Pengaruh Konsentrasi Hidrolisat Kulit Pisang Raja Terhadap Produksi Biohidrogen Menggunakan *Escherichia Coli* Melalui *Dark Fermentation*

Millatul Atqiyaa[1], Ana Fitriani [2], Keryanti[3], Laily Isna Ramadhani[4]

[1,2,3,4] *Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung Barat 40559*
[1]*E-mail : millatul.atqiyaa.tki22@polban.ac.id*
[2]*E-mail : ana.fitriani.tki22@polban.ac.id*
[3]*E-mail : keryanti@polban.ac.id*
[4]*E-mail : laily.isna@polban.ac.id*

ABSTRAK

Biohidrogen merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan melalui proses biologis dan berpotensi menjadi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi biohidrogen melalui proses *dark fermentation* dengan menggunakan hidrolisat kulit pisang raja sebagai substrat dan bakteri *Escherichia coli* sebagai inokulum. Kulit pisang raja dihidrolisis secara enzimatis menggunakan enzim α-amilase dan glukoamilase, menghasilkan gula pereduksi dalam hidrolisat sebesar 7,60% (b/v). Variasi konsentrasi hidrolisat terhadap volume media fermentasi yang digunakan dalam proses fermentasi adalah 20%, 30%, 40%, dan 50% (v/v) pada suhu 37 °C selama 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan mikroorganisme *E. coli* meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi hidrolisat, dengan berat sel kering tertinggi pada konsentrasi 50% yaitu sebesar 2,59 g/L. Volume gas tertinggi dihasilkan pada konsentrasi hidrolisat 30%, yaitu sebesar 12,56 mL. Namun, analisis menggunakan GC-TCD menunjukkan bahwa gas biohidrogen tidak terdeteksi pada hasil fermentasi semua variasi konsentrasi. Hal ini mengindikasikan perlunya optimasi lebih lanjut terhadap kondisi fermentasi, termasuk pengendalian pH dan pemilihan mikroorganisme yang lebih sesuai, untuk meningkatkan produksi biohidrogen.

Kata Kunci
Biohidrogen, *Dark Fermentation, Escherichia coli*

Biohydrogen is a renewable energy source produced through biological processes and has the potential to be an alternative to fossil fuels. This study aims to produce biohydrogen through dark fermentation process using plantain peel hydrolysate as substrate and Escherichia coli bacteria as inoculum. Plantain peels were enzymatically hydrolyzed using α-amylase and glucoamylase enzymes, resulting in a reducing sugar in the hydrolysate of 7.60% (b/v). The variation of hydrolysate concentration to the volume of fermentation media used in the fermentation process was 20%, 30%, 40%, and 50% (v/v) at 37°C for 7 days. The results showed that the growth of E. coli microorganisms increased along with the increase in hydrolysate concentration, with the highest dry cell weight at 50% concentration of 2.59 g/L. The highest gas volume was produced at 30% hydrolysate concentration, which amounted to 12.56 mL. However, analysis using GC-TCD showed that biohydrogen gas was not detected in the fermentation results of all concentration variations. These indicate the need for further optimization of fermentation conditions, including pH control and selection of more suitable microorganisms, to increase biohydrogen production.

Keywords
Biohydrogen, Dark Fermentation, Escherichia coli

1. PENDAHULUAN

Hidrogen kini menjadi salah satu media energi yang menjanjikan untuk transisi menuju energi bersih. Namun, sebagian besar produksi hidrogen masih bergantung pada metode konvensional dan tidak berkelanjutan seperti proses *steam reforming* dan gasifikasi batu bara. Dalam proses ini, metana (CH_4) bereaksi dengan uap air sehingga memproduksi hidrogen (H_2) dan menghasilkan karbon dioksida (CO_2) sebagai produk samping. Bahan bakar fosil telah menyumbang lebih dari 80% dari semua energi primer yang dikonsumsi di seluruh dunia. Pembakaran bahan bakar fosil secara langsung memicu pelepasan emisi gas rumah kaca yang secara signifikan merusak kesehatan lingkungan. Sebagai respons terhadap masalah ini, salah satu langkah untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan mengembangkan biohidrogen sebagai energi baru terbarukan, karena hidrogen yang dibakar hanya menghasilkan uap air dan tidak berkontribusi pada emisi gas rumah kaca.

