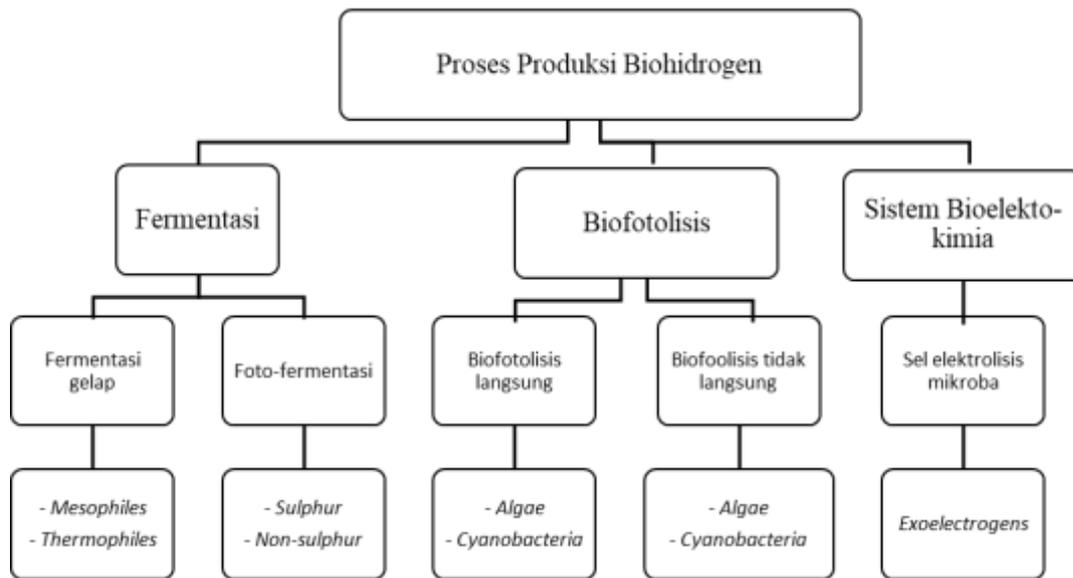
Biohidrogen merupakan energi yang diperoleh dari konversi biomassa yang menjanjikan dalam memainkan peranan penting dalam pengurangan emisi gas rumah kaca. Tingginya energi yang dihasilkan yaitu sekitar 122 kJ/g menjadikan hidrogen sebagai energi yang ideal untuk digunakan, terlebih hidrogen yang dihasilkan dari konversi biomassa karena energi yang dihasilkan lebih bersih dan ramah lingkungan. (Pandey *et al.*, 2019)

Produksi biohidrogen secara biologi dilakukan dengan menambahkan mikroorganisme ke dalam substrat melalui pengolahan biokimia biomassa. Proses produksi biohidrogen dapat dilakukan dengan beberapa proses yang dapat dilihat pada tabel 1. Produksi biohidrogen dari biomassa dengan metode biologis lebih efisien dan menguntungkan dibandingkan dengan menggunakan proses termokimia maupun elektrokimia. Gambar 1. menjelaskan tentang gambaran umum proses produksi biohidrogen dengan metode biologis yang dapat dilakukan dengan proses fermentasi gelap, fotofermentasi, dan elektro-biohidrogenasi seperti sel elektrolisis mikroba. Masing-masing proses memiliki kelebihan dan kekurangan.

Tabel 1. Jenis-jenis proses produksi biohidrogen dan keuntungannya

Proses/ organisme	Jenis substrat	Keuntungan
Biofotolisis (Ganggang hijau dan <i>cyanobacteria</i>)	Air	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlahnya melimpah • Harga substrat murah • Energi yang dihasilkan dari penangkapan energi matahari memiliki flux yang tinggi
Fotofermentasi (bakteri fotosintetik nonsulfur ungu)	<ul style="list-style-type: none"> • Asam organik • Gula • Gliserol 	<ul style="list-style-type: none"> • Konversi substrat hampir sempurna • Mampu menggunakan berbagai aliran limbah dari fermentasi gelap
Fermentasi gelap (anaerob tepat dan fakultatif anaerob)	<ul style="list-style-type: none"> • Gula • Bahan lain yang mengandung banyak karbohidrat 	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktor sederhana • Mampu menggunakan beraneka ragam substrat • Laju volumetrik tinggi
Mikroba elektrolisis (luas variasi dari elektrogen, <i>geobacter</i> , dan <i>shewanella</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Gula • Asam organik • Protein 	<ul style="list-style-type: none"> • Kemungkinan dergadasi substrat lengkap • Hidrogen dari asam organik • Hidrogen dari komponen yang beragam

