

Pengaruh Perlakuan pH terhadap Produksi Biohidrogen dari POME dengan Pendekatan Statistik

Junita Br Tarigan^{1*}, Armansyah Halomoan Tambunan¹, Radite Praeko Agus Setiawan¹, Obie Farobie,¹ Furqon¹

¹ Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University

*email korespondensi: junitatariigan6699junita@apps.ipb.ac.id

Info Artikel

Diajukan: 10 November 2022

Diterima: 20 Desember 2022

Keyword:

Dark Fermentation;
POME; Biohidrogen

Kata Kunci:

Fermentasi gelap;
POME; Biohidrogen

Abstract

Palm Oil Mill Effluent (POME) has the potency to be converted to biohydrogen by dark fermentation. The statistical approach was used to determine the relationship between pH and biohydrogen production. This study aims to investigate the effect of pH on biohydrogen production with a statistical approach. Three substrates were treated with neutral pH and three without pH treatment. This experiment used the trapezoidal numerical integration method to get the total production of H₂ produced per measurement time interval. There are nine substrate combinations tested. Three tests concluded that there was no difference in hydrogen production due to the pH treatment, and the sixth test concluded that there was a difference in hydrogen production due to the influence of pH. The tendency of every substrate to influence biohydrogen production without pH treatment and with pH treatment is a polynomial degree 3.

Abstrak

Palm Oil Mill Effluent (POME) berpotensi untuk diubah menjadi biohidrogen dengan proses fermentasi gelap. Pendekatan statistik digunakan untuk mengetahui bagaimana hubungan antara pH dengan produksi biohidrogen yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi pengaruh pH terhadap produksi biohidrogen dari POME dengan pendekatan statistik. Tiga substrat POME dinetralkan pH-nya dan tiga substrat lainnya tanpa penetralan pH. Penelitian ini menggunakan metode integrasi numerik untuk memperoleh total produksi H₂ selama interval pengukuran. Ada Sembilan kombinasi substrat yang diuji. Tiga substrat yang diuji menyimpulkan tidak ada perbedaan signifikan antara substrat yang dinetralkan pH-nya dan tidak dinetralkan, enam substrat yang diuji menyimpulkan adanya perbedaan signifikan antara substrat yang dinetralkan dan tidak dinetralkan pH-nya. Kecenderungan persamaan regresi setiap substrat yang dinetralkan dan tidak dinetralkan adalah plonomial derajat 3.

Doi: <https://doi.org/10.19028/jtep.010.3.319-327>

1. Pendahuluan

Biohidrogen merupakan salah satu bentuk energi terbarukan berupa gas, dikenal sebagai energi yang efisien dan bersih dikarenakan pembakarannya di udara hanya meninggalkan uap air dan energi panas (Nath dan Das 2004). Biohidrogen termasuk bahan bakar yang tidak terikat secara kimia dengan karbon, sehingga pada proses pembakarannya tidak akan mengakibatkan efek rumah kaca, penipisan ozon, ataupun hujan asam (Mishra *et al.*, 2019).

Biohidrogen dapat diproduksi melalui proses elektrolisis air, termokatalitik ataupun dapat diproduksi melalui proses biologis (Kim *et al.*, 2005). Pada proses biologis, mikroorganisme dimanfaatkan untuk mengubah sumber karbon yang terdapat pada biomassa ataupun limbah biomassa untuk diubah menjadi hidrogen. Pada proses biologis, biohidrogen dapat diubah menjadi hidrogen dengan proses reaksi terang dan reaksi gelap. Reaksi gelap dapat dilakukan secara *biophotolysis* atau *photofermentation* dan untuk memproduksi hidrogen melalui reaksi gelap dapat dilakukan dengan proses *dark fermentation* atau *microbial electrolysis cell* (Ghimire *et al.*, 2015).

Pada proses *dark fermentation*, substrat yang digunakan dipecah oleh bakteri penghasil hidrogen seperti bakteri *facultative anaerobes* dan *obligate anaerobes*. Beberapa contoh bakteri *anaerobes* seperti *Clostridia*, *methlotrophs*, *rumen bacteria*, *methanogenic bacteria* dan *archaea*, bakteri yang tergolong *facultative anaerobes* adalah *Eschericia coli*, *Enterobacter*, *Citrobacter* dan bakteri yang tergolong *aerobes* diantaranya adalah *Alcakigenes* dan *Bacillus* (Li *et al.*, 2007)

Beberapa peneliti telah melaporkan faktor penting yang mempengaruhi produksi hidrogen selama proses *fermentative*. Beberapa faktor yang mempengaruhi itu adalah substrat yang digunakan (berhubungan dengan nutrisi dan kandungan karbon organik), tekanan parsial hidrogen, keberadaan *hydrogenetrophic methanogens* dan pH (Noike dan Mizno & Okamoto *et al.*, 2000).