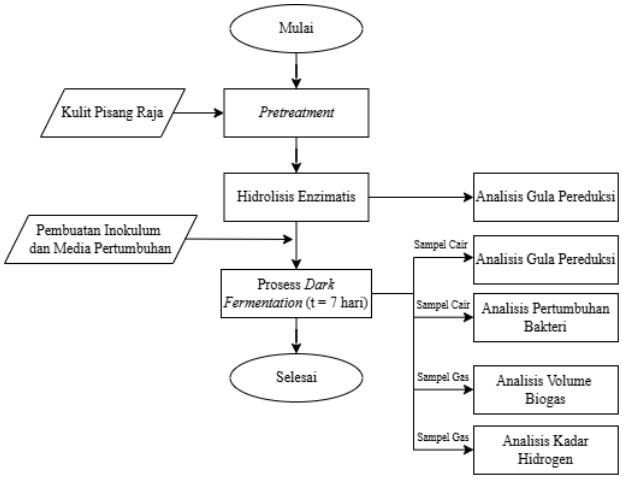
Biohidrogen dapat diproduksi melalui proses *dark fermentation* yang memanfaatkan limbah organik sebagai substrat. Proses *dark fermentation* menawarkan berbagai keunggulan yang signifikan antara lain tidak membutuhkan cahaya, kepraktisan serta kemudahan dalam pengaplikasiannya. Selain itu, biaya produksinya tergolong rendah terutama saat memanfaatkan limbah organik seperti kulit pisang yang melimpah ruah di Indonesia sebagai bahan

baku utamanya. Produksi buah pisang di Indonesia pada tahun 2023 yaitu sebesar 9.335.232 ton (1). Analisis menunjukkan bahwa kandungan tertinggi karbohidrat pada kulit pisang terdapat pada kulit pisang raja yaitu sebesar 27,64% (2). Karbohidrat yang terkandung dalam kulit pisang merupakan amilum (pati), dengan perkiraan mencapai 59% (3). Pati ini dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana melalui proses hidrolisis enzimatis dan dapat digunakan sebagai substrat untuk produksi biohidrogen melalui fermentasi. Hidrolisis enzimatis dipilih karena terbukti lebih efisien dibandingkan hidrolisis asam, sebagaimana disebutkan pada penelitian Sutamihardja dkk., (2019) (4). Pada penelitian Zulqarnain Albaasith dkk., (2014) menghasilkan nilai gula pereduksi tertinggi dari kulit pisang kepok secara hidrolisis enzimatis yaitu sebesar 9,86% (5).

Produksi biohidrogen melalui *dark fermentation* melibatkan penggunaan mikroorganisme yang dapat mengurai bahan organik menjadi hidrogen. Mikroorganisme yang terlibat dalam produksi biohidrogen melalui *dark fermentation* adalah bakteri anaerob fakultatif, kultur murni, kultur campuran, mikroorganisme termofilik dan mesofilik (6). *Escherichia coli* merupakan bakteri anaerob fakultatif yang dapat mengurai bahan organik menjadi hidrogen melalui proses *dark fermentation*. Penelitian serupa telah dilakukan oleh Balderas-Hernandez dkk., (2020) menghasilkan *yield* H_2 sebesar 0,27 mol hidrogen/mol glukosa atau xilosa menggunakan *Escherichia coli* (7).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan inti, dimulai dengan *pretreatment* kulit pisang raja, dilanjutkan dengan hidrolisis enzimatis, kemudian persiapan inokulum dan media fermentasi, dan diakhiri dengan proses *dark fermentation.* Proses produksi biohidrogen secara garis besar dapat digambarkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Proses Produksi Biohidrogen