(Sumber : Pandey *et al.*, 2019)



Gambar 1. Overview Proses Produksi Biohidrogen (Pandey *et al.*, 2019)

Beberapa hasil penelitian tentang biohidrogen yang sudah dilakukan dalam range waktu 5 tahun (2016 sampai 2021) dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2. Beberapa hasil penelitian tentang biohidrogen

Peneliti	Judul	Hasil
Rambabu <i>et al.</i> (2021)	<i>Augmented biohydrogen production from rice mill wastewater through nano-metal oxides assisted dark fermentation</i>	Inklusi nanopartikel NiO dan CoO memastikan peningkatan produksi biohidrogen dari fermentasi RMWW (<i>rice mill wastewater</i>). Penggabungan nanopartikel meningkatkan proliferasi mikroba dan efisiensi pengurangan COD
Bhatia <i>et al.</i> (2021)	<i>Renewable biohydrogen production from lignocellulosic biomass using fermentation and integration of system with other energy generation technologies</i>	Teknik metabolisme untuk menggeser aliran karbon ke produksi hidrogen dengansitesis minimum produkyang berkurang perludiperhatikan untuk memproduksi biohidroge yang praktis. Pemanfaatan mikroba biakan murni menghasilkan biohidrogen dengan yield yang tinggi, tetapi sebagian besar mikroba tidak mampu menggunakan substrat yang kompleks.
Srivastava <i>et al.</i> (2021)	<i>Biohydrogen production using kitchen waste as the potential substrate : A sustainable approach</i>	Limbah dapur memiliki kandungan pati, selulosa, protein lipid dan vitamin yang tinggi yang dapat dijadikan substrat untuk dikonversikan menjadi biohidrogen dengan cara yang efektif melalui proses fermentasi gelap.

Yahmed <i>et al.</i> , (2021)	<i>New sustainable bioconversion concept of date by-products (Phoenix dactylifera L.) to biohydrogen, biogas, and date-syrup</i>	Fermentasi gelap dari daging kurma (deglet nour flesh) tanpa inokulasi memungkinkan potensi biohidrogen yang tinggi.
Attia <i>et al.</i> (2021)	<i>Influence of laser photoactivated graphitic carbon nitride nanosheets and nickel nanoparticles on purple non-sulfur bacteria for biohydrogen production from biomass</i>	Produksi biohidrogen dari biomasa dapat ditingkatkan dengan biostimulus hidrogen yang memproduksi bakteri ungu (PNS bacteria) menggunakan nanomaterial fotoaktivasi laser. Yield tertinggi produksi biohidrogen dihasilkan dari karbon grafitik nanosheet nitrida dibandingkan dengan nanopartikel nikel.
Srivastava <i>et al.</i> (2020)	<i>Advances in nanomaterial induced biohydrogen production using waste biomass</i>	Penerapan penggunaan nanomaterial untuk produksi biohidrogen dapat mengurangi biaya teknologi produksi secara signifikan. Selain itu implementasi nanomaterial untuk produksi biohidrogen memerankan peranan penting untuk proses produksi secara berkelanjutan.
Ahmad dkk. (2020)	Produksi biohidrogen dari POME (Palm Oil Mill Effluent) menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dengan variasi waktu retensi hidrolis	Waktu kontak mikroorganisme dengan substrat dipengaruhi waktu retensi hidrolis, dimana waktu retensi hidrolis ini berbanding lurus dengan waktu kontak mikroorganisme dengan substrat. Lamanya waktu retensi hidrolis menghasilkan proses degradasi senyawa organik dengan baik
Valentino dkk. (2020)	Pengaruh suhu terhadap proses produksi biohidrogen dari hasil fermentasi <i>Palm Oil Mill Effluent</i> (POME)	Penggunaan POME sebagai substrat pertumbuhan bakteri dapat dilakukan untuk produksi biohidrogen melalui proses fermentasi gelap menghasilkan gas hidrogen yang tinggi pada kondisi termofilik
Soares <i>et al.</i> (2020)	<i>Dark fermentation biohydrogen production from lignocellulosic biomass : Technological challenges and future prospects</i>	Produksi biohidrogen menggunakan fermentasi gelap dipengaruhi beberapa faktor, seperti : sumber inokulum, suhu, pH, waktu retensi hidrolis, tekanan parsial gas, dan produk akhir fermentasi. Faktor-faktor tersebut merupakan faktor penting untuk