Salah satu substrat yang dapat digunakan untuk memproduksi biohidrogen adalah *Palm Oil Mill Effluent* (POME). POME merupakan limbah cair dari proses pengolahan minyak sawit yang diperoleh dari proses klarifikasi (60%), sterilisasi (36%) dan proses hidrosiklon (4%) (Ahmad *et al.* 2016). Limbah cair proses pengolahan buah sawit ini kaya akan bahan organik yang dapat dimetabolisme selama proses fermentasi gelap, baik dengan kultur murni ataupun dengan inokulasi bakteri tambahan. Sumber bakteri dapat diperoleh melalui media lain seperti lumpur, limbah, kotoran, dan bahan kompleks lainnya, karena terdapat berbagai jenis organisme yang bertindak sebagai dekomposer untuk proses degradasi bahan organik (Wong *et al.*, 2014). POME bersifat asam (pH 3,3-4,6), kental, berwarna kecoklatan dengan kandungan padatan, komponen organik, minyak dan lemak, *chemical oxygen demand* (COD) dan *biological oxygen demand* (BOD) yang menyebabkan polusi lingkungan jika kandungannya di atas batas yang dipernolehkan (Rahayu *et al.*, 2015).

Peneliti telah melakukan pengamatan terkait pengaruh pH terhadap produksi biohidrogen, beberapa diantaranya melihat pengaruh pH pada proses *dark fermentation* (Zagklis *et al.*, 2021), menganalisis pengaruh pH terhadap baktetri *miixed culture* pada proses anaerob (Yoon *et al.*, 2008) dan Panjaitan *et al* (2021) menggunakan alat *dark-bioreactor* yang sama yang digunakan pada penelitian ini untuk menghasilkan biohidrogen dari campuran kotoran ternak. Pengaruh pH terhadap produksi biohidrogen dari pendekatan statistik perlu dilakukan untuk melihat lebih jelas bagaimana pengaruh pH terhadap produksi biohidrogen, karena Vongvichiankul *et al.* (2017) menyimpulkan pengaruh pH dan parameter lain dalam penelitian tersebut belum berpengaruh terhadap produksi hidrogen yang dihasilkan. Pendekatan statistik diharapkan dapat menyimpulkan apakah perlakuan yang diuji berbeda secara

signifikan atau tidak untuk nilai awal POME yang berbeda. Pendekatan statistic juga diharapkan dapat memperoleh kesimpulan yang representatif untuk memberikan infrensi terhadap populasi yang digunakan.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel POME di pabrik kelapa sawit PTPN VIII Cikasungka Bogor. Ada dua perlakuan pH pada penelitian ini, yaitu dengan adanya penetralan pH dan tanpa adanya penetralan pH sebelum memasuki *dark-bioreactor*. Setelah melakukan proses penyaringan pada POME, POME dinetralkan sebelum memasuki *dark-bioreactor*. POME yang telah dinetralkan pH-nya difermentasi selama 24 jam pada alat *dark-bioreactor*. Parameter yang diukur adalah produksi hidrogen, *dissolved oxygen* (DO), *oxidation reduction potential* (ORP) dan pH setiap 4 jam sekali. Prosedur yang sama juga dilakukan pada POME yang tidak dinetralkan pH-nya. Ulangan pada penelitian ini dilakukan sebanyak 6 kali, dimana 3 kali dengan perlakuan penetralan pH diawal dan 3 kali dilakukan tanpa penetralan pH sebelum masuk ke *dark-bioreactor* dan dihasilkan 9 kombinasi pengujian.

2.1 *Dark-bioreactor*

Dark-bioreactor yang digunakan merupakan pengembangan alat yang dikembangkan oleh Panjaitan *et al.* (2021). *Dark-bioreactor* terbuat dari bahan akrilik ($d_{out} = 15\text{cm}$, $d_{in} = 14\text{ cm}$, dan $t = 35\text{ cm}$) dengan ketebalan 5 mm. Permukaan luar bioreaktor tersebut ditutup dengan selubung silinder dari bahan PVC berdiameter 220 mm untuk mencegah intrusi cahaya kedalam bioreaktor selama proses fermentasi gelap berlangsung. Bioreaktor tersebut dilengkapi dengan saluran inlet nitrogen sebagai gas inert, mekanisme sirkulasi limbah menggunakan pompa (debit 2,5 liter/menit), dan pengaduk berpengerak motor DC dengan tipe bilah propeller (200 rpm) yang diletakkan di posisi incline pada bioreaktor. Selain itu bioreaktor juga dilengkapi dengan pemanas (350 watt), pressure gauge, termokopel tipe-K, saluran outlet gas untuk pengukuran H_2 .