2.1 *Pretreatment* dan Hidrolisis Kulit Pisang Raja

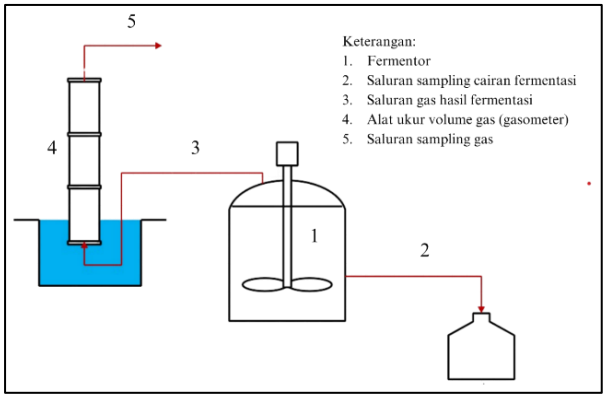
Proses *pretreatment* kulit pisang raja melalui serangkaian tahapan fisik, yaitu pencucian, pengeringan di bawah sinar matahari dan oven pada suhu 105°C hingga diperoleh berat konstan, pengecilan ukuran menggunakan blender, dan pengayakan menggunakan ayakan 60 *mesh* untuk menghasilkan tepung kulit pisang raja (8).
Hidrolisis kulit pisang raja dilakukan secara enzomatis mengacu pada metode yang telah ada namun dengan modifikasi untuk substrat kulit pisang raja (9). Larutan pati 25% (b/v) dihidrolisis menggunakan enzim α-amilase untuk likuifikasi dan glukoamilase untuk sakarifikasi, sebagaimana efektif dalam penelitian sebelumnya pada pati jagung manis (4). Setelah proses tersebut, pH larutan diatur hingga ±4,5.

2.2 Persiapan Inokulum

Pembuatan inokulum *Escherichia coli* diawali dengan penumbuhan *stock culture* pada *Nutrient Agar*, dilanjutkan dengan pembuatan media cair untuk inokulum menggunakan *Nutrient Broth*. Inkubasi inokulum dilakukan hingga mencapai Optical Density (OD) ± 1 pada λ = 620 nm, yang mengindikasikan kondisi siap untuk fermentasi (10). Pembuatan media fermentasi melibatkan penambahan beberapa bahan dengan komposisi yaitu hidrolisat kulit pisang raja dengan konsentrasi 20%; 30%; 40%; 50% (v/v), $MgSO_4.7H_2O$ 0,4 g/L, $(NH_4)_2SO_2$ 2 g/L, KH_2PO_4 5 g/L, *Scout Emulsion* 10 mL/L.

2.3 Persiapan Reaktor *Dark Fermentation*

Skema alat pada proses *dark fermentation* ditunjukkan pada **Gambar 2.1** berikut, yaitu meliputi reaktor dan gasometer yang dilengkapi *sampling point* sampel cair dan gas. Bahan baku utama pada penelitian ini yaitu limbah kulit pisang raja yang diperoleh dari Toko Kue Kartikasari dan *E. coli* sebagai mikroorganisme pendegradasi.



Gambar 2. Skema Alat *Dark Fermentation*

Proses *dark fermentation* berlangsung dalam reaktor *batch* berpengaduk dengan kapasitas 1 L seperti pada Gambar 2 selama 7 hari pada suhu 37°C (11). *Dark fermentation* dilakukan variasi konsentrasi hidrolisat kulita pisang raja terhap volume total media Fermentasi yaitu 20%, 30%, 40%, dan 50% (v/v). Pengambilan sampel cair dilakukan setiap 3 jam sebanyak 3 kali sehari selama periode fermentasi. Analisis sampel meliputi penentuan gula pereduksi menggunakan metode DNS dan Spektrofotometri UV-Vis, analisis pertumbuhan mikroorganisme berdasarkan berat sel kering dengan uji Gravimetri dan Spektrofotometri UV-Vis, serta pengukuran volume gas menggunakan gasometer dan

kadar hidrogen menggunakan *Gas Chromatography Thermal Conductivity Detector* (GC-TCD).

2.4 Pengujian Hasil Fermentasi

Pengujian hasil penelitian dilakukan pada sampel cair dan sampel gas. Pengujian pada sampel cair meliputi analisis gula pereduksi dan pertumbuhan mikroorganisme. Analisis gula pereduksi dilakukan pada hidrolisat dan larutan fermentasi menggunakan metode DNS dan Spektrofotometer UV-Vis (λ = 540 nm). Sedangkan pertumbuhan mikroorganisme dianalisis dengan mengukur absorbansi sampel menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (λ = 620 nm). Pengujian pada sampel gas meliputi volume gas, perolehan *yield* gas, dan kadar hidrogen menggunakan uji GC-TCD.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil *Pretreatment* Kulit Pisang Raja

Secara visual, kulit pisang raja sebelum *pretreatment* yang ditunjukkan pada Gambar 3 nampak utuh dan berwarna gelap yang mengindikasikan terjadinya oksidasi, sedangkan setelah *pretreatment* yang ditunjukkan pada Gambar 4 menjadi tepung berwarna cokelat gelap hingga hitam pekat yang disebabkan oleh reaksi Maillard dan karamelisasi fruktosa selama pengeringan pada suhu tinggi (8).