		memaksimalkan produksi biohidrogen melalui teknologi fermentasi gelap.
Fadlil dkk. (2019)	Ekplorasi produksi biohidrogen dari fraksi organik sampah rumah tangga dengan penambahan zat aditif N, P dan K	Peningkatan produksi gas hidrogen dari limbah organik dapat dilakukan dengan penambahan pupuk NPK. Selain itu, perlu diperhatikan pH-nya
Sarlinda dkk. (2018)	Kinerja dan kinetika produksi biohidrogen secara <i>batch</i> dari sampah buah melon dalam reaktor tangki berpengaduk	Diperoleh kadar hidrogen sebesar 16,20 % dari total biogas. Kinetika pembentukan hidrogen dilakukan menggunakan pendekatan persamaan <i>Gompertz</i> .
Syauqi dkk. (2018)	Produksi gas hidrogen dari biomassa dengan proses anaerob	Produksi gas hidrogen menjadi besar dipengaruhi waktu proses fermentasi yang terjadi akibat penurunan kadar konsentrasi gula reduksi. Bakteri yang diguakapada proses ini adalah <i>Clostridium Butyricum</i> .
Zuldian (2017)	Potensi pemanfaatan biohidrogen dan biometana dari POME untuk ketenagalistrikan pada analisis prototipe biohythane kapasitas 1 M ³ /hari	Potensi penyediaan listrik sebesar 5,691 kWe dapat diperoleh dari pencampuran biohidrogen dan biometana yang dihasilkan dari fermentasi limbah POME. BPP yang dihasilkan sistem pembangkit ini lebih murah dari pembangkit diesel (solar).
Nurkholis dkk. (2017)	Pengaruh organic loading rate pada produksi biohidrogen dari sampah buah melon (<i>Cucumis melo L.</i>) menggunakan reaktor alir pipa	<i>Organic loading rate</i> mempengaruhi kinerja peruraian anaerobik dan juga mempengaruhi kadar gas hidrogen. Produksi biohidrogen dipengaruhi oleh asam-asam organik.

Berdasarkan tabel 2. dapat kita lihat bahwa produksi biohidrogen melalui konversi biomassa berpeluang besar untuk dikembangkan di Indonesia, mengingat jumlah potensi limbah biomassa yang sangat melimpah dan dapat dikembangkan untuk pembangkit listrik seperti yang disajikan dalam tabel 3. X

Gas hidrogen yang diproduksi dari konversi biomassa sangat menguntungkan, selain itu dapat mengatasi pengolahan sampah secara efisien. Biohidrogen dianggap bahan bakar yang ramah lingkungan, murah, biodegradabel, dan

Tabel 3. Potensi Biomassa di Indonesia

Jenis Biomassa	Jumlah (Mwe)
Kelapa Sawit	12,654
Tebu	1,295
Karet	2,781
Kelapa	177
Padi	9,808
Jagung	1,733
Ubi kayu	271
Kayu	1,335
Sapi dan Kerbau	535
Sampah Kota	2,066

(Sumber : Direktorat Bioenergi, 2016)

dapat diproduksi secara berkelanjutan dibandingkan hidrogen yang diperoleh dari gas alam maupun dari energi fosil. Pembakaran menggunakan gas hidrogen juga dianggap lebih baik dibandingkan jika menggunakan bahan bakar lainnya yang dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca. (Pandey *et al.*, 2019)

Teknologi yang sesuai untuk memproduksi biohidrogen dapat dilakukan dengan menggunakan fermentasi gelap pada kondisi anaerobik menggunakan bakteri termofilik yang dapat menghasilkan gas hidrogen dengan yield tinggi, selain itu juga operasi produksi yang mudah memungkinkan proses ini dapat diterapkan di Indonesia. Keunggulan lain dari pemilihan fermentasi gelap ini karena tidak membutuhkan cahaya matahari sehingga dapat dilakukan secara kontinyu dari siang sampai malam hari. Teknologi fermentasi gelap untuk produksi biohidrogen lebih ramah lingkungan, hal ini dikarenakan digunakan penggabungan produksi hidrogen dengan pemanfaatan limbah. Mikroorganisme yang digunakan dalam kondisi termofilik mempunyai sifat tahan panas maupun suhu ekstrim.