Gambar 1. *Dark-bioreactor*

2.2 Persiapan dan Produksi Biohidrogen

POME yang digunakan sebagai substrat akan disaring dengan ayakan mesh 30 untuk memisahkan cairan lumpur terhadap serabut TBS ataupun padatan kasar lainnya yang dapat mengganggu kinerja bioreaktor. Udara yang terperangkap pada *dark-bioreactor* akan dikeluarkan dengan menyuplai nitrogen selama 15 menit. POME difermentasi gelap selama 24 jam pada *dark-bioreactor* dan diukur produksi H₂ yang dihasilkan dengan portable gas analyzer setiap 4 jam sekali.

2.3 Analisis Pengolahan Data

Setelah data H₂ diperoleh, dilakukan analisis regresi dengan aplikasi *Curve Expert*. Metode integrasi numerik trapesium digunakan untuk mendapatkan total produksi H₂ yang dihasilkan per selang waktu pengukuran. Data hasil produksi H₂ diuji apakah sudah sesuai sebagai syarat pengujian parametrik dengan aplikasi STATA.

2.4 Substrat yang digunakan dan perlakuannya

Substrat yang digunakan adalah POME yang diperoleh dari PTPN VIII Cikasungka. Setiap substrat mendapatkan perlakuan pH dan perbedaan masa simpan substrat. Untuk memudahkan pengamatan, substrat POME dinamakan substrat a, b, c, d, e, dan f.

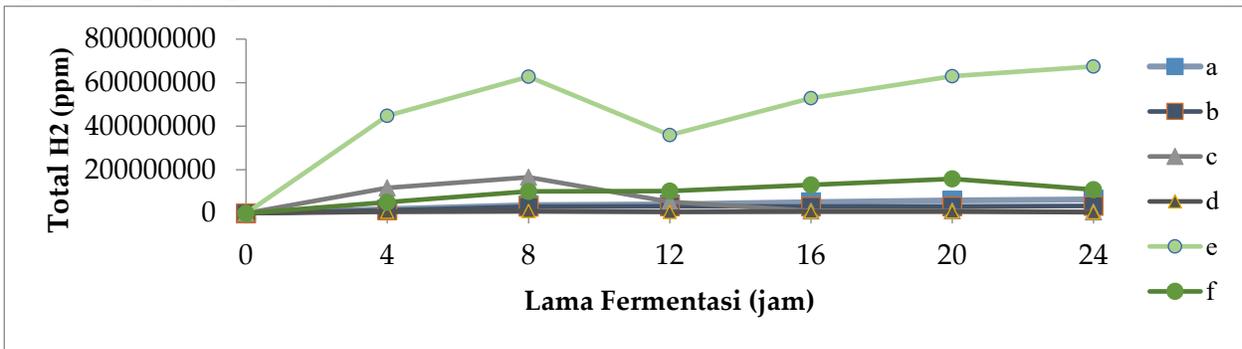
Tabel 1. Nama substrat dan perlakuannya

Nama Substrat	Perlakuan
a	merupakan fresh POME, pH tidak dinetralkan
b	merupakan POME yang telah disimpan 11 hari, pH tidak dinetralkan
c	merupakan fresh POME, pH dinetralkan
d	merupakan POME yang telah disimpan 11 hari, pH dinetralkan
e	merupakan fresh POME, pH dinetralkan
f	merupakan POME yang telah disimpan 11 hari, pH tidak dinetralkan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Produksi Biohidrogen pada Proses Fermentasi Gelap (*dark-fermentation*)

Dari 4 liter POME yang sudah disaring dan dimasukkan kedalam *dark-bioreactor*, diukur produksi hidrogen setiap 4 jam sekali selama 24 jam. Pengukuran POME dilakukan sebanyak 6 kali ulangan.