Gambar 3. Kulit Pisang Raja Sebelum *Pretreatment*

Gambar 4. Tepung Kulit Pisang Raja Setelah *Pretreatment*

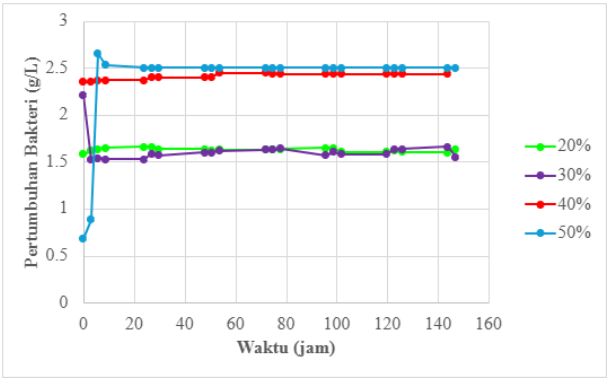
Tujuan dari *pretreatment* ini yaitu untuk menghancurkan isolasi lignin, melepaskan molekul selulosa, merusak struktur kristal selulosa, dan meningkatkan retensinya untuk hidrolisis dan produksi biohidrogen. Namun, pengeringan pada suhu tinggi dapat menurunkan aktivitas antioksidan, merusak senyawa organik, serta mengubah struktur serat alami kulit pisang yang berdampak pada efisiensi proses selanjutnya (12).

3.2 Hasil Hidrolisis Enzimatis

Proses hidrolisis tepung kulit pisang raja dilakukan pada larutan pati 25% (b/v) dalam 1 L yang melibatkan penggunaan enzim α-amilase dan glukoamilase (9). Pada hasil akhir diperoleh hidrolisat kulit pisang raja sebanyak ±400 mL setelah tahap filtrasi dan sentrifugasi. Hidrolisat yang dihasilkan kemudian dianalisis konsentrasi gula pereduksinya menggunakan metode DNS diperoleh konsentrasi sebesar 76.062,5 ppm dengan %gula pereduksi sebesar 7,60% (b/v) dan rendemen gula cair sebesar 12,17% (b/b). Nilai ini lebih rendah dibandingkan penelitian Zulqarnain Albaasith dkk., (2014) yang menghasilkan %gula pereduksi dari kulit pisang kepok secara hidrolisis enzimatis sebesar 9,86%. Hal ini dapat diakibatkan oleh tingkat kematangan dari kulit pisang raja tersebut, dimana tingkat kematangan buah pisang dapat meningkatkan aktivitas enzim (amilase dan invertase) secara alami yang mengonversi pati menjadi gula pereduksi (13).

3.3 Pertumbuhan Bakteri pada Variasi Konsentrasi Hidrolisat Kulit Pisang Raja

Kurva pertumbuhan bakteri *E. coli* pada variasi konsentrasi hidrolisat kulit pisang raja ditampilkan pada Gambar 5 berikut.



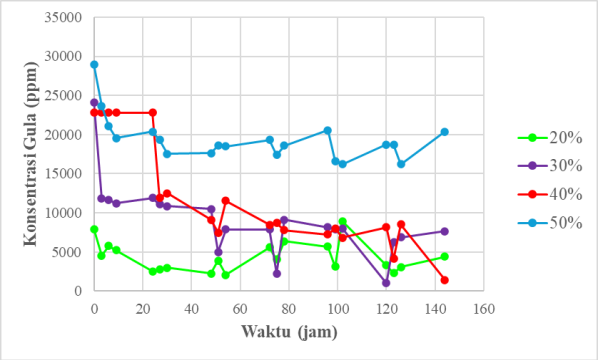
Gambar 5. Pertumbuhan Bakteri Selama Proses Fermentasi Gelap