Pada produksi biohidrogen dari konversi biomassa ini perlu diperhatikan beberapa faktor untuk menghasilkan produk terbaik. Faktor yang perlu diperhatikan tersebut diantaranya adalah substrat, jenis mikroorganisme, pH, dan suhu. (Ambara, 2018)

1. Substrat

Aktivitas produksi hidrogen dipengaruhi oleh konsentrasi substrat. Peningkatan yield pada produksi biohidrogen menggunakan fermentasi gelap dipengaruhi oleh konsentrasi substratnya.

2. Jenis mikroorganisme

Mikroorganisme mempunyai peranan penting dalam produksi biohidrogen melalui proses fermentasi gelap. Termofilik dapat menjadi pilihan yang tepat karena mikroorganisme ini muda diperoleh dan dapat beradaptasi pada suhu tinggi.

3. pH

pH terbaik untuk menghasilkan gas hidrogen yang optimal berada pada pH 6,4.

4. Suhu

Pertumbuhan produksi biohidrogen dengan menggunakan suhu termofilik lebih baik dibandingkan menggunakan suhu mesofilik. (Valentino *et al.*, 2020)

Dengan memperhatikan faktor yang mempengaruhi produksi biohidrogen, dapat dipastikan energi yang diperoleh dari konversi biomassa untuk produksi gas hidrogen yang ramah lingkungan dapat dioptimalkan. Namun untuk pengaplikasian gas hidrogen ini diperlukan *storage* yang sesuai, hal ini dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk memudahkan kita menggunakan gas hidrogen yang dihasilkan dari konversi biomassa.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pengembangan pemanfaatan teknologi untuk memproduksi biohidrogen di Indonesia melalui konversi biomassa cukup menjanjikan. Hal ini dikarenakan jumlah biomassa di Indonesia yang melimpah, dan dengan menggunakan proses konversi secara biologi, gas hidrogen yang diperoleh lebih ramah lingkungan serta dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Produksi biohidrogen melalui proses fermentasi anaerob pada kondisi termofilik dianggap lebih berpeluang untuk dilakukan di Indonesia.

Studi tentang penyimpanan biohidrogen perlu dikembangkan untuk menunjang efektifitas pemanfaatan dari produksi biohidrogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Avriyani, D., Teknik, F., Riau, U., Bina, K., Km, W., & Baru, S. (2020). Produksi Biohidrogen dari POME (*Palm Oil Mill Effluent*) Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Variasi Waktu Retensi Hidrolik. 14–15.
- Ambara, R. (2018). Pengaruh Konsentrasi