Gambar 2. Produksi hidrogen pada proses *dark fermentation*

Pada Gambar 2 dapat dilihat produksi hidrogen untuk substrat yang sama dapat berbeda jika substrat POME disimpan selama 11 hari. *Fresh* POME (substrat yang digunakan langsung diproses pada fermentasi gelap pada hari yang sama) yang digunakan sebagai substrat memiliki produksi hidrogen lebih tinggi jika dibandingkan dengan POME yang telah disimpan selama 11 hari. Hal ini dikarenakan terjadinya perubahan komposisi substrat POME. Pada Gambar 2 juga dapat dilihat produksi hidrogen pada grafik f lebih tinggi daripada produksi hidrogen pada grafik a, c, e untuk substrat yang berbeda, hal ini dapat disimpulkan komposisi awal substrat sangat berpengaruh terhadap produksi hidrogen yang dihasilkan. Grafik f menggunakan substrat POME yang sudah disimpan 11 hari sedangkan grafik a, c, dan e menggunakan *fresh* POME. Dari eksperimen ini dapat diketahui jika dibandingkan antara substrat POME dan lama penyimpanan, faktor yang paling berpengaruh terhadap produksi biohidrogen dari POME adalah komposisi awal POME. Komposisi awal substrat memiliki peranan yang sangat penting dalam memproduksi *yield* hidrogen, laju produksi H₂ dan beban ekonomi dalam memproses POME menjadi energi biohidrogen. Hal-hal ini sangat berkaitan dengan komposisi karbohidrat, *bioavailability* (kemampuan interaksi substrat dan mikroba) dan biodegradasi (Ghimire *et al.*, 2015).

Fase pertumbuhan bakteri berhubungan dengan produksi biohidrogen yang dihasilkan. Maier (2000) menyatakan lama dari fase lag (penyesuaian) dari bakteri tergantung pada kemampuan bakteri untuk melakukan penyesuaian terhadap lingkungannya. Lingkungan yang dimaksud disini dapat berupa pH, suhu, kandungan oksigen awal, kandungan nutrisi, konsentrasi garam dan lainnya. Pada Gambar 2 substrat e dan f sangat menonjol perbedaannya dengan substrat yang lain. Substrat e dan f memiliki fase penyesuaian yang cepat dan diikuti dengan fase eksponensial yang menunjukkan adanya pembelahan bakteri. Substrat e dan f lebih cepat pada fase penyesuaian diduga karena kandungan nutrisi yang lebih baik daripada substrat lainnya.

Nutrien yang diperlukan untuk mikroba bervariasi menurut jenis mikroba, tetapi seluruh mikroba memerlukan nitrogen, fosfor, dan karbon (Nugroho, 2006). Pada penelitian ini pengukuran awal POME yang dilakukan adalah parameter pH, *dissolved oxygen* (DO), dan *oxidation reduction potential* (ORP). Belum dilakukan pengukuran komposisi lain seperti kandungan karbohidrat, glukosa, fosfor,

nitrogen maupun fosfor. Setiap substrat POME memiliki kandungan awal yang berbeda-beda. Penelitian yang dilakukan oleh Raja *et al.* (2021) nitrogen awal POME adalah 0,10 ppm, kandungan P₂O₅ 0,03 ppm, dan kandungan K₂O 2,30 ppm. Kandungan N-total POME yang dianalisis oleh Nursanti (2013) adalah 2,7 ppm. Karakteristik POME yang berbeda-beda komposisinya diduga menjadi faktor utama adanya perbedaan produksi hidrogen pada setiap substrat yang diuji.

3.2 Analisis Statistik pada Proses Fermentasi Gelap (*dark fermentation*)

Analisis statistik yang digunakan adalah analisis statistik parametrik. Syarat yang harus dipenuhi untuk melakukan analisis parametrik adalah data yang akan dianalisis harus berdistribusi normal dan homogen. Jika dilihat pada Tabel 2, substrat a dan c, b dan c, f dan c tidak menyimpulkan adanya pengaruh pH terhadap produksi H₂. Substrat a dan c merupakan *fresh* POME dan hasil uji statistik menyimpulkan tidak ada pengaruh penetralan pada produksi hidrogen pada substrat a dan c. Substrat f merupakan substrat yang tidak dinetralkan terlebih dahulu. Substrat c merupakan POME yang disimpan setelah 11 hari. Jika dibandingkan dengan substrat c yang merupakan *fresh* POME dan melalui proses penetralan, tidak ada perbedaan produksi hidrogen dengan substrat f.