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa tren pertumbuhan bakteri secara umum pada konsentrasi hidrolisat yang lebih tingi menghasilkan konsentrasi sel yang tinggi pula. Diperoleh berat sel kering pada rentang 0,3254 g/L – 2,6487 g/L dengan hasil terbaik berat sel kering akhir pada konsentrasi hidrolisat 50% sebesar 2,49 g/L. Kurva tersebut secara umum menunjukkan bahwa bakteri berada pada fase *lag*/adaptasi (pada konsentrasi hidrolisat 20%, 30%, dan 40%) dan fase stasioner/keseimbangan (pada konsentrasi hidrolisat 50%). Produksi hidrogen dapat dihasilkan pada fase eksponensial akhir dimana *E. coli* menghasilkan H_2 melalui jalur *format hydrogen lyase* (FHL) dimana enzim ini

mengonversi asam format (HCOOH) menjadi H_2 dan CO_2 (14). Namun, fase eksponensial akhir tidak tercapai akibat penurunan pH drastis (dari pH 6,5 menjadi 3,6-3,9) yang menghambat aktivitas bakteri (15).

3.4 Konsumsi Gula dan Produksi Biogas pada Variasi Konsentrasi Hidrolisat Kulit Pisang Raja

Profil konsentrasi gula selama proses fermentasi gelap disajikan pada Gambar 6 terlihat bahwa tren fluktuatif secara signifikan yang mengindikasikan adanya dinamika kompleks yang terjadi selama fermentasi seperti kondisi pH yang sangat asam dan homogenitas media fermentasi. Namun secara umum, konsentrasi gula awal lebih tinggi dibandingkan konsentrasi gula akhir yang menunjukkan adanya konsumsi gula oleh mikroorganisme.



Gambar 6. Konsentrasi Gula Selama Proses Fermentasi Gelap

Menurut penelitian Bae dkk., (2011) bahwa konsentrasi substrat optimal pada fermentasi anaerob yaitu sebesar 10-20 g/L (16). Berdasarkan kurva di atas terlihat bahwa terdapat beberapa titik yaitu pada variasi konsentrasi hidrolisat 20% hingga 40%, gula yang terkandung sangat kecil (<10 g/L) yang menyebabkan aktivitas bakteri *E. coli* menurun (15).

Pada Tabel 1 menyajikan data produksi biogas dan perolehan *yield* gas total.

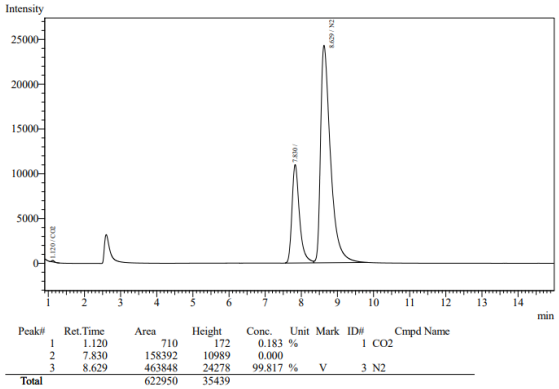
Tabel 1. Produksi Biogas dan Perolehan Yield

Konsentrasi Hidrolisat (v/v)	Volume Biogas Kumulatif (mL)	Gula Terkonsumsi (gram)	*Yield* (mL/g)
20%	1,256	4,09	0,30
30%	12,56	16,45	0,76
40%	0	19,53	0
50%	0	11,97	0