- Hidrolisat Kulit Durian Terhadap Produksi Biohidrogen Menggunakan Kultur Campuran. Departemen Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara.
- Attia, Y. A., Samer, M., Moselhy, M. A., Arisha, A. H., Abdelqader, A. A., & Abdelsalam, E. M. (2021). *Influence of laser photoactivated graphitic carbon nitride nanosheets and nickel nanoparticles on purple non-sulfur bacteria for biohydrogen production from biomass. Journal of Cleaner Production, 299*, 126898.
- Ben Yahmed, N., Dauplain, K., Lajnef, I., Carrere, H., Trably, E., & Smaali, I. (2021). *New sustainable bioconversion concept of date by-products (Phoenix dactylifera L.) to biohydrogen, biogas and date-syrup. International Journal of Hydrogen Energy, 46(1)*, 297–305.
- Bhatia, S. K., Jagtap, S. S., Bedekar, A. A., Bhatia, R. K., Rajendran, K., Pugazhendhi, A., Rao, C. V., Atabani, A. E., Kumar, G., & Yang, Y. H. (2021). *Renewable biohydrogen production from lignocellulosic biomass using fermentation and integration of systems with other energy generation technologies. Science of the Total Environment, 765*, 144429.
- BPPT. (2017). [https://ptseik.bppt.go.id/berita-ptseik/74-sekilas-lebih-dekat-dengan-biohidrogen#:~:text=Biohidrogen dapat diproduksi dari bahan,proses fermentasi atau anaerobic digestion.](https://ptseik.bppt.go.id/berita-ptseik/74-sekilas-lebih-dekat-dengan-biohidrogen#:~:text=Biohidrogen%20dapat%20diproduksi%20dari%20bahan,proses%20fermentasi%20atau%20anaerobic%20digestion.)
- Direktorat Bioenergi. (2016). *PEDOMAN INVESTASI BIOENERGI DI INDONESIA*. KESDM.
- Fadlil, F., Rochim B.C., Wiratni B. (2019). Eksplorasi Produksi Biohidrogen dari Fraksi Organik Sampah Rumah Tangga dengan Penambahan Zat Aditif N,P dan K. *8(2)*, 1–9.
- KESDM. (2019). *Laporan kinerja*. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-laporan-kinerja-ditjen-migas-2019.pdf>
- Nurkholis, N., Sarto, S., & Hidayat, M. (2017). Pengaruh Organic Loading Rate Pada Produksi Biohidrogen dari Sampah Buah Melon (Cucumis melo L.) Menggunakan Reaktor Alir Pipa. *Jurnal Rekayasa Proses, 11(1)*, 12.
- Pandey, A., Mohan, S. V., Chang, J.-S., Hallenbeck, P. C., & Larroche, C. (Eds.). (2019). *Biohydrogen A volume in Biomass, Biofuels, Biochemicals* (Second Edi). Elsevier B.V.
- Rambabu, K., Bharath, G., Thanigaivelan, A., Das, D. B., Show, P. L., & Banat, F. (2021). *Augmented biohydrogen production from rice mill wastewater through nano-metal oxides assisted dark fermentation. Bioresource Technology, 319*(August 2020), 124243.
- Sarlinda, F., Sarto, S., & Hidayat, M. (2018). Kinerja dan kinetika produksi biohidrogen secara batch dari sampah buah melon dalam reaktor tangki berpengaduk. *Jurnal Rekayasa Proses, 12(1)*, 32.
- Sekoai, P. T., Ouma, C. N. M., du Preez, S. P., Modisha, P., Engelbrecht, N., Bessarabov, D. G., & Ghimire, A. (2019). *Application of nanoparticles in biofuels: An overview. Fuel, 237*(September 2018), 380–397.
- Soares, J. F., Confortin, T. C., Toderò, I., Mayer, F. D., & Mazutti, M. A. (2020). *Dark fermentative biohydrogen production from lignocellulosic biomass: Technological challenges and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 117*(October 2019).
- Srivastava, N., Srivastava, M., Abd_Allah, E. F., Singh, R., Hashem, A., & Gupta, V. K. (2021). *Biohydrogen production using kitchen waste as the potential substrate: A sustainable approach. Chemosphere, 271*, 129537.
- Srivastava, N., Srivastava, M., Mishra, P. K., Kausar, M. A., Saeed, M., Gupta,

- V. K., Singh, R., & Ramteke, P. W. (2020). *Advances in nanomaterials induced biohydrogen production using waste biomass. Bioresource Technology*, 307(December 2019), 123094.
- Syauqi, A., Kusumawardhany, I. R., & Widodo, L. U. (2018). Produksi Gas Hidrogen Dari Biomassa Dengan Proses Anaerob. *Jurnal Teknik Kimia*, 13(1), 17–21.
- Valentino, N., Hastuti, Z. D., & Wibowo, A. (2020). Pengaruh Suhu Terhadap Proses Produksi Biohidrogen Dari Hasil Fermentasi *Palm Oil Mill Effluent* (Pome). *Jurnal Energi Dan Lingkungan (Enerlink)*, 13(2), 43–46.
- Zuldian, Prima. (2017). Potensi pemanfaatan biohidrogen dan biometana dari POME untuk ketenagalistrikan pada analisis prototipe biohythane kapasitas 1 M³/hari. *Jurnal Energi dan Lingkungan. Vol 13. No. 1. Hlm 17–22.*