Tabel 2. Analisis statistik hubungan pH dengan produksi hidrogen

Substrat yang di uji	Varians	Jenis uji beda	Kesimpulan hipotesis
a dan c	berbeda	uji t	tidak ada perbedaan produksi hidrogen
a dan d	berbeda	uji t	ada perbedaan produksi hidrogen
b dan c	sama	uji F	tidak ada perbedaan produksi hidrogen
b dan d	berbeda	uji t	ada perbedaan produksi hidrogen
a dan e	sama	uji F	ada perbedaan produksi hidrogen
b dan e	sama	uji F	ada perbedaan produksi hidrogen
f dan c	sama	uji t	tidak ada perbedaan produksi hidrogen
f dan d	berbeda	uji t	ada perbedaan produksi hidrogen
f dan e	sama	uji F	ada perbedaan produksi hidrogen

3.3 Pengaruh pH terhadap Produksi Hidrogen pada Proses Fermentasi Gelap (*dark fermentation*)

Analisis regresi merupakan instrumen statistik yang digunakan untuk menganalisis pengaruh antara satu variabel bebas yang dapat disebut *predictor* atau variabel independen (x) terhadap satu variabel terikat yang disebut juga dengan istilah kriterium atau variabel dependen (y). Analisis regresi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan aplikasi Curve Expert untuk melihat bagaimana pengaruh

produksi biohidrogen pada setiap substrat dengan perlakuan pH. Pada Tabel 3, kecenderungan pengaruh produksi biohidrogen dengan adanya penetralan pH ataupun tidak adanya penetralan pH adalah polinomial derajat 3, kecuali pada substrat f, yaitu polynomial derajat 4. Setelah dianalisis menggunakan aplikasi Curve Expert, ada perbedaan nilai koefisien pada setiap substrat. Substrat e menunjukkan nilai koefisien yang paling tinggi jika dibandingkan dengan substrat lain kecuali substrat f. Koefisien substrat a lebih tinggi daripada koefisien substrat b karena substrat a menggunakan fresh POME sedangkan substrat b sudah disimpan selama 11 hari. Jika dibandingkan antara substrat a tanpa proses penetralan dengan substrat c yang sudah dinetralkan, substrat c memiliki nilai koefisien yang lebih tinggi. Tetapi, jika dibandingkan antara substrat a dan substrat d (dengan penetralan pH dan substrat telah disimpan selama 11 hari), substrat a memiliki nilai koefisien lebih tinggi. Jika dibandingkan antara substrat b dan substrat d, substrat d memiliki nilai koefisien yang lebih tinggi, dimana seperti dijelaskan substrat b tanpa penetralan dan substrat d dengan perlakuan penetralan dengan substrat POME sudah disimpan selama 11 hari.

Tabel 3. Persamaan regresi untuk setiap substrat POME

Substrat yang di uji	Persamaan Regresi	Nilai Koefisien
a	$y = a + bx + cx^2 + dx^3; r = 0,9972$	$a = -18.266,667; b = 1.582,9955; c = -0,017101433; d = 8,5363014 \times 10^{-008}$
b	$y = a + bx + cx^2 + dx^3; r = 0,9920$	$a = -580.111,11; b = 1.566,5858; c = -0,024839474; d = 1,3030405 \times 10^{-007}$
c	$y = a + bx + cx^2 + dx^3; r = 0,940894$	$a = 1295555,6; b = 13023,74; c = -0,36408085; d = 2,4941151 \times 10^{-006}$
d	$y = a + bx + cx^2 + dx^3; r = 0,9217$	$a = 269.244,44; b = 562,80264; c = -0,010753667; d = 5,7494954 \times 10^{-008}$
e	$y = a + bx + cx^2 + dx^3; r = 0,944$	$a = 16.478.222; b = 37.249,25; c = -0,82534255; d = 5,6534557 \times 10^{-006}$
f	$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4; r = 0,9909$	$a = -1.169.913,7; b = 6.869,1842; c = -0,23111796; d = 4,1263162e^{-006}; e = 2,5441803 \times 10^{-011}$

Analisis regresi yang dilakukan pada 6 substrat yang diuji menunjukkan untuk meningkatkan produksi biohidrogen untuk substrat yang dinetralkan dan tidak dinetralkan itu sama (polynomial derajat tiga) kecuali substrat f.