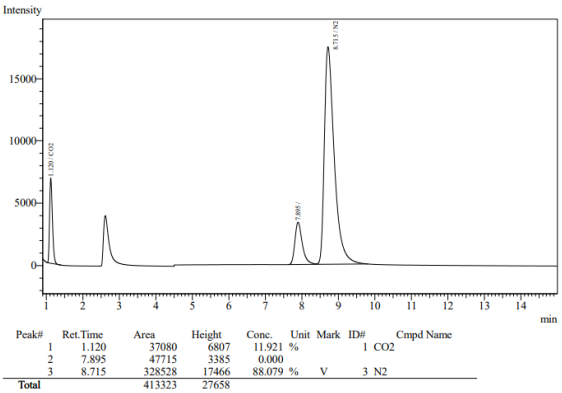
Berdasarkan Tabel 1 di atas diperoleh *yield* biogas tertinggi pada konsentrasi hidrolisat 30% (0,76 mL/g) lebih tinggi dibandingkan pada konsentrasi hidrolisat 20% (0,30 mL/g), karena ketersediaan substrat yang optimal. Namun, pada konsentrasi hidrolisat 40% dan 50%, tidak dihasilkan biogas akibat akumulasi *volatile fatty acids* (VFAs) seperti asam propionat dan asam butirat pada pH rendah (pH 3,6-3,9). Kondisi asam ini menggeser metabolisme *E. coli* dari produksi H_2 melalui jalur *formate hydrogen lyase* (FHL) ke sintesis ATP untuk bertahan hidup (17). Produksi H_2 terjadi pada proses asidogenesis, sedangkan pH optimal untuk proses asidogenesis adalah 5,5-6,5 (18), tetapi pH <4 menghambat produksi asam asetat sebagai prekursor H_2. Hal ini selaras dengan penelitian Kurniati dkk., (2021) bahwa mikroorganisme yang berperan pada proses fermentasi dalam pembuatan biogas akan tumbuh dan berkembang dengan baik pada kondisi pH netral (19), terbukti pada penelitian Rahmat dkk., (2014) menunjukkan bahwa pada pH netral (6,4-7,2) menghasilkan biogas lebih tinggi (14,183 L) (20).

3.5 Analisis Komposisi Gas Hasil Fermentasi Gelap

Hasil uji GC-TCD pada sampel ggas hasil fermentasi gelap pada variasi Konsentrasi hidrolisat 20% dan 30% disajikan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Hasil Uji GC-TCD Variasi Konsentrasi Hidrolisat 20%



Gambar 8. Hasil Uji GC-TCD Variasi Konsentrasi Hidrolisat 30%

Analisis GC-TCD pada konsentrasi hidrolisat 20% dan 30% hanya mendeteksi gas CO_2 dan N_2, tanpa H_2. Hasil ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: (1) konsentrasi gula substrat yang rendah (<10 g/L) tidak mencukupi untuk memicu produksi H_2 oleh *E. coli*, hal ini dibuktikan oleh penelitian Harifadillah dkk., (2017) bahwa pasokan substrat memadai (120 g gula) menghasilkan 47,47% H_2 (21); (2) pH sangat rendah (3,6-3,9) mengakibatkan dominasi produksi asam propionat atau butirat alih-alih asam asetat sebagai prekursor H_2; (3) akumulasi asam lemak volatil (VFA) menghambat aktivitas enzim *formate hydrogen lyase* (FHL) yang mengonversi asam format menjadi H_2 (14).

Ketidakberhasilan deteksi H_2 pada kedua variasi ini konsisten dengan ketiadaan biogas yang diamati pada