4. Kesimpulan

Produksi hidrogen pada substrat e lebih tinggi dari pada produksi hidrogen substrat yang lainnya, hal ini dapat disimpulkan karena komposisi awal substrat sangat berpengaruh terhadap produksi

biohidrogen yang dihasilkan. Substrat a dan c, b dan c, f dan c tidak menyimpulkan adanya pengaruh pH terhadap produksi H₂, sedangkan 6 kombinasi substrat lainnya yaitu susbtrat a dan d, a dan e, b dan d, b dan e, f dan d, dan f dan e, menunjukkan adanya pengaruh pH terhadap produksi H₂. Pengaruh pH terhadap setiap substrat setelah dilakukan analisis persamaan regresi adalah kecenderungannya membentuk persamaan polynomial derajat 3.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi atas pembiayaan penelitian ini melalui skema Penelitian Disertasi Doktor (PDD) 2022 dengan nomor kontrak 3769/IT3.L1/PT.01.03/P/B/2022.

5. Daftar Pustaka

- Ahmad, A., Buang, A., Bhat, A. H. 2016. Renewable and sustainable bioenergy production from microalgal co-cultivation with palm oil mill effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 65:214-234.doi:10.1016/j.rser.2016.06.084.
- Gimire, A., Frunzo, L., Pirozzi, F., Trably, E., Escudie, R., Lens, P.N.L., Esposito, G. (2015). A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products. *Aplied Energy*, 114, 73-95. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.045>.
- Kim, E., Yoo, S.B., Kim, M.S., Lee, J.K. (2005). Improvement of photoheterotrophic hydrogen production of *Rhodobacter sphaeroides* by removal of B800-850 light-harvesting complex. *J. Microbial. Biotechnol*, 15 (5), 1115-1119.
- Li, C., Fang, H.H.P. (2007). Fermentative hydrogen production from wastewater and solid wastes by mixed cultures. *Crit Rev Environ Sci Technol*, 37(1), 1-9. <https://doi.org/10.1080/10643380600729071>.
- Maier, R.M. 2000. *Bacterial Growth*. Edisi ke-3. San Diego, CA, USA. Academic Press Incorporation.
- Mishra, P., Thakur, S., Singh,L., Krishnan, S., Sakinah, M., Wahid, Z.A. (2016). Enhanced hydrogen production from palm oil mill effluent using two stage sequential dark and photo fermentation. *Int. J. Hydrogen Energy*, 41(41), 18431-18440. doi:10.1016/j.ijhydene.2016.07.138.
- Nath, K., Das, D. (2004). Improvement of fermentative hydrogen production: Various approaches. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 65(5), 520-529.doi:10.1007/s00253-004-1644-0.
- Noike, T. dan Mizno, O. (2000). Hydrogen fermentation of organic municipal wastes. *Water Sci. Technol*, 42, 155-162. doi:10.2166/wst.2000.0261.
- Nugroho, A. (2006). Biodegradasi Sludge Minyak Bumi dalam Skala Mikrokosmos: Simulasi Sederhana Sebagai Kajian Awal Bioremediasi Land Treatment. *Makara Teknologi*, 10(2): 82-89.
- Nursanti, I. (2013). Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Pada Proses Pengolahan Anaerob dan Aerob. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 13(4).
- Okamoto, M., Miyahara, T., Mizno, O., Noike, T. (2000). Biological; hydrogen potential of materials characteristic of the organic fraction of municipal solid wastes. *Waste Sci. Technol*, 41, 25-32

- Panjaitan, B.S., Lestari, L., Setiawan, R.P.A., Tambunan, A.H. (2021). Potensi Produksi Biohidrogen dari Limbah Biomassa Pada Proses Pencernaan Anaerobik. *Agointek*, 15(4).
- Rahayu, A.S., Karsiwulan, D., Yuwono, H., Trisnawati, I., Mulyasari, S., Rahardjo, S., Hokerman, S., Paramita, V. (2015). *Buku panduan konversi POME menjadi biogas, pengembangan proyek di Indonesia. Winrock Internasiolan berkolaborasi dengan USAID*. Winrock International.
- Raja, P.M., Giyanto, Barus, S. (2021). Karakteristik Kandungan Unsur N, P, dan K Limbah Cair Kelapa Sawit Kolam Anaerob dengan Kontak Kuantitas Bentonit. *Jurnal Agrium*, 18(2).
- Vongvichiankul, C., Deebao, J., Khongnakorn, W. (2017). Relationship between pH, Oxidation Reduction Potential (ORP) and Biogas Production in Mesophilic Screw Anaerobic Digester. *Energy Procedia*. 138:877-882
- Wong, Y.M., Wu, T.Y., Juan, J.C. (2014). A review of sustainable hydrogen production using seed sludge via dark fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34(3):82-471.