konsentrasi 40-50%, hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan (pH dan nutrisi) menjadi faktor pembatas utama.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitan, dapat disimpulkan bahwa hidrolisat kulit pisang raja menghasilkan konsentrasi gula pereduksi sebesar 7,60% (b/v). Konsentrasi hidrolisat yang lebih tinggi yaitu pada variasi 50%, menghasilkan berat sel kering ahir tertinggi pula sebesar 2,49 g/L. Namun, konsentrasi optimum hidrolisat untuk produksi biogas ditemukan pada variasi 30%, dengan volume biogas mencapai 12,56 mL dan *yield* gas total 0,76 mL/g, meskipun tidak terdeteksi adanya gas hidrogen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Ciwaruga Foundation* atas dukungan finansial yang telah diberikan, serta kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memfasilitasi penelitian ini melalui penyediaan sarana laboratorium dan infrastruktur pendukung lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Pusat Statistik. Produksi Tanaman Buah-Buahan, 2021–2023. 2024.
2. Proverawati A, Nuraeni I, Sustriawan B. Food Food Nutrition Values Improvement Through Optimise of Potency Utilization of Banana Peels Flour of Plantain, Kepok, and Ambon. J Gizi dan Pangan Soedirman. 2019;3(1):49.
3. Robiah R. Bioplastik Dari Pati Kulit Pisang Raja Dengan Berbagai Bahan Perekat. J Distilasi. 2020;4(2):1.
4. Sutamihardja R, Azizah M, Mafiana BD. Perbandingan Hidrolisis Enzimatis Dan Asam Terhadap Pati Jagung Manis (Zea Mays L.) Dalam Pembuatan Gula Cair. J Sains Nat. 2019;7(2):58.
5. Albaasith Z, Lubis RN, Tambun R. Pembuatan Sirup Glukosa Dari Kulit Pisang Kepok (Musa acuminatabalbisianacolla) Secara Enzimatis. J Tek Kim USU. 2014;3(2):15–18.
6. Ghimire A, Frunzo L, Pirozzi F, Trably E, Escudie R, Lens PNL, et al. A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products. Appl Energy. 2015;144:73–95.
7. Balderas-Hernandez VE, Landeros Maldonado KP, Sánchez A, Smoliński A, De Leon Rodriguez A. Improvement of hydrogen production by metabolic engineering of *Escherichia coli*: Modification on both the PTS system and central carbon metabolism. Int J Hydrogen Energy. 2020;45(9):5687–96.
8. Aisah A, Harini N, Damat D. Pengaruh Waktu dan Suhu Pengeringan Menggunakan Pengering Kabinet dalam Pembuatan MOCAF (Modified Cassava Flour) dengan Fermentasi Ragi Tape. Food Technol Halal Sci J. 2021;4(2):172–91.
9. Rizqi N, Dewi E, Yerizam M. Pengolahan Pati Rumbia menjadi Serbuk Glukosa secara Hidrolisis Enzimatis. J Tek Kim USU. 2024;13(1):24–31.
10. Rustanti E, Jannah A, Fasya AG. Uji Aktivitas Antibakteri Senyawa Katekin dari Daun Teh (Camellia sinensis L. var assamica) terhadap Bakteri *Micrococcus luteus*. Alchemy. 2013;2(2).
11. Kumar V, Kothari R, Singh S. Dark Fermentation: A Green Way to Produce Hydrogen and Methane. Int J Sci Technol Soc. 2015;1(1).
12. Mahardani OT, Yuanita L. Efek Metode Pengolahan dan Penyimpanan Terhadap Kadar Senyawa Fenolik dan Aktivitas Antioksidan. Unesa J Chem. 2021;10(1):64–78.
13. Rafieenia R, Pivato A, Lavagnolo MC. Optimization of hydrogen production from food waste using anaerobic mixed cultures pretreated with waste frying oil. Renew Energy. 2019;139:1077–85.
14. Albuquerque MM, Dias JMF, Lopes AC, Cavalcante CLC, dos Santos JB, dos Santos IMG, et al. Biohydrogen Produced via Dark Fermentation: A Review. Methane. 2024;3(3):500–32.
15. Kumar G, Bakonyi P, Periyasamy S, Kim SH, Nemestóthy N, Bélafi-Bakó K. Recent insights into the cell immobilization technology applied for dark fermentative hydrogen production. Bioresour Technol. 2016;219:725–37.
16. Bae YJ, Kim JK, Kim MS, Lee JS, Park KC. The characteristics of bio-oil produced from the pyrolysis of three marine macroalgae. Bioresour Technol. 2011;102(3):3512–20.
17. Ramos-Suarez M, Zhang Y, Outram V. Current perspectives on acidogenic fermentation to produce volatile fatty acids from waste. Rev Environ Sci Biotechnol. 2021;20(2).
18. Sari MA, Kirom MR, Qurthobi A. Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Biogas Pada Reaktor Anaerobic Buffled Reactor (ABR). e-Proceeding Eng. 2018;5(3):5602–9.
19. Kurniati Y, Rahmat A, Malianto BI, Nandayani D, Pratiwi WSW. Review Analisa Kondisi Optimum Dalam Proses Pembuatan Biogas. Rekayasa. 2021;14(2):272–81.
20. Rahmat B, Hartoyo T, Sunarya Y. Biogas production from tofu liquid waste on treated agricultural wastes. Am J Agric Biol Sci. 2014;9(2):226–31.
21. Harifadillah WA, Kirom MR, Qurthobi A. Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Hidrogen Pada Reaktor Anaerob Dengan Substrat Kulit Pisang. J Fisika. 2017;4(2):2107–13.